



# Автоматика на транспорте

---

# Automation on Transport

**№3**

**Том 3**

Сентябрь, 2017  
September, 2017



**Учредитель**

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

**Главный редактор**

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

**Свидетельство о регистрации  
средства массовой информации**

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

ISSN 2412-9186

Индекс Роспечати 80525

**Адрес редакции**

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

**Редакция журнала**

Перевод на английский  
язык *А. А. Блюдова, Ю. А. Фаттаховой*  
Литературное редактирование  
и корректура *И. А. Шабранской*  
Верстка *А. А. Стукановой*

© ФГБОУ ВО ПГУПС, 2017

**Founder**

Federal Railway transport agency  
federal state budget  
educational institution  
for higher education  
«Emperor Alexander I St. Petersburg state  
transport university» (PSTU)  
«Automation and remote control  
on railways» department

**Editor-in-chief**

Valeriy V. Sapozhnikov,  
D. Sc., Professor,  
Member of Academy of transport  
of Russia and international higher education  
Academy of sciences, Honored science  
worker of Russia

**Mass media registration  
certificate number**

ПИ № ФС77-61375 dd. 10.04.2015 issued  
by the Federal service for the monitoring  
of communications, information technologies  
and mass communications

ISSN 2412-9186

Index of Rospechat – 80525

**Address**

190031, Russia, St. Petersburg,  
Moskovskiy pr., 9, «Automation and remote  
control on railways» department,  
+7 (812) 457-8579  
at.pgups@gmail.com

**Journal staff**

English translation  
*Anton A. Blyudov, Yulia A. Fattekhova*  
Editing and proofreading  
*Irina A. Shabranskaya*  
Layout *Anna A. Stukanova*

© PSTU, 2017

## **Международный редакционный совет**

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

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

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

*Виктор Кустов*  
кандидат техн. наук, профессор,  
Украинская государственная академия  
железнодорожного транспорта,  
Харьков, Украина

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

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

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

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

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

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

## **Редакционная коллегия**

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

*Ефанов Дмитрий Викторович*  
кандидат техн. наук, научный редактор,  
ответственный секретарь журнала  
«Автоматика на транспорте»,  
ПГУПС, Санкт-Петербург

*Баранов Леонид Аврамович*  
доктор техн. наук, профессор,  
МИИТ, Москва

*Бестемьянов Петр Филимонович*  
доктор техн. наук, профессор,  
МИИТ, Москва

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

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

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

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

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

*Марлей Владимир Евгеньевич*  
доктор техн. наук, профессор,  
ГУМРФ, Санкт-Петербург

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

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

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

*Шаманов Виктор Иннокентьевич*  
доктор техн. наук, профессор,  
МИИТ, Москва

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

## **International editorial board**

*Valeriy Sapozhnikov*

D. Sc., Professor, Petersburg state transport university, Editor-in-chief of «Automation on Transport», St. Petersburg, Russia

*Konstantin Bochkov*

D. Sc., Professor, Belarusian state university of transport, Gomel, Belarus

*Alexander Dundua*

D. Sc., Professor, Georgian technical university, Tbilisi, Georgia

*Victor Kustov*

Ph. D., Professor, Ukrainian state railway transport academy, Kharkiv, Ukraine

*Marek Mezitis*

Ph. D., Associate Professor, Riga technical university, Riga, Latvia

*Johann Trinckauf*

Ph. D., Professor, Dresden technical university, Dresden, Germany

*Raimund Ubar*

D. Sc., Member of Estonian academy of sciences, Tallinn technical university, Tallinn, Estonia

*Funian Hu*

Ph. D., Professor, School of electrical engineering of Jiangsu normal university, Xuzhou City, China

*Vladimir Hahanov*

D. Sc., Professor, Kharkov national university of radio electronics, Kharkiv, Ukraine

*Khristo Khristov*

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

## **Editorial team**

*Alexander B. Nikitin*

D. Sc., Professor, deputy editor-in-chief of «Automation on transport», Petersburg state transport university, St. Petersburg

*Dmitry V. Efanov*

Ph. D., executive editor and science editor of «Automation on transport», Petersburg state transport university, St. Petersburg

*Leonid A. Baranov*

D. Sc., Professor, Russian University of Transport (RUT-MIIT), Moscow

*Petr F. Bestemiyanov*

D. Sc., Professor, Russian University of Transport (RUT-MIIT), Moscow

*Sergey V. Bushuev*

Ph. D., Associate Professor, Ural state university of railway transport, Ekaterinburg

*Michael N. Vasilenko*

D. Sc., Professor, Petersburg state transport university, St. Petersburg

*Igor D. Dolgiy*

D. Sc., Professor, Rostov state transport university, Rostov-on-Don

*Iosif M. Kokurin*

D. Sc., Professor, Institute of transport problems of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg

*Dmitry S. Markov*

Ph. D., Associate Professor, Petersburg state transport university, St. Petersburg

*Vladimir E. Marley*

D. Sc., Professor, Admiral Makarov state university of maritime and inland shipping, St. Petersburg

*Oleg A. Nasedkin*

Ph. D., Associate Professor, Petersburg state transport university, St. Petersburg

*Sergey A. Nikischenkov*

D. Sc., Professor, Samara state transport university, Samara

*Vladimir Vl. Sapozhnikov*

D. Sc., Professor, Petersburg state transport university, St. Petersburg

*Victor I. Shamanov*

D. Sc., Professor, Russian University of Transport (RUT-MIIT), Moscow

*Valentin A. Khodakovskiy*

D. Sc., Professor, Petersburg state transport university, St. Petersburg

## СОДЕРЖАНИЕ

### Живучесть, надежность, безопасность

*Горелик А. В., Тарадин Н. А., Веселова А. С., Солдатов Д. В.*

Оценка качества технической эксплуатации систем  
железнодорожной автоматики и телемеханики. . . . . 319

*Комнатный Д. В.*

Наведение помех в межсоединениях электронной аппаратуры  
железнодорожной автоматики импульсами электромагнитного поля . . . . . 335

### Системы и устройства автоматики и телемеханики

*Кокурин И. М.*

Теоретические и технологические основы построения  
адаптивной системы диспетчерской централизации . . . . . 345

*Наседкин О. А., Ледаев Е. В.*

Имитатор характеристик кабельной линии связи сигнализации,  
централизации и блокировки для испытаний светооптических  
светодиодных систем. . . . . 355

### Стандартизация и сертификация

*Марков Д. С., Наседкин О. А., Васильев Д. А., Бутузов М. А.*

Терминологические особенности этапов разработки и доказательства  
безопасности железнодорожной автоматики и телемеханики. . . . . 368

### Электронное моделирование

*Черных А. К., Яшин М. Г.*

Концептуальные принципы синтеза моделей управления  
организационными системами, функционирующими в реальном  
масштабе времени . . . . . 380

### Автоматизация проектирования

*Седых Д. В., Зуев Д. В., Гордон М. А.*

Отраслевой формат технической документации на устройства  
железнодорожной автоматики и телемеханики.  
Часть 3: Структура и содержимое . . . . . 399

### Проектирование и тестирование логических устройств

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

Код с суммированием взвешенных информационных разрядов  
без переносов в системах функционального контроля . . . . . 414

*Ефанов Д. В.*

Особенности обнаружения ошибок в информационных векторах  
модифицированных кодов Бергера. . . . . 434

### Из истории автоматики

*Лунал Н. В.*

Развитие устройств СЦБ в период империализма (1906–1917 гг.).  
Часть 3: Механическая централизация стрелок и сигналов . . . . . 458

---

## CONTENTS

### Viability, reliability, safety

- A. V. Gorelik, N. A. Taradin, A. S. Vesyelova, D. V. Soldatov*  
 Quality assessment of railway automatics and telemechanics  
 maintenance systems . . . . . 319
- D. V. Komnatniy*  
 Interference induction in interconnections of electronic installations of railway  
 automatics by means of electromagnetic field momentum . . . . . 335

### Systems and devices of automation and remote control

- I. M. Kokurin*  
 Theoretical and technological foundation of constructing a self-organizing  
 centralized traffic control system . . . . . 345
- O. A. Nasedkin, E. V. Ledyayev*  
 A simulator of signalling, centralization and blocking  
 cable line characteristics for light-optical light-emitting-diode systems' testing . . . 355

### Standardization and certification

- D. S. Markov, O. A. Nasedkin, D. A. Vasilyev, M. A. Butuzov*  
 Terminological peculiarities of stages of railway automatics  
 and telemechanics safety development and proving . . . . . 368

### Electronic simulation

- A. K. Chernykh, M. G. Yashin*  
 Conceptual principles of control models' synthesis of organizational  
 systems, functioning on a real-time basis . . . . . 380

### Computer-aided design

- D. V. Sedykh, D. V. Zuyev, M. A. Gordon*  
 Branch format of technical documentation on devices of railway  
 automatics and telemechanics. Part 3: Structure and contents . . . . . 399

### Design and test of logical devices

- Val. V. Sapozhnikov, Vl. V. Sapozhnikov, D. V. Efanov, V. V. Dmitriev*  
 Code with summation of weighted data bits without carries within  
 concurrent error detection systems . . . . . 414
- D. V. Efanov*  
 The peculiarities of error detection in data vectors of modified Berger codes . . . . . 434

### History of automation

- N. V. Lupal*  
 Signals and interlocking development during imperialism (1906–1917).  
 Part 3: Mechanical interlocking of points and signals . . . . . 458

## *Живучесть, надежность, безопасность*

УДК 656.25

**А. В. Горелик, докт. техн. наук,  
Н. А. Тарадин, канд. техн. наук,  
А. С. Веселова**

Кафедра «Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь»,  
Российский университет транспорта (МИИТ)

**Д. В. Солдатов**

Проектно-конструкторское бюро по инфраструктуре – филиал ОАО «РЖД»

### **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ**

Для оценки качества технической эксплуатации систем железнодорожной автоматики и телемеханики предлагается использовать интегральный показатель качества технической эксплуатации, основанный на оценке рисков, связанных с возможными отказами этих систем. Значение интегрального показателя складывается из оценки базового и дополнительного показателей.

Базовый показатель качества технической эксплуатации системы железнодорожной автоматики и телемеханики в границах производственной деятельности дистанции сигнализации, централизации и блокировки определяется на основе модели «As low as reasonable practicable», и методологии «Управление ресурсами, рисками на всех этапах жизненного цикла систем и техники на основе анализа надежности» с помощью сравнения фактических значений показателей надежности функционирования системы железнодорожной автоматики и телемеханики с нормативами. При этом учитываются влияние качества технической эксплуатации системы железнодорожной автоматики и телемеханики на текущий уровень риска, связанного с надежностью функционирования системы железнодорожной автоматики и телемеханики, класс и специализация железнодорожных линий. Для оценки влияния надежности функционирования системы железнодорожной автоматики и телемеханики на процесс перевозок используется матрица рисков, в которой шкала уровней тяжести последствий выражена в поездо-часах потерь, представляющих собой суммарные задержки всех поездов из-за отказа системы железнодорожной автоматики и телемеханики.

На основе предложенного в работе метода можно оценивать деятельность различных структурных подразделений хозяйства автоматики и телемеханики ОАО «Российские железные дороги» как составной части комплексной системы управления ресурсами отрасли.

системы автоматики и телемеханики; дистанция сигнализации, централизации и блокировки; надежность; матрица рисков; поездо-часы простоя; коэффициент готовности; техническое обслуживание и ремонт

## Введение

Основными задачами структурных подразделений хозяйства автоматики и телемеханики являются [1, 2]:

– содержание в технически исправном состоянии средств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) в установленных границах производственной деятельности, предупреждение и ликвидация нарушений их нормальной работы в соответствии с нормативными правовыми актами Российской Федерации, нормативными документами ОАО «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») и железной дороги;

– обеспечение безопасности движения поездов;

– выполнение мероприятий по повышению надежности работы средств ЖАТ, их эффективности и экономичности.

Для оценки результатов выполнения указанных задач используются различные методы и подходы, изложенные в работах [3–8] и многих других. Необходимость разработки новых принципов оценки качества работы структурных подразделений хозяйства автоматики и телемеханики обосновывается, прежде всего, потребностью и желанием добиться максимальной объективности и справедливости. Совершенно очевидно, что анализ динамики числа отказов, при котором поощряется снижение числа отказов систем ЖАТ по сравнению с предыдущим периодом, не может являться объективной оценкой качества технического обслуживания и ремонта. Более содержательный и научно обоснованный анализ должен учитывать случайный характер отказов технических средств, вероятностную оценку возможного ущерба, вызванного этими отказами, фактический износ систем ЖАТ, а также потенциальные возможности предприятия по оперативному ремонту отказавших устройств. Например, в [8] для оценки качества содержания системы ЖАТ используется показатель  $B_\lambda$ , а для оценки оперативности устранения отказов системы ЖАТ – показатель  $B_{ТВ}$ , которые рассчитываются по следующим формулам:

$$B_\lambda = \frac{\lambda_\Phi}{\lambda_D} \cdot 75; \quad (1)$$

$$B_{ТВ} = \frac{T_B^\Phi}{T_B^D} \cdot 75, \quad (2)$$

где  $\lambda_\Phi$  – фактическое значение интенсивности потока отказов системы ЖАТ, 1/ч;  $\lambda_D$  – допустимое значение интенсивности потока отказов системы ЖАТ, 1/ч;  $T_B^\Phi$  – фактическое значение среднего времени до восстановления работоспособности системы ЖАТ, ч;  $T_B^D$  – допустимое значение среднего времени до восстановления работоспособности системы ЖАТ, ч.



В этом случае интегральный показатель качества технической эксплуатации системы ЖАТ рассчитывается по формуле:

$$B = \frac{B_{\lambda} + B_{\text{ТВ}}}{2}. \quad (3)$$

В настоящее время в ОАО «РЖД» разрабатывается и внедряется методология управления ресурсами, рисками на всех этапах жизненного цикла систем и техники на основе анализа надежности (УРРАН) [9]. В хозяйстве автоматики и телемеханики результатом практического применения данной методологии является поэтапный переход к планированию материальных ресурсов, нормированию большинства показателей деятельности хозяйства на основе оценки рисков. Основные положения такого подхода изложены в работах [10–12]. Поэтому для оценки качества технической эксплуатации систем ЖАТ также целесообразно использовать новый подход, который основан на сравнении прогнозируемого уровня риска, связанного с функционированием систем ЖАТ, с фактическим уровнем надежности системы ЖАТ.

## **1 Принципы оценки рисков, связанных с уровнем надежности функционирования системы ЖАТ**

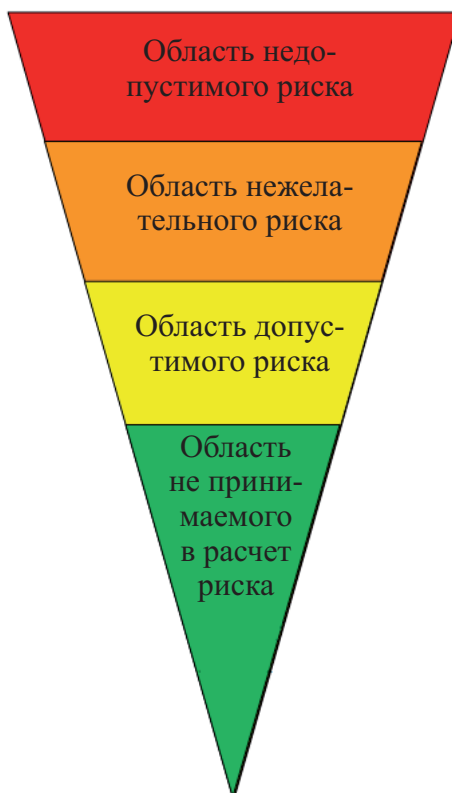
В соответствии с методологией УРРАН, в основе процесса управления надежностью функционирования систем ЖАТ лежит уровень рисков, связанных с задержками в движении поездов из-за возможных отказов системы ЖАТ на станции или перегоне, рассматриваемый как уровень риска поездочасов потерь. Поездо-часы потерь определяются как суммарное время задержки поездов из-за отказов системы ЖАТ за расчетный интервал времени (период оценки).

В качестве базового принципа определения критериев риска для его разделения на отдельные уровни, выбора и обоснования диапазонов количественных значений составляющих риска используется принцип ALARP («As low as reasonable practicable» означает «низко, насколько целесообразно» – риск настолько низкий, насколько это практически возможно). Подразумевается, что риск полностью исключить нельзя, после принятия защитных мер всегда остается некоторый остаточный ненулевой уровень риска, поэтому величина риска должна быть настолько малой, насколько это экономически оправдано и технически достижимо.

Принцип ALARP графически может быть представлен как точка оптимума между затратами на предупреждение риска и потенциальными потерями от возникновения рисков событий. Уровень риска должен находиться в диапазоне технически достижимых рисков. По этой причине точка ALARP

может быть найдена только после определения технически достижимого уровня риска.

Общий вид модели ALARP представлен на рисунке [13]. В этой модели близость к точке ALARP описывается с помощью различных областей, характеризующих различные уровни риска.



Модель ALARP

Уровень риска, описываемый областью недопустимого риска, означает риск, превышающий установленный, максимально допустимый уровень, считающийся неприемлемым при любых обычных обстоятельствах за исключением особых случаев.

Уровень риска, описываемый областью нежелательного риска, означает риск, который допустим только в случае, если снижение риска невозможно или затраты на его снижение значительно превышают полученные от этого выгоды.

Уровень риска, описываемый областью допустимого риска, означает риск, который может быть допущен, если затраты на снижение риска превышают полученные от этого выгоды.

Уровень риска, относящийся к области не принимаемого в расчет риска, означает риск, для дальнейшего снижения которого нет необходимости дополнительных затрат.

В методологии УРРАН, применяемой в хозяйстве автоматики и телемеханики ОАО «РЖД», риски оценивают с помощью модели, называемой матрицей рисков, являющейся усовершенствованным вариантом модели ALARP.

Каждому качественному уровню риска соответствуют свои диапазоны качественных и количественных значений составляющих риска: частоты его возникновения и размер потерь. В матрице рисков (табл. 1), связанных с уровнем надежности функционирования системы ЖАТ, шкала уровней тяжести последствий (размера потерь) выражена в поездо-часах потерь, представляющих собой суммарные задержки всех поездов из-за отказа системы ЖАТ.

**Таблица 1.** Матрица рисков, связанных с уровнем надежности функционирования систем ЖАТ

Уровень частоты поездо-часов потерь		Поездо-часы потерь			
		незначительный	значительный	существенный	критический
		1	2	3	4
Частое	Ч	Допустимый	Нежелательный	Недопустимый	Недопустимый
Вероятное	В	Допустимый	Нежелательный	Нежелательный	Недопустимый
Случайное	С	Допустимый	Допустимый	Нежелательный	Недопустимый
Редкое	Р	Не принимаемый в расчет	Допустимый	Нежелательный	Нежелательный
Крайне редкое	К	Не принимаемый в расчет	Допустимый	Допустимый	Нежелательный
Маловероятное	М	Не принимаемый в расчет	Не принимаемый в расчет	Допустимый	Нежелательный

Границы, определяющие области последствий и их вероятности для различных уровней риска в матрице рисков, вычисляют на основе норм составляющих риска [11, 12]:

– допустимого значения поездо-часов потерь из-за отказов устройств ЖАТ первой и второй категории – нормы последствий;

– допустимого значения частоты отказов первой и второй категории устройств ЖАТ – нормы частоты ущерба.

Нормы показателей надежности систем ЖАТ определяют отдельно для железнодорожных линий различных классов с учетом их специализаций. При этом нормирование осуществляется в определенной последовательности: сначала нормативные значения показателей вычисляют для недопустимого уровня риска, описывающего критическую клетку в красной области матрицы

рисков, а затем – для остальных уровней в порядке снижения их значимости: нежелательного, допустимого, не принимаемого в расчет.

Таким образом, на основе предложенного подхода в качестве основной задачи структурных подразделений хозяйства автоматики и телемеханики можно рассматривать обеспечение наименьшего уровня риска функционирования систем ЖАТ, находящихся в границах производственной деятельности соответствующих структурных подразделений. Однако «попадание в зеленую клетку» матрицы рисков не всегда означает высокую оценку деятельности этого подразделения. Все зависит от того, какой уровень риска прогнозировался для рассматриваемого периода. Если риск прогнозировался как «недопустимый», а фактически подразделение обеспечило уровень риска «нежелательный» – это очень хороший результат. И это гораздо лучше, чем обеспечить такой же результат при прогнозируемом «допустимом» уровне риска.

## 2 Оценка базового показателя качества технической эксплуатации системы ЖАТ

Для оценки качества технической эксплуатации системы ЖАТ предлагается использовать интегральный показатель качества технической эксплуатации системы ЖАТ, который складывается из оценки базового и дополнительного показателей. В свою очередь, интегральные показатели качества технической эксплуатации отдельных систем ЖАТ используются для оценки базового показателя деятельности различных структурных подразделений хозяйства автоматики и телемеханики, занятых технической эксплуатацией этих систем.

Качественная оценка базового показателя качества технической эксплуатации системы ЖАТ может иметь следующие значения: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Каждому значению качественной оценки соответствует диапазон значений количественной оценки базового показателя качества технической эксплуатации системы ЖАТ  $B^{об}$  (баллов): «отлично» – 80–100 баллов; «хорошо» – 60–80 баллов; «удовлетворительно» – 40–60 баллов; «неудовлетворительно» – 20–40 баллов.

Для оценки базового показателя качества технической эксплуатации системы ЖАТ на основе методологии УРРАН необходимо:

- обосновать нормы показателей надежности и рисков с учетом класса и специализации железнодорожной линии;
- оценить прогнозируемый уровень риска;
- определить фактический уровень надежности системы ЖАТ за период оценки.

В соответствии с [11, 12] при планировании работы подразделений производится построение матрицы рисков с учетом нормативных значений пока-

зателей, установленных на рассматриваемый период, и оценивается значение прогнозируемого уровня риска, связанного с надежностью функционирования системы ЖАТ, с учетом классности и специализации железнодорожной линии.

Каждому уровню риска соответствуют качественная характеристика и цвет. Таким образом, для каждой системы ЖАТ имеется одно из четырех значений прогнозируемого уровня риска, связанного с надежностью функционирования: «недопустимый» (красный), «нежелательный» (оранжевый), «допустимый» (желтый), «не принимаемый в расчет» (зеленый). Например, согласно расчетам, произведенным в конце 2016 г., был определен уровень частоты потерь как «крайне редкие», а уровень поездо-часов потерь – «значительный». В этом случае прогнозируемый уровень риска, связанный с надежностью функционирования системы ЖАТ, на 2017 год соответствует «допустимому» (желтому) уровню (табл. 1).

Для оценки фактического значения уровня риска, связанного с надежностью функционирования системы ЖАТ, в соответствии с [12], с учетом классности и специализации железнодорожной линии определяются граничные значения (нормы) коэффициента готовности системы ЖАТ по отказам первой и второй категории  $K_{Г(1-2)}$ ,  $K_{Г(2-3)}$ ,  $K_{Г(3-4)}$ . С учетом этих граничных значений формируются четыре диапазона значений коэффициента готовности системы ЖАТ, каждый из которых соответствует четырем уровням надежности системы (1, 2, 3, 4). Четыре уровня надежности системы ЖАТ соответствуют четырем уровням последствий возникновения отказов системы (табл. 2).

**Таблица 2.** Уровни надежности системы ЖАТ

1	2	3	4
$K_{Г(1-2)} \leq K_{Г}$	$K_{Г(2-3)} \leq K_{Г} < K_{Г(1-2)}$	$K_{Г(3-4)} \leq K_{Г} < K_{Г(2-3)}$	$K_{Г} < K_{Г(3-4)}$
незначительный	значительный	существенный	критический
Уровни последствий возникновения отказов системы ЖАТ			

*Примечания:*

1.  $K_{Г(1-2)}$  – граничное значение коэффициента готовности системы ЖАТ по отказам первой и второй категории между первым и вторым уровнем надежности системы ЖАТ.
2.  $K_{Г(2-3)}$  – граничное значение коэффициента готовности системы ЖАТ по отказам первой и второй категории между вторым и третьим уровнем надежности системы ЖАТ.
3.  $K_{Г(3-4)}$  – граничное значение коэффициента готовности системы ЖАТ по отказам первой и второй категории между третьим и четвертым уровнем надежности системы ЖАТ.

В соответствии с [10] в течение периода оценки рассчитывается значение коэффициента готовности  $K_{Гф}$  – фактическое значение коэффициента готовности системы ЖАТ по отказам первой и второй категории  $K_{Г}$  с учетом ста-

статистических данных, взятых за текущий анализируемый период (месяц, квартал, год). Фактическое значение коэффициента готовности  $K_{гф}$  сопоставляется со значениями уровней надежности системы ЖАТ согласно табл. 2 и определяется фактический уровень надежности системы. При отсутствии статистических данных за текущий период (например, за данный месяц не было ни одного события, связанного с нарушением функционирования системы ЖАТ), фактическое значение коэффициента готовности системы принимается соответствующим первому уровню надежности.

На следующем этапе оценка базового показателя качества технической эксплуатации системы ЖАТ  $B^{об}$  производится на основе матрицы балльной оценки, которая представляет собой таблицу с сочетанием значений прогнозируемого уровня риска, связанного с надежностью функционирования системы ЖАТ, и фактического уровня надежности системы ЖАТ (табл. 3).

Каждой ячейке матрицы балльной оценки присваиваются количественное (в баллах) и качественное (неудовлетворительно, удовлетворительно, хорошо, отлично) значения базового показателя качества технической эксплуатации системы ЖАТ. В клетках табл. 3 представлены рекомендуемые значения количественной оценки базового показателя качества технической эксплуатации системы ЖАТ.

**Таблица 3.** Рекомендуемая матрица для оценки базового показателя качества технической эксплуатации системы ЖАТ

Прогнозируемый уровень риска	Фактический уровень надежности системы ЖАТ			
	1	2	3	4
Недопустимый	95 отлично	90 отлично	60 хорошо	55 удовл
Нежелательный	90 отлично	85 отлично	55 удовл	30 неудовл
Допустимый	85 отлично	80 отлично	30 неудовл	25 неудовл
Не принимаемый в расчёт	80 отлично	75 хорошо	25 неудовл	20 неудовл

Количественное и качественное значения базового показателя качества технической эксплуатации системы ЖАТ  $B^{об}$  определяются в соответствии с ячейкой матрицы, находящейся на пересечении соответствующей строки (прогнозируемого уровня риска) и столбца (фактического уровня надежности системы ЖАТ).

Приведем пример. Пусть прогнозируемый уровень риска, связанного с надежностью функционирования системы ЖАТ, на 2017 год соответствует

«допустимому» (желтому) уровню – определяется строка матрицы (табл. 4). Фактическое значение коэффициента готовности системы ЖАТ по отказам первой и второй категории  $K_{гф}$  с учетом статистических данных за апрель 2017 года соответствует второму уровню надежности системы ЖАТ. По отказам первой и второй категории осуществляется выбор столбца матрицы (см. рис. 2). В этом случае на пересечении указанных выше строки и столбца матрицы определяем количественную оценку базового показателя качества технической эксплуатации системы ЖАТ в апреле 2017 года:  $B_3^{об} = 80$  баллов и качественную оценку – «отлично».

**Таблица 4.** Оценка базового показателя качества технической эксплуатации системы ЖАТ

Прогнозный уровень риска	Фактический уровень надежности системы ЖАТ			
	1	2	3	4
Недопустимый	95 отлично	90 отлично	60 хорошо	55 удовл
Нежелательный	90 отлично	85 отлично	55 удовл	30 неудовл
Допустимый	85 отлично	80 отлично	30 неудовл	25 неудовл
Не принимаемый в расчёт	80 отлично	75 хорошо	25 неудовл	20 неудовл

Таким образом, оценка базового показателя показывает, как повлияло качество технической эксплуатации системы ЖАТ на прогнозируемый уровень риска: риск уменьшился, увеличился или не изменился.

### 3 Оценка дополнительного показателя качества технической эксплуатации системы ЖАТ

Как известно, фактический уровень надежности системы ЖАТ зависит не только от качества технической эксплуатации, но и от других факторов, не зависящих от эксплуатационного штата (износ оборудования, внешние дестабилизирующие воздействия, ряд других факторов). Для более объективной оценки качества технической эксплуатации системы ЖАТ предлагается использовать дополнительный показатель  $D^{об}$ , который учитывает долю эксплуатационных отказов системы ЖАТ, т. е. отказов, вызванных несоблюдением технологии обслуживания устройств, от общего количества отказов системы ЖАТ. Исходные данные для расчета этого показателя формируются автоматически в информационной системе КАСАНТ [10].

Рекомендуемая оценочная шкала для дополнительного показателя качества технической эксплуатации системы ЖАТ  $D^{об}$  представлена в табл. 5.

**Таблица 5.** Оценочная шкала дополнительного показателя качества технической эксплуатации системы ЖАТ

Доля эксплуатационных отказов системы ЖАТ (отказов, вызванных несоблюдением технологии обслуживания устройств) от общего количества отказов системы ЖАТ: КАСАНТ ОТС 1-2-3	Оценка показателя $D^{об}$ , баллы
Менее 0,2	20
0,2–0,5	0
Более 0,5	–20

Дополнительный показатель качества технической эксплуатации системы ЖАТ  $D^{об}$  в баллах оценивается путем сравнения фактического значения этого показателя за расчетный период (месяц, квартал, год) с оценочной шкалой табл. 5. Количество баллов равняется 20, если доля эксплуатационных отказов системы ЖАТ менее 0,2, что позволяет в дальнейшем гарантированно улучшить качественную оценку базового показателя на один уровень (например, вместо оценки «хорошо» получить оценку «отлично»), так как в этом случае фактический уровень риска функционирования определяется не только качеством технической эксплуатации, но и другими причинами, например деградационными (старение и износ оборудования). На основе значений базового и дополнительного показателей отдельных систем ЖАТ можно получить количественную и качественную оценки интегрального показателя деятельности различных структурных подразделений хозяйства автоматики и телемеханики. При этом необходимо использовать универсальный способ оценки дополнительных показателей деятельности структурных подразделений хозяйства автоматики и телемеханики ОАО «РЖД» в зависимости от количества и значимости учитываемых дополнительных показателей [14]. В общем случае может быть использовано любое количество дополнительных показателей.

#### 4 Оценка интегрального показателя качества технической эксплуатации системы ЖАТ

Интегральный показатель качества технической эксплуатации системы ЖАТ определяется по формуле:

$$I^{об} = B^{об} + D^{об}. \quad (4)$$



В табл. 6 представлено соответствие качественных и количественных оценок интегрального показателя качества технической эксплуатации системы ЖАТ.

**Таблица 6.** Соответствие качественных и количественных оценок интегрального показателя качества технической эксплуатации системы ЖАТ

Количественная оценка интегрального показателя качества технической эксплуатации системы ЖАТ $I^{об}$ , баллы	Качественная оценка интегрального показателя качества технической эксплуатации системы ЖАТ
$80 \leq I^{об} \leq 115$	отлично
$60 \leq I^{об} < 80$	хорошо
$40 \leq I^{об} < 60$	удовлетворительно
$0 \leq I^{об} < 40$	неудовлетворительно

Если по вине работников дистанции СЦБ отказ или нарушение в работе системы ЖАТ привели к случаю, классифицируемому как транспортное происшествие (крушение поезда, авария, происшествие на железнодорожном переезде), или иным событиям, связанным с нарушением требований безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта, то качественная оценка интегрального показателя качества технической эксплуатации системы ЖАТ за месяц – «неудовлетворительно».

Полученные оценки интегральных показателей качества технической эксплуатации различных систем ЖАТ используются в качестве исходных данных для оценки базового значения показателя деятельности дистанции СЦБ или отдельного подразделения дистанции СЦБ (участок, цех).

Например, значение базового показателя деятельности дистанции СЦБ вычисляется на основе интегральных показателей качества технической эксплуатации систем ЖАТ, функционирующих в границах производственной деятельности данной дистанции по формуле:

$$B^{шч} = \frac{\sum_{m=1}^x I_m^{об}}{x}, \quad (5)$$

где  $x$  – количество эксплуатируемых систем ЖАТ в границах производственной деятельности рассматриваемой дистанции СЦБ.

## Заключение

Преимущества оценки качества технической эксплуатации системы ЖАТ на основе рисков:

– показатели надежности функционирования системы ЖАТ, а следовательно, и деятельность структурных подразделений хозяйства автоматики и телемеханики, рассматриваются не изолированно от перевозочного процесса, а с точки зрения влияния уровня надежности функционирования системы ЖАТ на процесс движения поездов на конкретной станции или перегоне;

– фактические показатели надежности оцениваемого периода сравниваются не с показателями надежности предшествующего периода, а с нормативными показателями, которые рассчитываются согласно модели ALARP и методологии УРРАН на основе статистических данных, полученных за период наблюдения не менее трех лет, с учетом класса и специализации железнодорожных линий.

Предлагаемый метод позволит производить объективный и детальный анализ результатов работы структурных подразделений и отдельных работников хозяйства автоматики и телемеханики и, как следствие, принимать эффективные управленческие решения на основе методологии УРРАН в части распределения материальных и финансовых ресурсов, стимулирования персонала, повышения производительности труда.

## Библиографический список

1. Типовое положение о дистанции сигнализации, централизации и блокировки – структурном подразделении железной дороги – филиала открытого акционерного общества «Российские железные дороги»: утв. и введ. распоряжением ОАО «РЖД» 27.06.2006 № 1301р (в ред. распоряжения ОАО «РЖД» от 29.05.2010 № 1144 р). – [М., 2010]. – 5 с.
2. Типовое положение о службе автоматики и телемеханики железной дороги – филиала открытого акционерного общества «Российские железные дороги»: утв. и введ. распоряжением ОАО «РЖД» от 01.06.2006 № 1106 р. – [М., 2006]. – 6 с.
3. Гапанович В. А. Методология оценки работы структурных подразделений / В. А. Гапанович, А. В. Горелик, Д. В. Шалягин, Б. Ф. Безродный // Автоматика, связь, информатика. – 2013. – № 1. – С. 2–5.
4. Шаманов В. И. Методы оптимизации технического обслуживания систем автоматики / В. И. Шаманов // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2. – № 4. – С. 481–496.
5. Брейдо А. И. Организация обслуживания устройств железнодорожной автоматики и связи / А. И. Брейдо, В. А. Овсянников. – М.: Транспорт, 1983. – 208 с.
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. 1. – № 1. – С. 124–148.

7. Бушуев В. Г. Возможности и применение систем технического диагностирования и удаленного мониторинга на базе микроЭВМ и программируемых контроллеров СТД-МПК / В. Г. Бушуев, К. В. Гундырев, Б. В. Рожкин // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2. – № 4. – С. 513–529.
8. Методика оценки и планирования показателя качества технической эксплуатации средств ЖАТ : утв. и введ. распоряжением ОАО «РЖД» 24.12.2013 № 2875р. – [М., 2013]. – 31 с.
9. Гапанович В. А. Внедрение методологии УРРАН в хозяйстве автоматики и телемеханики / В. А. Гапанович, А. В. Горелик, Д. В. Шалягин, Б. Ф. Безродный // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 4. – С. 12–15.
10. Методика расчета показателей надежности и безопасности функционирования железнодорожной автоматики и телемеханики : утв. и введ. распоряжением ОАО «РЖД» 21.11.2015 № 3031р. – [М., 2013]. – 45 с.
11. Методика оценки рисков, связанных с функционированием систем железнодорожной автоматики и телемеханики ОАО «РЖД» : утв. и введ. распоряжением ОАО «РЖД» 21.11.2015 № 3031р. – [М., 2015]. – 39 с.
12. Горелик А. В. Нормирование показателей надежности функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики на основе методологий ALARP и УРРАН / А. В. Горелик, П. А. Неваров, А. В. Орлов, Н. А. Тарадин, И. А. Журавлев, А. С. Веселова, Д. В. Солдатов, П. В. Савченко. – М. : МИИТ, 2016. – 26 с.
13. ГОСТ Р 54505–2011. Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте : утв. и введ. 23.11.2011. – М. : Федер. агентство по техническому регулированию и метрологии, 2011. – 50 с.
14. Горелик А. В. Комплексная оценка деятельности структурных подразделений хозяйства автоматики и телемеханики по показателям надежности и безопасности функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики / А. В. Горелик, П. А. Неваров, А. В. Орлов, Н. А. Тарадин, И. А. Журавлев, А. С. Веселова, П. В. Савченко. – М. : МИИТ, 2016. – 20 с.

*Alexander V. Gorelik,  
Nikolay A. Taradin,  
Anastasia S. Veselova*

«Automation and telemechanics on railway transport» department  
Moscow state university of railway engineering

*Dmitry V. Soldatov*  
Design Bureau for Infrastructure – a branch of JSC «Russian Railways»

### **Quality assessment of railway automatics and telemechanics maintenance systems**

The given study suggests applying an integral performance index of railway automation and remote control (RARC) systems' maintenance for quality assess-

ment of the latter, based on risk assessment, which may be caused by eventual failures of these systems. Integral performance index value is a combination of basic and complementary parameters' assessment.

The basic quality parameter of RARC systems' maintenance within the distance of signals and interlocking production activity is estimated on the basis of ALARP model (meaning «as low as reasonably practicable» – «The risk is as low as it is reasonably practicable») and URRAN strategy (Resources, risks management at all stages of systems and equipment life cycle on the basis of reliability analysis), by means of comparing true values of reliability indices of RARC systems' functioning with regulations. Moreover, the influence of RARC systems' maintenance quality on a current level of risk is considered, related to reliability of RARC system's functioning, taking into account the rate and specialization of a railway. In order to estimate the influence of RARC system's functioning reliability on a transit process, a risk matrix is applied, in which the level of implications' scale is expressed in terms of train outage hours' loss, which represent resultant delays of all trains caused by RARC system's failure.

On the basis of the method, introduced in the given study, the assessment of different structural units of JSC «Russian Railways» automatics and telemechanics, as a constituent part of an integrated system of branch resources management, may be carried out.

systems of automation and remote control; signalling and interlocking distance; reliability; risk matrix; train outage hours; operating ratio; maintenance and repair.

### References

1. Typical provision on the distance of signalling, interlocking and blocking – the structural subdivision of the railway – the branch of the open joint-stock company «Russian Railways», approved. And enter. By the order of JSCo «Russian Railways» of June 27, 2006 N 1301r (as amended by Russian railways ordinance N 1144r dated May 29, 2010) [Tipovoe polozhenie o distancii signalizacii, centralizacii i blokirovki – strukturnom podrazdelenii zheleznoj dorogi – filiala otkrytogo akcionernogo obshchestva «Rossijskie zheleznye dorogi», utv. i vved. rasporyazheniem OAO «RZHD» ot 27 iyunya 2006 g. № 1301r (V red. Rasporyazheniya OAO «RZHD» ot 29.05.2010 N 1144r)]. – 5 p.
2. A standard provision on the service of automation and remote control of the railway, a branch of the open joint-stock company Russian Railways. And enter. By the order of Russian Railways of June 1, 2006 N 1106r [Tipovoe polozhenie o sluzhbe avtomatiki i telemekhaniki zheleznoj dorogi – filiala otkrytogo akcionernogo obshchestva «Rossijskie zheleznye dorogi», utv. i vved. rasporyazheniem OAO «RZHD» ot 01 iyunya 2006 g. № 1106r]. – 6 p.
3. Gapanovich V.A., Gorelik A.V., SHalyagin D.V., Bezrodnyj B.F. (2013). Methodology for evaluating the work of structural units [Metodologiya ocenki raboty struk-

- turnyh podrazdelenij]. Automation, remote control and communication [Avtomatika, svyaz' informatika], issue 1. – Pp. 2–5.
4. Shamanov V. I. (2016). Methods of optimization of technical maintenance of automation systems [Metody optimizacii tekhnicheskogo obsluzhivaniya sistem avtomatiki], Automation on Transport [Avtomatika, svyaz' informatika], vol 2, issue 4. – Pp. 481–496.
  5. Brejdo A. I., Ovsyannikov V. A. (1983). Organization of maintenance of railway automation and communication devices [Organizaciya obsluzhivaniya ustrojstv zheleznodorozhnoj avtomatiki i svyazi]. Moscow, Transport [Transport]. – 208 p.
  6. Efanov D. V. (2016). Becoming and development prospects of concurrent error detection and monitoring systems of railway automation and remote control devices [Stanovlenie i perspektivy razvitiya sistem funkcional'nogo kontrolya i monitoringa ustrojstv zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki], Automation on Transport [Avtomatika na transporte], vol. 1, issue 1. – Pp. 124–148.
  7. Bushuev V. G., Gundyrev K. V., Rozhkin B. V. (2016). Capabilities and application of technical diagnostics and remote monitoring system, based on microcomputer and programmable STD-MPK controllers [Vozmozhnosti i primenenie sistem tekhnicheskogo diagnostirovaniya i udalennogo monitoringa na baze mikroEVM i programmiruemykh kontrollerov STD-MPK], Automation on Transport [Avtomatika na transporte], vol. 2, issue 4. – Pp. 513–529.
  8. Methodology for the evaluation and planning of the quality index of technical operation of automation and remote control facilities. And enter. By the order of Russian Railways of December 24, 2013 N 2875 r [Metodika ocenki i planirovaniya pokazatelya kachestva tekhnicheskoy ehkspluatacii sredstv ZHAT, utv. i vved. rasporyazheniem OAO «RZHD» ot 24 dekabrya 2013 N 2875r]. – 31 p.
  9. Gapanovich V. A., Gorelik A. V., Shalyagin D. V., Bezrodnyj B. F. (2012). Implementation of the URAN methodology in the economy of automation and remote control [Vnedrenie metodologii URRAN v hozyajstve avtomatiki i telemekhaniki], Automation, Remote Control and Communication [Avtomatika, svyaz' informatika], issue 4. – Pp. 12–15.
  10. The methodology for calculating the reliability and safety performance of railway automation and remote control. And enter. By the order of Russian Railways of November 21, 2015, N 3031r [Metodika rascheta pokazatelej nadezhnosti i bezopasnosti funkcionirovaniya zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki, utv. i vved. rasporyazheniem OAO «RZHD» ot 21 noyabrya 2015 N 3031r]. – 45 p.
  11. Methodology for assessing the risks associated with the operation of railway automation and remote control systems of JSCo Russian Railways. And enter. By the order of Russian Railways of November 21, 2015, N 3031r [Metodika ocenki riskov, svyazannyh s funkcionirovaniem sistem zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki OAO «RZHD», utv. i vved. rasporyazheniem OAO «RZHD» ot 21 noyabrya 2015 N 3031r]. – 39 p.
  12. Gorelik A. V., Nevarov P. A., Orlov A. V., Taradin N. A. (2016). Rationing of indicators of reliability of functioning of railway automation and remote control systems on the basis of ALARP and URRAN methodology [Normirovanie pokazatelej na-

- dezhnosti funkcionirovaniya sistem zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki na osnove metodologij ALARP i URRAN]. MIIT [i dr. MIIT]. Moscow. – 26 p.
13. GOST R 54505–2011. Functional safety. Risk management in railway transport, approved. And enter. 23.11.2011. Moscow: Federal Agency for Technical Regulation and Metrology [GOST R 54505–2011. Bezopasnost' funktsional'naya. Upravlenie riskami na zheleznodorozhnom transporte: utv. i vved. 23.11.2011. Moscow, Feder. agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii]. – 50 p.
  14. Gorelik A. V., Nevarov P. A., Orlov A. V., Taradin N. A. (2016). Comprehensive assessment of the activity of structural subdivisions of the automation and remote control industry in terms of reliability and safety of the operation of railway automation and remote control systems [Kompleksnaya ocenka deyatelnosti strukturnykh podrazdelenij hozyajstva avtomatiki i telemekhaniki po pokazatelyam nadezhnosti i bezopasnosti funkcionirovaniya sistem zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki]. Moscow. – 20 p.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Вал. В. Сапожниковым  
Поступила в редакцию 13.06.2017, принята к публикации 14.08.2017*

*ГОРЕЛИК Александр Владимирович* – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь» Российского университета транспорта (МИИТ).  
e-mail: agorelik@yandex.ru

*ТАРАДИН Николай Александрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь» Российского университета транспорта (МИИТ).  
e-mail: taradin\_na@mail.ru

*ВЕСЕЛОВА Анастасия Сергеевна* – старший преподаватель кафедры «Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь» Российского университета транспорта (МИИТ).  
e-mail: stena89@bk.ru

*СОЛДАТОВ Дмитрий Владимирович* – заместитель начальника отдела безопасности Проектно-конструкторского бюро по инфраструктуре – филиала ОАО «РЖД».  
e-mail: dvsoldatov@yandex.ru

© Горелик А. В., Тарадин Н. А., 2017  
© Веселова А. С., Солдатов Д. В., 2017

УДК 656.25

**Д. В. Комнатный, канд. техн. наук**

Кафедра «Автоматика и телемеханика»,

Белорусский государственный университет транспорта

## **НАВЕДЕНИЕ ПОМЕХ В МЕЖСОЕДИНЕНИЯХ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ ИМПУЛЬСАМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ**

Рассматривается воздействие импульсных электромагнитных полей на паразитные антенны, образованные межблочными и внутриблочными соединениями электронной аппаратуры железнодорожной автоматики.

Импульсные электромагнитные поля могут иметь природное или техногенное происхождение. В числе техногенных могут быть импульсы преднамеренных помех. Проблема защиты от таких импульсов имеет большое значение. Такое воздействие при достаточной вольт-секундной площади импульса помехи может вызвать ложные срабатывания микросхем и нарушение функциональной безопасности устройства. Показано, что в анализируемых каналах проникновения помехи происходит дифференцирование исходного импульса электромагнитного поля. Если этот импульс имеет ярко выраженный максимум, то в нагрузке линии образуется пачка из двух импульсов.

В статье обоснованы способы расчета вольт-секундной площади импульсов в пачке и определение закона распределения плотности вероятности этой величины. Показано, что вольт-секундная площадь одного импульса в пачке определяется амплитудой исходного импульса электромагнитного поля, умноженного на постоянный коэффициент. Этот коэффициент характеризует электрические и геометрические параметры соединения. Плотность распределения вероятности необходимо знать, поскольку характеристики импульсов помех являются вероятностными величинами. Применение результатов анализа формирования импульсов помех в нагрузке позволяет избежать ошибок при обеспечении электромагнитной совместимости систем обеспечения безопасности движения поездов.

электромагнитная совместимость; межблочные соединения; импульсы помех в нагрузке; импульсы электромагнитного поля; вольт-секундная площадь; дифференцирование импульсов; плотность вероятности распределения

### **Введение**

Безопасное и алгоритмически верное функционирование изделий электронной техники зависит от их восприимчивости к внешним электромагнитным импульсным помехам. Это особенно важно для аппаратуры микропроцессорных и микроэлектронных систем железнодорожной автоматики, поскольку эти системы обеспечивают безопасность движения поездов и перевозочного процесса.

Электромагнитные помехи могут иметь как естественное, так и техногенное происхождение. К числу техногенных могут быть отнесены электростатические разряды, импульсные электромагнитные поля радиотехнических устройств, а также импульсы преднамеренных помех [1]. Обеспечение защиты устройств, выполняющих функции управления ответственными технологическими процессами, от преднамеренных помех в настоящее время весьма значимо.

Импульсные помехи и наводки могут вызывать как отказы электронных узлов, так и ложные срабатывания. Оценка последствий воздействия импульса на электронную элементную базу при анализе возможности ложных срабатываний дается на основании вольт-секундной площади импульса и динамической характеристики помехоустойчивости серии микросхем [1, 2]. Поэтому необходимы расчетные методики и математические модели формирования импульсов помех в различных каналах проникновения помех в электронную аппаратуру. Эти модели должны давать возможность расчета различных свойств и параметров импульсов напряжения помех во входных цепях электронных узлов, в том числе и вольт-секундной площади.

Однако в литературе по электромагнитной совместимости [3–5] тема расчета вольт-секундной площади импульсов помех подробно не освещена. Это объясняется тем, что общий подход к анализу функциональной безопасности управляющих электронных систем с учетом сбоев функционирования под воздействием импульсов помех разработан сравнительно недавно (описан в монографии [2]).

## 1 Постановка задачи

Для обеспечения электромагнитной совместимости большое значение имеет анализ распространения помех в межблочных и внутриблочных соединениях электронной аппаратуры. В современных системах управления такие соединения весьма многочисленны. Каждое из них образует паразитную антенну, воспринимающую импульсные электромагнитные помехи. Эти помехи формируются импульсными электромагнитными полями источников помех, расположенных вне и внутри корпуса электронного технического средства и распространяющихся по свободному пространству. Межсоединения подключаются к входам и выходам микросхем узлов; таким образом, наведенные импульсы могут привести к ложным срабатываниям этих узлов.

В [1, 6] представлены упрощенные модели восприимчивости электронных изделий к электромагнитным помеховым излучениям. С учетом изложенного во введении, в настоящей статье ставится задача анализа формирования помех в этих паразитных антеннах, с особым вниманием к расчету вольт-секундных площадей возникающих в нагрузках помеховых импульсов.



## 2 Расчет вольт-секундной площади импульсов

В [6] приведено соотношение для расчета напряжения на нагрузке межблочной линии, подверженной действию меняющегося во времени электрического поля. В спектральной области оно имеет вид

$$U_{12}(j\omega) = \left[ \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 lh}{\ln\left(\frac{2h}{r}\right)} \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right] j\omega E(j\omega), \quad (1)$$

где  $U_{12}(j\omega)$  – напряжение помехи в нагрузках линии, В;  $\omega$  – круговая частота, рад/с;  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды;  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная, Ф/м;  $l$  – длина линии, м;  $h$  – расстояние между проводами симметричной линии или между проводом и плоскостью заземления линии несимметричной, м;  $r$  – радиус провода монтажа, м;  $R_1, R_2$  – сопротивления нагрузок в начале и в конце линии, Ом;  $E(j\omega)$  – напряженность электрического поля, В/м.

В [1] предложена модель для расчета восприимчивости межсоединений печатных плат к помеховым излучениям.

Учитывая, что у многих типов электромагнитных волн напряженности магнитной и электрической составляющей поля связаны сопротивлением свободного пространства  $H_n(j\omega) = E_n(j\omega)/Z_0$  [7], расчетные соотношения этих моделей могут быть записаны в виде

$$U_s(j\omega) = j\omega E_n(j\omega) \left[ \frac{R_s}{R_s + R_1} \mu_0 l S \frac{1}{Z_0} - \frac{R_s R_1}{R_s + R_1} C l S \right]; \quad (2)$$

$$U_1(j\omega) = j\omega E_n(j\omega) \left[ \frac{R_1}{R_s + R_1} \mu_0 l S \frac{1}{Z_0} - \frac{R_s R_1}{R_s + R_1} C l S \right], \quad (3)$$

где  $U_1(j\omega)$  – напряжение помехи в нагрузке в конце линии, В;  $U_s(j\omega)$  – напряжение помехи в нагрузке в начале линии, В;  $E_n(j\omega)$  – напряженность электрического поля, нормальная к плоскости печатной платы, В/м;  $\mu_0$  – магнитная постоянная, Гн/м;  $R_1$  – сопротивление нагрузки в начале линии, Ом;  $R_s$  – сопротивление нагрузки в конце линии, Ом;  $S$  – площадь, охватываемая линией, м<sup>2</sup>;  $Z_0$  – сопротивление свободного пространства, Ом;  $C$  – погонная емкость линии, Ф/м.

Известна теорема о связи спектральной функции и вольт-секундной площади импульса: вольт-секундная площадь импульса равна спектральной функции импульса при  $\omega = 0$  [8]. Формальное применение ее к выражениям

(1)–(3) может привести к заключению, что в этом случае вольт-секундная площадь импульса равна нулю; таким образом, он не вызовет сбоев в работе электронного узла. Это заключение представляется сомнительным. Итак, требуется углубленный анализ формирования импульсов помех в приведенных расчетных моделях и каналах проникновения помех, которые эти модели описывают.

По известной теореме спектрального анализа умножение на  $j\omega$  означает дифференцирование импульса электрической составляющей электромагнитного поля по времени [8]. Значительное число импульсов помех имеют ярко выраженный максимум, а именно: биэкспоненциальный, гауссов, косинусный, косинусный колоколообразный, косинускубический импульсы. Оценить результат дифференцирования такого импульса в паразитной антенне достаточно просто. По известным теоремам дифференциального исчисления [9] при дифференцировании такого импульса образуется пачка из двух импульсов. До момента наступления максимума входного импульса образуется импульс наводки положительной полярности. В момент наступления максимума входного импульса напряжение помехи равняется нулю. Затем в нагрузках линии соединения формируется импульс напряжения отрицательной полярности.

Согласно [10], один из импульсов из получающейся пачки в зависимости от состояния микросхемы может вызвать, во-первых, сбой сигнала, т. е. препятствовать переключению элемента; во-вторых, привести к ложным срабатываниям – вызывать не предусмотренный алгоритмом переход микросхемы в противоположное состояние. Поэтому необходим расчет вольт-секундной площади обоих импульсов, составляющих пачку. Это объясняется тем, что последствия воздействия импульса на микросхему, находящуюся в различных состояниях («0» или «1»), зависят от полярности импульса, а сама возможность данного импульса вызывать сбой – от его вольт-секундной площади.

Для выполнения расчета вычисляется спектральная функция первого импульса в пачке по практическому приему [8]:

$$S'(j\omega) = \int_0^{\tau} u'(t) e^{-j\omega t} dt, \quad (4)$$

где  $S'(j\omega)$  – спектральная функция, В·с;  $\tau$  – момент наступления максимума входного импульса, с;  $u'(t)$  – производная исходного импульса по времени, В.

Путем интегрирования по частям получается:

$$S'(j\omega) = u(\tau)e^{-j\omega\tau} - u(0) + j\omega S(j\omega), \quad (5)$$

где  $u(\tau)$  – напряжение исходного импульса в момент максимума (амплитуда), В;  $u(0)$  – напряжение исходного импульса в момент его начала, В;  $S(j\omega)$  – спектральная функция входного импульса, В·с.

Тогда, по известной теореме [8], вольт-секундная площадь импульса, В·с

$$Q = S'(j\omega) \Big|_{\omega=0} = u(\tau) - u(0). \quad (6)$$

Этот же результат можно получить и по формуле Ньютона – Лейбница, так как первообразная для производной данной функции есть сама данная функция. В свою очередь, вольт-секундная площадь есть определенный интеграл от импульса во времени [9].

Для большого числа импульсов помех, в том числе перечисленных выше, значение их напряжения в начале импульса равно нулю:  $u(0) = 0$ . Тогда их вольт-секундная площадь  $Q = u(\tau) = A$  (равна амплитуде импульса).

Аналогично вычисляется вольт-секундная площадь второго импульса в пачке:

$$S'(j\omega) = \int_{\tau}^{\infty} u'(t) e^{-j\omega t} dt; \quad (7)$$

$$S'(j\omega) = -u(\tau) e^{-j\omega\tau} + j\omega S(j\omega). \quad (8)$$

В формуле (8) учтено, что при  $t = +\infty$   $u(t) = 0$ ; импульсы являются конечными. Следовательно, вольт-секундная площадь импульса отрицательной полярности

$$Q = S'(j\omega) \Big|_{\omega=0} = -u(\tau). \quad (9)$$

Полученные соотношения показывают, что в данном случае воздействия конечных импульсов с явным максимумом на паразитные антенны межсоединений целесообразно осуществлять расчет вольт-секундных площадей наведенных в нагрузке импульсов во временной области. Фактически необходимо найти амплитудное значение импульса, который образован умножением исходного импульса электрического поля на коэффициент, отражающий геометрические и электрические параметры канала проникновения помех (в формулах (1)–(3) этот коэффициент находится в квадратных скобках). Затем следует воспользоваться приведенными выше утверждениями относительно

вольт-секундной площади импульсов в пачке, возникающей после дифференцирования, и приравнять эту величину к результату умножения. Особенно удобен такой способ расчета при анализе вероятностных свойств помех.

Свойства импульсов электромагнитного поля, излучаемых различными источниками помех, изменяются случайным образом [11]. Поэтому вольт-секундная площадь импульсов помех в нагрузке соединения также является величиной случайной, даже если пренебрегать случайными отклонениями геометрических и электрических свойств канала проникновения помех от элементов среднего уровня. Тогда воздействие импульса помехи на работу узла характеризуется вероятностью превышения вольт-секундной площадью импульса некоторого порогового значения. Эта вероятность рассчитывается по плотности распределения вероятности вольт-секундной площади импульса. При этом следует учесть, что энергия импульса наведенного напряжения должна быть меньше некоторого порогового значения, при превышении которого наступает отказ электронных схем [6]. В случае, когда импульс помехи вызывает отказ, не имеет смысла анализировать возможность алгоритмического сбоя или ложного срабатывания. Тогда вероятность алгоритмического сбоя равна вероятности того, что импульс имеет вольт-секундную площадь, большую пороговой, вызывающей сбой, при условии непревышения энергией импульса порогового значения для возникновения отказа. Учет этих двух одновременных условий осуществляется по известной теореме об умножении вероятностей. Расчетное выражение для вероятности алгоритмического сбоя имеет вид

$$P = \int_0^{W_{\text{пор}}} f(W) dW \cdot \int_{Q_{\text{пор}}}^{\infty} f(Q) dQ, \quad (10)$$

где  $P$  – вероятность алгоритмического сбоя;  $W$  – энергия помех, Дж;  $W_{\text{пор}}$  – пороговое значение энергии помех, превышение которого приводит к отказу, Дж;  $Q_{\text{пор}}$  – пороговое значение вольт-секундной площади, вызывающее сбой, В·с.

Определение плотности распределения энергии импульса основано на известной теореме Рэлея. В полученное по этой теореме расчетное выражение модуль спектральной функции импульса помехи входит в квадрате, поэтому не содержит каких либо неясностей по сравнению с расчетом вольт-секундной площади импульса [8].

Согласно вышеизложенному, плотность распределения вероятности вольт-секундной площади импульса в нагрузке межсоединения с точностью до постоянного множителя повторяет плотность распределения амплитуды импульса помехи, генерируемой источником, в связи с чем получение расчетных соотношений по (10) значительно упрощается. Плотность распределения амплитуды импульсов может быть достаточно просто получена путем измерений в реальной электромагнитной обстановке [11]. Поскольку

современная микроэлектронная и микропроцессорная аппаратура содержит значительное количество межсоединений и каждое из них может оказаться каналом для проникновения помех, то учет установленных свойств вольт-секундной площади импульсов помех действительно позволяет сократить затраты времени на анализ помехоустойчивости, а следовательно, и затраты средств на данную процедуру.

## Заключение

По результатам анализа преобразования импульсов помех, исходящих от источника помех, в канале проникновения помех в виде образованной межсоединением паразитной антенны можно сделать следующие выводы.

В рассматриваемом канале осуществляется дифференцирование исходного импульса, иными словами, рецептор помех имеет свойства дифференцирующей цепи.

Импульсы с явно выраженным максимумом преобразуются в пачку из двух импульсов противоположной полярности. Воздействие этой пачки на функционирование микросхем определяется сочетанием состояния микросхемы и полярности импульса. Возможность сбоя при воздействии этого импульса зависит от значения вольт-секундной площади импульса: попадает ли это значение в область неустойчивой работы микросхемы на ее характеристике динамической помехоустойчивости или нет.

Рассчитывать вольт-секундные площади импульсов в такой пачке следует путем рассмотрения во временной области, поскольку в этом случае методика расчета существенно упрощается.

Представленные в статье зависимости также позволяют упростить вероятностный анализ воздействия импульсов помех в межсоединениях на рецепторы. Поскольку параметры импульсов помех, исходящих от приемника, имеют случайный характер, анализ устойчивости технических средств автоматики и телемеханики требует применения вероятностных методов. Эти методы основаны на использовании закона плотности распределения параметров импульсов, что в общем случае является сложной задачей. Поэтому практически полезным является вывод о возможности получить плотность распределения вольт-секундной площади по плотности распределения амплитуды исходного импульса, которую можно, в свою очередь, получить путем измерений.

Учет наличия в составе помехи на входе рецептора, подключенного к каналу распространения, помех рассматриваемого в статье вида двух импульсов разной полярности позволяет избежать неверных заключений при анализе электромагнитной совместимости и функциональной безопасности микроэлектронных и микропроцессорных систем обеспечения безопасности движения поездов.

Таким образом, в настоящей статье выявлены свойства импульсов помех в нагрузке межблочных и внутриблочных соединений аппаратуры железнодорожной автоматики и телемеханики, которые необходимы для глубокого и точного понимания процессов воздействия этих помех на микроэлектронную и микропроцессорную элементную базу. Эти свойства не акцентируются в литературных источниках по электромагнитной совместимости и руководствах для конструкторов и проектировщиков электронной техники, хотя учет описанных в статье свойств представляется необходимым при обеспечении безопасности и электромагнитной совместимости устройств железнодорожной автоматики и телемеханики.

Следовательно, результаты данной работы позволяют существенно повысить адекватность математических моделей распространения помех в межблочных и внутриблочных соединениях электронной аппаратуры. Поскольку в настоящее время необходимость математического моделирования электромагнитной совместимости функциональной безопасности не подлежит сомнению [1, 12], то данная работа приобретает большое практическое значение, является актуальной для разработчиков систем железнодорожной автоматики и телемеханики.

## Библиографический список

1. Кечиев Л. Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры / Л. Н. Кечиев. – М. : ООО «Группа ИДТ», 2007. – 616 с.
2. Шубинский И. Б. Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа / И. Б. Шубинский. – Ульяновск : Типография «Печатный двор», 2012. – 296 с.
3. Хабигер Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее применения в технике / Э. Хабигер. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 332 с.
4. Уильямс Т. ЭМС для разработчиков продукции / Т. Уильямс. – М. : Издательский дом «Технологии», 2004. – 540 с.
5. Гизатуллин З. М. Помехоустойчивость средств вычислительной техники внутри зданий при широкополосных импульсных воздействиях / З. М. Гизатуллин. – Казань : Изд-во Казанского гос. тех. ун-та, 2012. – 254 с.
6. Кравченко В. И. Грозозащита радиоэлектронных средств / В. И. Кравченко. – М. : Радио и связь, 1991. – 264 с.
7. Ерофеев В. Т. Аналитическое моделирование в электродинамике / В. Т. Ерофеев, И. С. Козловская. – М. : Книжный дом «Либроком», 2014. – 304 с.
8. Иванов М. Т. Радиотехнические цепи и сигналы / М. Т. Иванов, А. Б. Сергеев, В. Н. Ушаков. – СПб. : Питер, 2014. – 366 с.
9. Герасимович А. И. Математический анализ. Ч. 1 / А. И. Герасимович, Н. А. Рысюк. – Минск : Вышэйшая школа, 1989. – 287 с.
10. Лазер И. М. Устойчивость цифровых микроэлектронных устройств / И. М. Лазер, В. А. Шубарев. – М. : Радио и связь, 1983. – 216 с.

11. Певницкий В. П. Статистические характеристики промышленных радиопомех / В. П. Певницкий, Ю. В. Полозок. – М. : Радио и связь, 1988. – 246 с.
12. Гайнутдинов Р. Р. Методика прогнозирования помехоустойчивости средств вычислительной техники при преднамеренном воздействии кратковременных электромагнитных импульсов / Р. Р. Гайнутдинов // Технологии ЭМС. – 2014. – № 1. – С. 53–62.

*Dmitry V. Komnatniy,*  
«Automatics and telemechanics» department  
Byelorussian state transport university

**Interference induction in interconnections  
of electronic installations of railway automatics by means  
of electromagnetic field momentum**

The influence of pulsed electromagnetic fields on parasite antennas is considered, the latter is formed by inter-bay and intra-bay wirings of electronic apparatus of railway automatics. Pulsed electromagnetic fields may have natural or anthropogenic origin. Intentional interference pulses are among those of anthropogenic origin. The issue of protection from such pulses is of vital importance. Such an impact, in case of sufficient voltage-time area of an interference pulse, may cause false operations of a microcircuit and functional safety violation of equipment. It is shown, that the differentiation of the original electromagnetic field momentum occurs in analyzed channels of interference penetration. If such pulse has a clear-cut peak, than a packet with two pulses is formed in line load. Calculation methods for a voltage-time area of pulses in a packet, as well as the determination of the probability density function distribution law of the value in question are established in the article. It is shown, that a voltage-time area of one pulse in a packet is defined by a pulse height of the original electromagnetic field momentum multiplied by a constant coefficient. The coefficient in question characterizes electrical and geometrical parameters of interconnection wiring. It is essential to be aware of the density of probability distribution as interference pulses characteristics are probabilistic observations. It was observed, how the results of formation of load interference pulses analysis allow one to avoid errors when providing electromagnetic compatibility of train control systems.

electromagnetic compatibility; inter-bay wiring; load interference pulse; electromagnetic field momentum; voltage-time area; impulse signal differentiation; probability density function

## References

1. Kechiev L. N. (2007). Engineering of printed boards for digital high-speed equipment [Proektirovanie pechatnyh plat dlya cifrovoj bystrodejstvuyushchej apparatury]. Moscow, Ltd «Group IDT». – 616 p.
2. Shubinsky I. B. (2012). Functional reliability of information systems. Methods of analysis [Funkcional'naya nadezhnost' informacionnyh sistem. Metody analiza]. Ulyanovsk, Printing house «Pечатny Dvor». – 296 p.
3. Habiger E. (1995). Electromagnetic compatibility. Bases of its application in techniques [Elektromagnitnaya sovmestimost'. Osnovy ee primeneniya v tekhnike]. Moscow, Energoatomizdat. – 332 p.
4. Williams T. (2004). EMC for production developers [EMS dlya razrabotchikov produkcii]. Moscow, Publishing house «Technologies». – 540 p.
5. Gizatullin Z. M. (2012). Noise immunity of inside bulding computer facilities with wideband impulse exposure [Pomekhoustojchivost' sredstv vychislitel'noj tekhniki vnutri zdaniy pri shirokopolosnyh impul'snyh vozdeystviyah]. Kazan, Publishing house of Kazan State Technical University. – 254 p.
6. Kravchenko V. I. (1991). Lightning protection of radioelectronic equipment [Analiticheskoe modelirovanie v ehlektrodinamike]. Moscow, Radio and communication. – 264 p.
7. Erofeenko V. T., Kozlovskaya I. S. (2014). Analitical simulation in electodynamics. Moscow, Book firm «Librocom». – 304 p.
8. Ivanov M. T., Sergeenko A. B., Ushakov B. N. (2014). Radio circuits and signals [Radiotekhnicheskie cepi i signaly]. St. Petersburg, Piter. – 366 p.
9. Gerasimovich A. I., Rysjuk N. A. (1989). Mathematical analysis . Part 1. [Matematicheskij analiz. Chast' 1]. Minsk, High school. – 287 p.
10. Lazer I. M., Shubarev B. A. (1983). Immunity of digital microelectronic devices [Ustojchivost' cifrovyyh mikroelektronnyh ustrojstv]. Moscow, Radio and communication. – 216 p.
11. Pevnitsky V. P., Polozok Y. V. (1988). Statistics of man-made interferences [Statisticheskie harakteristiki industrial'nyh radiopomekh]. Moscow, Radio and communication. – 246 p.
12. Gainutdinov R. R. (2014). Methods of computer facilities noise immunity prediction with short-term electromagnetic impulses premeditated exposure [Metodika prognozirovaniya pomekhoustojchivosti sredstv vychislitel'noj tekhniki pri prednamerennom vozdeystvii kratkovremennyh ehlektromagnitnyh impul'sov]. EMC Technologies, issue 1. – Pp. 53–62.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии К. А. Бочковым  
Поступила в редакцию 15.03.2017, принята к публикации 29.03.2017*

*КОМНАТНЫЙ Дмитрий Викторович* – кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры «Автоматика и телемеханика» Белорусского государственного университета транспорта.  
e-mail: toe4031@gstu.by

© Комнатный Д. В., 2017



## *Системы и устройства автоматики и телемеханики*

УДК 625.1:004.94

**И. М. Кокурин, д-р техн. наук**

Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко  
Российской академии наук

### **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРСКОЙ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ**

В статье излагаются принципы построения адаптивной системы диспетчерской централизации, представляющей собой перспективное направление развития современных систем управления движением на железнодорожных диспетчерских участках. Особое внимание в работе уделяется автоматизации информационного обеспечения принятия решений поездными диспетчерами при сохранении за ними функций принятия, корректировки и реализации решений. Показано, что для этого необходимо объединить имитационную систему моделирования процессов перевозок с автоматизированной системой выдачи времени хода – систему, взаимодействующую с автоматизированной системой выдачи и отмены предупреждений, с системой тяговых расчетов ИСКРА-ОТР.

диспетчерская централизация; информационное обеспечение поездных диспетчеров; методы повышения точности прогноза моментов времени прибытия поездов на станции; автоматизация принятия решений по организации движения

### **Введение**

Совершенствование отечественной диспетчерской централизации (ДЦ) в основном связано с заменой релейно-полупроводниковой аппаратуры, микропроцессорной и компьютерной, что увеличивает скорости и объемы передаваемой информации контроля и управления. Для поездного диспетчера ДЦ по-прежнему остается системой телеуправления, помогающей выполнять функции реализации принятых решений по организации движения поездов [1–3].

Получая с помощью системы телеконтроля информацию о занятии и освобождении изолированных участков, диспетчер объединяет в своем восприятии места расположения поездов с их номерами, предоставляемыми информационной системой ГИД «Урал», и показаниями часов или получает

сообщения дежурных о времени проследования поездами тех станций, где дежурство сохраняется. На основе этих данных диспетчер прогнозирует моменты времени прибытия поездов на станции участка, определяет станции скрещений и обгонов и наносит на график исполненного движения или только на его фрагмент планируемые линии хода поездов [4–8].

Если поезда движутся по нормативному графику, то прогнозируется сохранение графиковых станций обгонов и скрещений. В случаях отклонений от нормативного графика принимаются меры по сокращению опозданий поездов, которые требуется передать на соседний участок по нормативному расписанию (пассажирских, пригородных, контейнерных и т. д.).

При более значительных отклонениях диспетчеру приходится организовывать обгоны и скрещения поездов на станциях, не предусмотренных нормативным графиком, которые выбираются по условию исключения задержек приоритетных поездов и длительных стоянок останавливаемых поездов [9], учитывая условия их движения и особенности параметров.

Передача диспетчером команд телеуправления на открытие светофоров должна осуществляться только при уверенности в том, что расписание будет выполнено.

Автоматическая реализация накопленных конфликтных маршрутов в виде заданной диспетчером последовательности или посредством нанесения линий хода поездов на монитор ДЦ не допускается, если не гарантируется надежное исключение ложной свободности стрелочных рельсовых цепей, приводящей к преждевременному размыканию маршрутов. Кроме того, автоматическое задание маршрутов по нанесенным диспетчером на монитор ДЦ линиям хода поездов эффективно только при условии, что в процессе движения поездов диспетчеру не потребуется изменять нанесенный на монитор фрагмент прогнозируемого графика. Анализ показывает, что на однопутных участках такие изменения, включая двух- и трехкратные, могут потребовать до 80 % планируемых диспетчерами линий хода поездов.

Передача команд телеуправления на открытие светофоров поездным диспетчером повышает безопасность движения по сравнению с автоматическим способом, поскольку диспетчер, выбирая моменты времени передачи команд телеуправления, учитывает расположение подвижных единиц и надежное занятие и освобождение рельсовых цепей по стабильной (немигающей) индикации табло или монитора ДЦ.

Например, диспетчер начинает задавать встречный маршрут отправления ожидающему поезду не в момент размыкания конфликтной входной стрелочной секции пропускаемым безостановочно встречным поездом, а после получения стабильной индикации занятия этим поездом первой секции маршрута отправления в другой горловине станции. В такой ситуации прибывающий поезд нормальной длины, надежно занимая путь приема и первую секцию маршрута отправления, обязательно освободит конфликтную секцию

маршрутов приема и отправления. Это исключает перевод стрелки под составом при кратковременной потере поездного шунта на этой секции под последним вагоном прибывающего поезда.

Указанные условия рекомендуется контролировать и в алгоритмах адаптивной системы диспетчерской централизации (АДЦ), а также исключать, проверяя дополнительные условия, ложную фиксацию занятия поездом изолированных секций маршрутов и их преждевременное размыкание при кратковременных выключениях электропитания.

Поскольку неожиданные изменения условий движения поездов и отказы технических средств нельзя исключить, за диспетчером необходимо оставить принятие, корректировку и реализацию решений, а целью АДЦ должно стать информационное обеспечение, помогающее диспетчеру выполнять эти функции и улучшать результаты его работы.

## 1 Прогноз времени прибытия поездов

Наиболее сложной и трудоемкой функцией поездного диспетчера остается прогноз моментов времени прибытия поездов на станции диспетчерского участка. Это требует учета множества сложно взаимодействующих факторов и вычислений, которые из-за дефицита времени у диспетчера приходится заменять приближенной оценкой, особенно при выдаче машинистам предупреждений об изменениях установленной скорости. Поэтому автоматизация этого процесса является первоочередной задачей развития информационного обеспечения поездного диспетчера при АДЦ.

Прогнозируемые моменты времени прибытия поездов необходимы при определении достаточной длительности возникающих межпоездных и станционных интервалов для организации обгонов и скрещений поездов без задержек. Это требование выполняется, если открывать входной светофор поезду, принимаемому на путь станции обгона, скрещения или безостановочного пропуска не позднее вступления поезда на второй участок приближения к станции.

Поэтому, прогнозируя момент времени занятия обгоняемым или останавливаемым для скрещения поездом 1 второго участка приближения к станции  $n$  обгона или скрещения  $t_{n1}^{2уп}$ , необходимо учитывать следующие моменты времени  $t$  и затраты (промежутки) времени  $\tau$ :

$$t_{n1}^{2уп} \geq t_1^{нп} + \sum_i^{n-1} \tau_{i1}^{пх} + \tau_{n1}^{2уп} + \sum_i^k \tau_{i1}^{ст} + \sum_i^k \tau_{i1}^p + \sum_i^k \tau_{i1}^3 \geq t_{n1}^{обх}, \quad (1)$$

где  $t_1^{нп}$  – время начала прогнозирования момента времени занятия обгоняемым или останавливаемым для скрещения поездом 1 второго участка приближения

к планируемой станции обгона или скрещения  $n$ , определяемое АДЦ как время надежного занятия поездом 1 указанного пункта на диспетчерском участке (рельсовой цепи или датчика расположения поезда);  $\tau_{i1}^{пх}$  – перегонное время хода обгоняемого или останавливаемого поезда 1 от станции начала прогнозирования  $i$  до станции  $n - 1$ , предшествующей станции обгона или скрещения  $n$ ;  $\tau_{n1}^{2уп}$  – перегонное время хода обгоняемого или останавливаемого поезда от предыдущей станции  $n - 1$  до второго участка приближения к станции обгона или скрещения  $n$ ;  $\tau_{i1}^{ст}$  – длительности стоянок обгоняемого или останавливаемого поезда 1 на  $i$ -й станции, расположенной до станции планируемого обгона или скрещения  $n$ ;  $\tau_{i1}^p$  – время на разгон обгоняемого или останавливаемого поезда 1 после стоянки;  $\tau_{i1}^3$  – время на замедление обгоняемого или останавливаемого поезда 1 при остановке для стоянки;  $k$  – количество станций стоянок обгоняемого или останавливаемого поезда 1 на станциях, расположенных до станции планируемого обгона или скрещения  $n$ .

Момент времени  $t_{n1}^{обх}$  открытия входного светофора обгоняемому или останавливаемому для скрещения поезду 1 на станцию обгона или скрещения  $n$  определяется АДЦ добавлением к моменту времени  $t_{np}^{пп}$  прибытия предыдущего поезда на станцию  $n$ , фиксируемому АДЦ как момент освобождения этим поездом последней секции маршрута приема, суммы затрат времени на размыкание маршрута прибытия на станцию обгона или скрещения предыдущего поезда  $\tau_n^{рмп}$ , на передачу информации об этом поездному диспетчеру  $\tau_{np}^{рмд}$ , восприятие информации, принятие и реализацию решения диспетчером на открытие входного светофора обгоняемому или останавливаемому поезду  $\tau_{n1}^{прд}$ , передачу распоряжения диспетчера на станцию  $n$  об открытии входного светофора  $\tau_{n1}^{рдо}$ , перевод и открытие входного светофора обгоняемому и/или останавливаемому для скрещения поезду  $\tau_{n1}^{обх}$ :

$$t_{n1}^{обх} = t_{no}^{пп} + \tau_{no}^{рмп} + \tau_{np}^{рмд} + \tau_{n1}^{прд} + \tau_{n1}^{рдо} + \tau_{n1}^{обх}. \quad (2)$$

При этом необходимо учитывать затраты времени на поэтапное снижение скорости приближения поездов к выходным (маршрутным) светофорам с красными огнями, замедление на 15–25 секунд размыкания последних стрелочных секций в маршрутах приема (передачи) и соседних негабаритных стрелочных секций, а также **увеличение времени** автовозврата стрелок до 60 секунд.

Выполнение неравенств (1) и (2) создает условия, необходимые для исключения остановки обгоняемого или останавливаемого для скрещения поезда 1 перед входным светофором станции обгона или скрещения.

Прогнозируемый АДЦ момент времени занятия поездом 2, обгоняющим или пропускаемым по станции скрещения первым, второго участка приближения  $t_{n2}^{2уп}$  к станции обгона или скрещения  $n$  определяется выражениями, аналогичными (1) и (2) при условии замены индексов:

$$t_{n2}^{2\text{уп}} \geq t_2^{\text{нп}} + \sum_i^{n-1} \tau_{i2}^{\text{пх}} + \tau_{n2}^{2\text{уп}} + \sum_i^k \tau_{i2}^{\text{ст}} + \sum_i^k \tau_{i2}^{\text{р}} + \sum_i^k \tau_{i2}^3 \geq t_{n2}^{\text{обх}}; \quad (3)$$

$$t_{n2}^{\text{обх}} = t_{n1}^{\text{пп}} + \tau_{n1}^{\text{рмп}} + \tau_{n1}^{\text{рмд}} + \tau_{n2}^{\text{прд}} + \tau_{n2}^{\text{рдо}} + \tau_{n2}^{\text{вхв}}, \quad (4)$$

где  $\tau_{n2}^{\text{вхв}}$  – затраты времени на перевод стрелок и открытие входного и выходного светофоров обгоняющему или пропускаемому по станции первым при скрещении поезду 2.

Неравенства (3) и (4) проверяют достаточность межпоездного интервала для открытия входного светофора не позднее вступления обгоняющего или неостанавливаемого при скрещении поезда 2 на второй участок приближения к планируемой станции обгона или скрещенния, что является необходимым условием выполнения обгона или скрещенния без задержек на этой станции.

Выполнение условий (3) и (4), при соблюдении минимальных межпоездных интервалов, на следующей станции по направлению движения останавливаемых поездов сокращает их стоянки [9]. Поэтому для обгона или скрещенния следует выбирать станцию, предшествующую той, на которой указанные условия не выполняются, учитывая наличие достаточного количества путей соответствующей полезной длины для приема поездов.

В условиях движения поездов по нормативному графику значения их прогнозируемого перегонного времени хода и длительности стоянок принимаются равными величинам, предусмотренным нормативным графиком. При отклонениях этих поездов от нормативного графика диспетчеру приходится прогнозировать моменты времени прибытия поездов на станции диспетчерского участка с учетом необходимости сокращать перегонное время хода и длительность стоянок с целью восстановления движения по графику.

Прогноз перегонного времени хода грузовых поездов осложняется значительными изменениями массы и длины составов, использованием тяговых характеристик локомотивов, значительным влиянием профиля пути, изменениями установленной скорости и ограничениями устройств тягового электроснабжения.

## 2 Учет тяговых расчетов

Тяговые расчеты параметров движения поездов для составления нормативных графиков выполняются для расчетных поездов и поездов повышенного веса при установленных скоростях, определенных приказом руководства железной дороги ко времени выполнения тяговых расчетов. Установленные скорости изменяются на период ремонтов или на длительные сроки, что требует корректировки перегонного времени хода поездов.

Кроме того, перегонное время хода поездов всех категорий изменяется в широких пределах при выдаче предупреждений об изменениях установлен-

ной скорости. Поэтому перегонное время хода поездов требуется определять оперативно, выполняя тяговые расчеты в моменты времени поступления информации об изменениях установленной скорости.

С этой целью необходимо объединить в пределах диспетчерского участка АДЦ с системой тяговых расчетов ИСТРА-ОТР, разработанной специалистами Дальневосточного государственного университета путей сообщения (Хабаровск) и применяемой на всей сети дорог ОАО «РЖД», которая определяет перегонное время хода поездов всех категорий только при условии движения без задержек перед светофорами.

Оперативная передача информации в АДЦ об изменениях установленной скорости из автоматизированной системы выдачи и отмены предупреждений (АСВОП) и ГИД «Урал» с помощью разработанной ОАО «Внешвизцентр» автоматизированной системы выдачи показаний времени хода (АСВВХ) [10], дополненной передачей по радиоканалу результатов тяговых расчетов машинам локомотивов, обеспечит наиболее точный прогноз моментов времени прибытия поездов на станции диспетчерских участков.

При разработке программного обеспечения АДЦ необходимо предусмотреть построение прогнозируемых графиков исполненного движения поездов в условиях их движения при зеленых сигнальных показаниях локомотивных светофоров. Для этого потребуются включить в состав АДЦ комплекс имитационного моделирования процессов перевозок (ИМПП) [11], разработанный и совершенствуемый ИПТ РАН, который строит прогнозируемый график движения поездов.

В момент поступления поезда на диспетчерский участок номер поезда должен автоматически объединяться с информацией о нем из системы ГИД «Урал» и передаваться в АДЦ, которая на основе тяговых расчетов, с учетом условий (1)–(4), проложит на мониторе диспетчера прогнозируемые линии хода поездов по участку.

Если поезд поступит на участок по графику и проследует предыдущий диспетчерский участок по расписанию, то АДЦ проложит на мониторе ГИД «Урал» графиковую линию хода этого поезда.

При отклонениях от нормативного графика прогнозируемая линия хода поезда строится по результатам тяговых расчетов с учетом возможности нагона опоздания. Станции обгона и скрещения этого поезда выбираются по условиям, исключающим задержки поездов.

### 3 Учет статистических данных

В период адаптации системы к условиям диспетчерского участка, когда отсутствуют достаточные статистические данные, в качестве прогнозируемых значений перегонного времени хода поездов АДЦ передает в ГИД «Урал»

информацию о линиях хода, полученную в результате тяговых расчетов, выполненных с учетом параметров участка, поездов и системы интервального регулирования их движения, а также действующих ограничений скоростей.

При накоплении в АДЦ достаточных статистических данных о временных параметрах движения поездов и длительностях станционных интервалов, с учетом особенностей участка и вождения поездов машинистами, станет возможным использование для уточнения перегонного времени хода статистических данных, разделенных по параметрам поездов, локомотивам и машинистам.

Контроль занятия и освобождения поездами всех блок-участков перегонов следует использовать для определения фактических временных параметров движения поездов, передача которых по радиоканалу машинистам локомотивов повысит точность соблюдения машинистами прогнозируемых параметров.

В условиях реализации предлагаемых мероприятий АДЦ на основе анализа фактических параметров движения поездов поможет повышать точность прогноза линий их хода по перегонам диспетчерских участков и показатели работы поездных диспетчеров.

## Заключение

Результаты эксплуатации АДЦ, на основе максимального учета особенностей диспетчерских участков, тяговых расчетов, а также измеряемых и математически обрабатываемых параметров движения поездов, повысят точность прогноза моментов времени их прибытия на станции, что создаст условия для сокращения длительностей стоянок и улучшения показателей выполняемой работы.

## Библиографический список

1. Гавзов Д. В. Диспетчерские центры управления / Д. В. Гавзов, А. Б. Никитин // Транспорт: наука, техника, управление. – 1993. – Т. 2. – С. 2.
2. Саенко Н. Н. Автоматизация диспетчерского управления перевозочным процессом / Н. Н. Саенко, Д. В. Гавзов, А. Б. Никитин // Автоматика, телемеханика и связь на железных дорогах. – 1995. – № 6. – С. 9.
3. Талалаев В. И. Концентрация диспетчерского управления / В. И. Талалаев, Д. В. Гавзов, А. Б. Никитин // Железнодорожный транспорт. – 1997. – № 9. – С. 30.
4. Кузнецов Г. А. ГИД «Урал-ВНИИЖТ»: аналитические функции и автоматизация труда диспетчеров / Г. А. Кузнецов, С. В. Крашенинников, В. П. Крайсвит-

- ний, С. А. Свинин, Д. А. Матвеев, И. К. Вагизов // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 3. – С. 21–25.
5. Усков А. В. Движение по расписанию / А. В. Усков // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 6. – С. 52–55.
  6. Розенберг И. Н. Совершенствование системы управления содержанием эксплуатационной инфраструктуры с применением современных информационных технологий / И. Н. Розенберг, А. М. Замышляев, Г. Б. Прошин // Надежность. – 2009. – № 4 (31). – С. 14–22.
  7. Грошев Г. М. Исследование надежности АРМ диспетчерского персонала и методы выхода из сбойных ситуаций / Г. М. Грошев, А. В. Малкаев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2008. – № 3. – С. 26–35.
  8. Тимченко В. С. Определение «узких мест», ограничивающих пропускную способность железнодорожных направлений / В. С. Тимченко, И. М. Кокурин // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2015. – Т. 5. – № 1. – С. 11–16.
  9. Кокурин И. М. Автоматизация информационной поддержки принятия решений поездным диспетчером при организации движения поездов / И. М. Кокурин, А. Б. Васильев // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 2. – С. 156–167.
  10. Кокурин И. М. Инновационные решения в управлении эксплуатационной работой железнодорожного транспорта с использованием имитационного моделирования : монография / И. М. Кокурин, Ф. С. Пехтерев, А. С. Нестеров, Г. В. Верховых, А. А. Краснощек, В. А. Персианов. – СПб. : Внешвузцентр, 2009. – 88 с.
  11. Кокурин И. М. Оценка методом имитационного моделирования возможности освоения прогнозируемых объемов перевозок грузов по железнодорожной линии, обслуживающей морской порт / И. М. Кокурин, В. С. Тимченко // Вестник транспорта Поволжья. – 2014. – № 6. – С. 39–44.

*Iosif M. Kokuryn,*  
Solomenko Institute of transport problems  
of the Russian academy of sciences (ITP RAS)

### **Theoretical and technological foundation of constructing a self-organizing centralized traffic control system**

Building principles of a self-organizing centralized traffic control system (CTCS) were stated in the article, the latter represents a prospective line of modern controlling train movement systems' development on railway subdivisions. Special attention was paid to automation of information support of decision making by traffic controllers, while keeping their duties of decision making, updating and implementation. It was demonstrated, that, in order to achieve this goal, it was



necessary to combine the system of transit simulation modeling with an automation system of time taken data output (ASVVKh) in CTCS system, interacting with an automation system of issuing and cancelling warnings and a system of grade computations ISKRA-OTR.

centralized traffic control; information support of traffic controllers; methods for improving prediction accuracy of train arrival time; automation of operation of trains decision making

### References

1. Gavzov D. V., Nikitin A. B. (1993). Dispatching control centers [Dispetcherskie centry upravleniya], Transport: science, techniques, control [Transport: nauka, tekhnika, upravlenie], vol. 2. – P. 2.
2. Saenko N. N., Gavzov D. V., Nikitin A. B. (1995). Automation of the dispatch control of the transportation process [Avtomatizaciya dispetcherskogo upravleniya perevozhnym processom], Automation, remote control and communication on railways [Avtomatika, telemekhanika i svyaz' na zheleznnyh dorogah], issue 6. – P. 9.
3. Talalaev V. I., Gavzov D. V., Nikitin A. B. (1997). Concentration of dispatch control [Koncentraciya dispetcherskogo upravleniya], Railways transport [Zheleznodorozhnyj transport], issue 9. – P. 30.
4. Kuznecov G. A., Krashennnikov S. V., Krajsvitnij V. P., Svinin S. A., Matveev D. A., Vagizov I. K. (2012). “Ural-VNIIZhT”: Analytical functions and automation of labor of dispatchers [GID «Ural-VNIIZHT»: analiticheskie funkcii i avtomatizaciya truda dispetcherov], Railways transport [Zheleznodorozhnyj transport], issue 3. Pp. 21–25.
5. Uskov A. V. (2016). Movement on schedule [Dvizhenie po raspisaniyu], Railways transport [Zheleznodorozhnyj transport], issue 6. – Pp. 52–55.
6. Rozenberg I. N., Zamyshlyayev A. M., Proshin G. B. (2009). Control system enhancement of an operational infrastructure with application of state-of-the-art information technologies [Sovershenstvovanie sistemy upravleniya sodержaniem ehkspluatatsionnoj infrastruktury s primeneniem sovremennyh informacionnyh tekhnologij], Reliability [Nadezhnost'], issue 4 (31). – Pp. 14–22.
7. Groshev G. M., Malkaev A. V. (2008). Investigation of the reliability of the dispatching personnel workstation and methods of breaking out of the failure situations [Issledovanie nadyozhnosti ARM dispetcherskogo personala i metody vyhoda iz sbojnyh situacij], Proceedings of Petersburg transport university [Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya], issue 3. – Pp. 26–35.
8. Timchenko V. S., Kokurin I. M. (2015). The “Bottlenecks” Determination, Limiting the Througput of Railway Directions [Opredelenie «uzkih mest», ogranichivayushchih propusknuyu sposobnost' zheleznodorozhnyh napravlenij], Modern Problems of Russian Transport Complex [Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii], vol. 5, issue 1. – Pp. 11–16.
9. Kokurin I. M., Vasil'ev A. B. (2015). Automation of decision-making information support for train dispatcher for train traffic organization [Avtomatizaciya informacionnoj podderzhki prinyatiya reshenij poezdnyim dispetcherom pri organizacii dvizheniya

- poezdov], Automation on transport [Avtomatika na transporte], vol. 1, issue 2. – Pp. 156–167.
10. Kokurin I. M., Pekhterev F. S., Nesterov A. S., Verhovyyh G. V., Krasnoshchek A. A., Persianov V. A. (2009). Innovative solutions in managing the operational work of the railway transport using simulation modeling [Innovacionnyye resheniya v upravlenii ehkspluatatsionnoj rabotoj zheleznodorozhnogo transporta s ispol'zovaniem imitacionnogo modelirovaniya], monograph [monografiya]. Publishing center vneshvuztsentr [Izd-vo Vneshvuzcentr], St. Petersburg. – 88 p.
  11. Kokurin I. M., Timchenko V. S. (2014). Estimation by the method of simulation modeling of the possibility of mastering the predicted volumes of transportation of goods along the railway line serving the seaport [Ocenka metodom imitacionnogo modelirovaniya vozmozhnosti osvoeniya prognoziruemykh ob'emov perevozok gruzov po zheleznodorozhnoj linii, obsluzhivayushchej morskoy port], Bulletin of the Volga region transport [Vestnik transporta Povolzh'ya], issue 6. – Pp. 39–44.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Вал. В. Сапожниковым  
Поступила в редакцию 18.01.2017, принята к публикации 17.03.2017*

*КОКУРИН Иосиф Михайлович* – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории проблем организации транспортных систем Института проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской академии наук (ИПТ РАН), Санкт-Петербург.  
e-mail: kokyrinim@mail.ru

© Кокурин И. М., 2017

УДК 656.25

**О. А. Наседкин, канд. техн. наук,  
Е. В. Ледяев**

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

## **ИМИТАТОР ХАРАКТЕРИСТИК КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ СИГНАЛИЗАЦИИ, ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ И БЛОКИРОВКИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СВЕТООПТИЧЕСКИХ СВЕТОДИОДНЫХ СИСТЕМ**

Описываются результаты испытаний современных устройств железнодорожной автоматики и телемеханики на примере светооптических светодиодных систем для железнодорожной светофорной сигнализации. Анализируются особенности применения светооптических светодиодных систем взамен светофорных ламп накаливания. Рассматривается эквивалентная схема кабельной линии связи сигнализации, централизации и блокировки для испытаний на работоспособность и функциональную безопасность светооптических светодиодных систем в составе аппаратуры электрической централизации и перегонных систем с централизованным размещением оборудования. Приводятся результаты измерений актуальных на сети железных дорог Российской Федерации параметров кабельной линии сигнализации, централизации и блокировки.

светодиодные светооптические системы; кабельная линия связи; электрическая емкость; параметры кабеля; эквивалентная схема замещения; макет кабельной линии связи; функциональная безопасность; имитатор; кабель парной скрутки

### **Введение**

Необходимость применения вспомогательных средств для оценки результатов разработки современных устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) на различных стадиях обусловлена спецификой элементной базы, на которой они строятся.

При проведении испытаний технических средств на основе современной элементной базы на корректность и безопасность функционирования необходимо:

- определить минимально требуемый объем проверок с учетом специфики решаемых ими задач;
- обеспечить среду функционирования испытываемых устройств;
- обеспечить возможность управления параметрами среды функционирования и тестовыми воздействиями;

– проанализировать поведение технических средств в процессе функционирования при возникновении отказов.

Очевидно, что эффективно эти задачи могут быть решены только путем разработки специализированных средств испытаний, позволяющих максимально приблизить этот процесс к реальным условиям эксплуатации.

Все это в полной мере можно отнести к применению светодиодной техники взамен традиционных источников света, широко применяемых на сети железных дорог, – ламп накаливания.

Одной из основных проблем, которая сдерживает применение светодиодных систем во всех возможных эксплуатационных вариантах (в составе стационарных и перегонных светофоров), связана с низкой пороговой энергией светодиодов [1]. Следствием этого является невозможность обеспечения безопасности в необходимых режимах функционирования светофоров путем простой замены источника света.

С учетом того, что, согласно правилам технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, светофоры названы в качестве постоянных сигнальных приборов на железнодорожном транспорте и предназначены для обеспечения безопасности движения поездов, поскольку регламентируют допустимую скорость движения поезда по ограждаемому светофором участку и маршрут движения [2–4], вопрос обеспечения их безопасного функционирования при применении новых технологий является первостепенной задачей.

Исходя из основного назначения светофоров, связанных с их светооптическими характеристиками и схемами управления, в национальном стандарте [5] сформулирован ряд требований. В общем виде эти требования выглядят следующим образом:

- конструкция и расположение светофора должны исключать неправильное восприятие сигнального показания машинистом и не раздражать его;
- необходимо контролировать фактическое состояние источника света огня светофора;
- необходимо исключать включение ложного сигнального показания при неисправностях схемы управления и внешних влияниях.

Сложность реализации этих требований при применении светооптических светодиодных систем во многом определяется условиями их эксплуатации, а именно применением кабельных линий, длина которых может достигать 9 км. Остановимся на этом более подробно.

С середины XX в. для подачи сигнального показания в железнодорожных светофорах применяются линзовые комплекты (рис. 1), обеспечивающие необходимое распределение светового потока источника света, в роли которого выступает лампа накаливания. В начале нынешнего века большое распространение получило полупроводниковое освещение светодиодами, где световая отдача, лм/Вт (показатель экономичности энергопотребления),

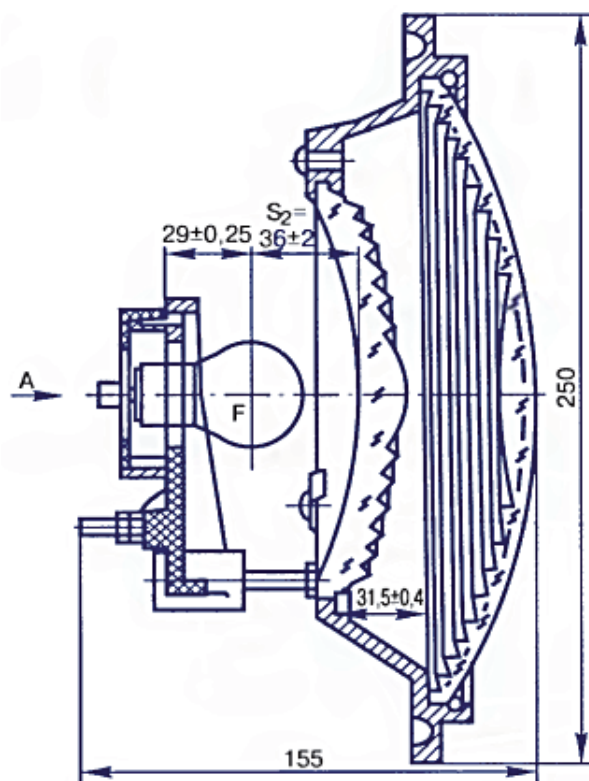


Рис. 1. Чертеж линзового комплекта

во много раз эффективнее, чем в лампах накаливания. В связи с высокой энергоэффективностью и долговечностью наметилась тенденция перехода железнодорожной сигнализации на светодиодные источники света.

В 2015 г. разработка светооптических светодиодных систем (ССС) получила свое нормативное подтверждение [5].

## 1 Устройство кабельной линии

Напольные устройства (светофоры, стрелочные электроприводы, рельсовые цепи и т. д.) соединяются между собой и с аппаратурой управления кабелями, которые вместе с кабельной арматурой образуют кабельную сеть. Таким образом, кабельная сеть состоит из кабеля, кабельных муфт, стоек и ящиков с соответствующим монтажом. Для подключения ССС к аппаратуре управления используются кабели сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) с номинальным напряжением до 380 В переменного тока частотой 50 Гц. Требования к кабелям сигнализации и блокировки по рабочей емкости между жилами приведены в [6, п. 5.2.2] для кабельной продукции заводов-изготовителей.

Если вблизи провода находится другой провод, то в результате взаимодействия зарядов и токов в этих сближенных проводниках распределение

полей меняется [7]. Это изменение полей по сравнению с полями одиночного проводника называется эффектом близости. В двухпроводных цепях переменного магнитного поля провода вызывает в массе соседнего провода перераспределение плотности тока по его сечению. Поскольку кабель СЦБ состоит из нескольких жил, которые скручиваются в пару, а затем в группы (рис. 2), данный эффект является определяющим при влиянии жил друг на друга.

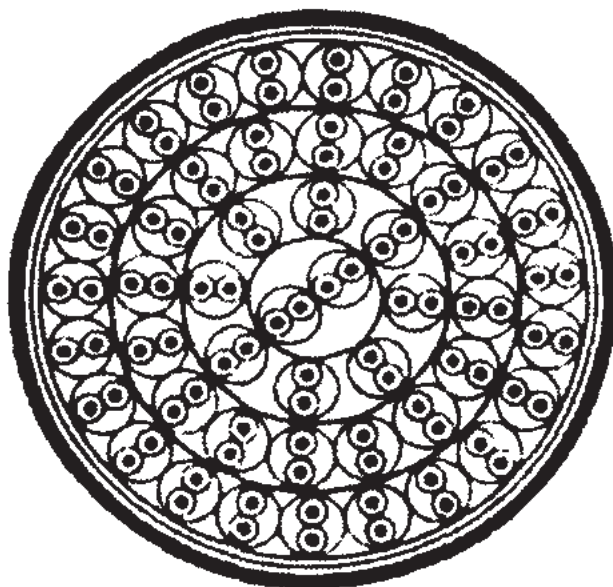


Рис. 2. Сердечники с парной скруткой жил

В кабельных линиях практически всегда объединяют различные цепи автоматики и телемеханики. Влияния между соседними цепями кабельной линии называют взаимными. В цепях могут индуцироваться опасные и мешающие напряжения и токи. Если опасные влияния могут привести к повреждению аппаратуры и поражению обслуживающего персонала, то мешающие нарушают нормальную работу оборудования.

Для характеристики цепей как влияющих их разделяют на симметричные и несимметричные. К симметричным относят однофазные двухпроводные цепи, а к несимметричным – все цепи, использующие землю в качестве одного из рабочих проводов. Полностью симметричных цепей, как показывает практика, не существует. Взаимные влияния между цепями обусловлены поперечной асимметрией, т. е. несимметричным взаимным расположением проводов (жил) влияющих цепей и цепей, подверженных влиянию геометрических размеров проводов, расстояниями между ними, а также продольной асимметрией (электрические параметры различны из-за наличия сварок, спаек, допусков по диаметру, различного расположения относительно земли). Несимметричное расположение проводов цепей друг относительно друга является основным фактором, определяющим появление электрических и маг-

нитных связей между цепями. При этом электрическая связь определяется коэффициентом электрической связи:

$$Y_{1,2} = g_{1,2} + j\omega C_{1,2},$$

где  $g_{1,2}$  – проводимость изоляции между проводами цепей 1 и 2 на 1 км сближения (активная составляющая электрической связи);  $C_{1,2}$  – емкость между проводами цепей 1 и 2 на 1 км сближения (емкостная связь);  $j\omega C_{1,2}$  – реактивная составляющая емкости; 1 – провода влияющей цепи; 2 – провода подверженной влиянию цепи.

Поскольку в области низких частот (ниже 10 кГц), на которых работает большинство устройств автоматики и телемеханики, преобладают электрические связи (активные составляющие которых малы), то в расчетах влияний между кабельными цепями в этом спектре частот достаточно учесть только емкостную связь [7, 8]. Ёмкостная связь между цепями вызвана изменением диэлектрической проницаемости изоляции жил по длине линии, ее толщины, взаимного расположения жил и др.

На этапе развития и попыток использования светодиодов в качестве источников света для железнодорожных светофоров выявилась проблема несанкционированной подсветки при удалении источника света от источника электропитания [1]. В связи с этим в стандарт [5] было включено требование о том, что ССС не должна излучать свет (в том числе при неисправностях элементов схемы) вследствие наведенных ЭДС переменного тока через емкость между жилами кабеля при удалении системы от источника электропитания.

## 2 Натурные испытания кабельной линии

В процессе эксплуатации систем ЖАТ очевидным фактом является ухудшение характеристик кабельной линии связи (КЛС) [9] и появление мешающего влияния на объекты управления (огня светофора), в результате которого возможно несанкционированное подсвечивание ССС. С целью получения реальных параметров кабельной сети были проведены измерения на 20 объектах Горьковской и Северо-Кавказской железных дорог кабелей парной скрутки, уложенных в 2004 и 2013 гг. соответственно.

В процессе испытаний по методу измерения электрической емкости [10] проводились измерения токопроводящих жил, принадлежащих как к одной скрученной паре, так и к смежным парам.

Результаты измерений параметров кабельной линии СЦБ представлены в табл. 1 и 2.

**Таблица 1.** Результаты измерения параметров кабельной линии СЦБ  
(Горьковская ж. д.)

№ п/п	Объект контроля	Длина кабельной линии, м	Ёмкость в паре, мкФ	Ёмкость между парами, мкФ
1	Перегон Второво – Тереховицы: светофор № 4	5000	0,295	0,220
2	Ст. Н. Новгород – Московский: светофор «Н»	3159	0,121	0,095
3	Ст. Н. Новгород – Московский: светофор «7Ч»	3394	0,130	0,103
4	Пост ЭЦ ст. Гороховец, линия модуль-концентрации Молодничи	11 000	0,406	0,355
5	Пост ЭЦ ст. Суроватиха – пост ЭЦ ст. Сечуга, жилы 1К–1ОК	6371	0,244	0,179
6	Ст. Суроватиха: светофор «ЧД»	6423	0,246	0,179
7	Ст. Суроватиха: светофор «Ч»	6398	0,245	0,178
8	Ст. Сечуга: светофор «Ч»	5117	0,196	0,160
9	Пост ЭЦ ст. Суроватиха – пост ЭЦ ст. Сечуга, жилы 2К–2ОК	6423	0,246	0,179

**Таблица 2.** Результаты измерения параметров кабельной линии СЦБ  
(Северо-Кавказская ж. д.)

№ п/п	Объект контроля	Длина кабельной линии, м	Ёмкость в паре, мкФ	Ёмкость между парами, мкФ
1	Перегон Анапа – Гастогаевский: светофор № 8	4056	0,227	0,179
2	Перегон Анапа – Гастогаевский: сигнальная точка № 3	4428	0,223	0,175
3	Перегон Анапа – Гастогаевский: сигнальная точка № 4	4280	0,130	0,103
4	Перегон Песчанокопская – Белоглинская: светофор № 9	10 000	0,592	0,438
5	Перегон Песчанокопская – Белоглинская: светофор № 6	7000	0,445	0,316
6	Перегон Песчанокопская – Сандатовский: светофор № 4	5000	0,286	0,212
7	Перегон Пролетарская – Ельмут: светофор № 9	8200	0,452	0,325
8	Перегон Пролетарская – Ельмут: светофор № 12	7900	0,555	0,401
9	Перегон Пролетарская – Ельмут: светофор № 7	8400	0,509	0,360
10	Перегон Пролетарская – Ельмут: светофор № 10	10 300	0,868	0,670



Удельные значения емкости на 1 км длины кабеля получены по формуле:

$$C = C_n \cdot \frac{1000}{L},$$

где  $C_n$  – измеренная емкость;  $L$  – длина измеряемого кабеля.

Выявлялась наибольшая величина емкости, при которой возникают мешающие влияния. При пересчете на 1 км кабельной линии связи максимальными значениями жил, принадлежащих одной скрученной паре, и жил, принадлежащих разным скрученным парам, стали значения 0,085 мкФ/км и 0,065 мкФ/км соответственно. Интерес представляет второе значение, так как в нормативно-технической документации оно не нормируется.

При разработке изделий, в процессе эксплуатации которых возможны последствия катастрофического характера, например, разрушение моста или отказ светофора, применяют коэффициент запаса  $K$ . Например, коэффициент запаса прочности стальных конструкций мостов может достигать 5–7, для целей испытаний на безопасность ССС  $K$  принимается равным 2. Выбор данного коэффициента связан не только с емкостной связью, но и с тем, что разделяющий жилы диэлектрик не имеет бесконечно высокого сопротивления, в связи с чем в кабеле возникают токи утечки, а с учетом старения кабеля этот параметр снижается.

В настоящее время периодичность контроля кабельных линий определяется сборником карт технологических процессов в устройствах СЦБ [11] и ограничивается проверкой после ремонта или замены кабеля СЦБ. Учитывая важность этих измерений, непосредственно влияющих на безопасность, в новых системах, например АБТЦ-03, в реальном масштабе времени осуществляется непрерывный схемный контроль исправности кабеля.

### 3 Разработка макета кабельной линии связи

В соответствии с особенностями испытаний устройств ЖАТ [12], а также для обеспечения проверки требования по отсутствию несанкционированной подсветки ССС и выполнения п. 14.11.2 стандарта [5] возникла необходимость разработки имитатора КЛС (далее в тексте – макет КЛС). За основу макета КЛС была взята эквивалентная схема электрической и магнитной связей между цепями [8], с учетом реальных ограничений.

Макет КЛС (рис. 3) предназначен для проведения испытаний на работоспособность и функциональную безопасность ССС, которые могут находиться на значительном расстоянии (более 100 м) от системы управления

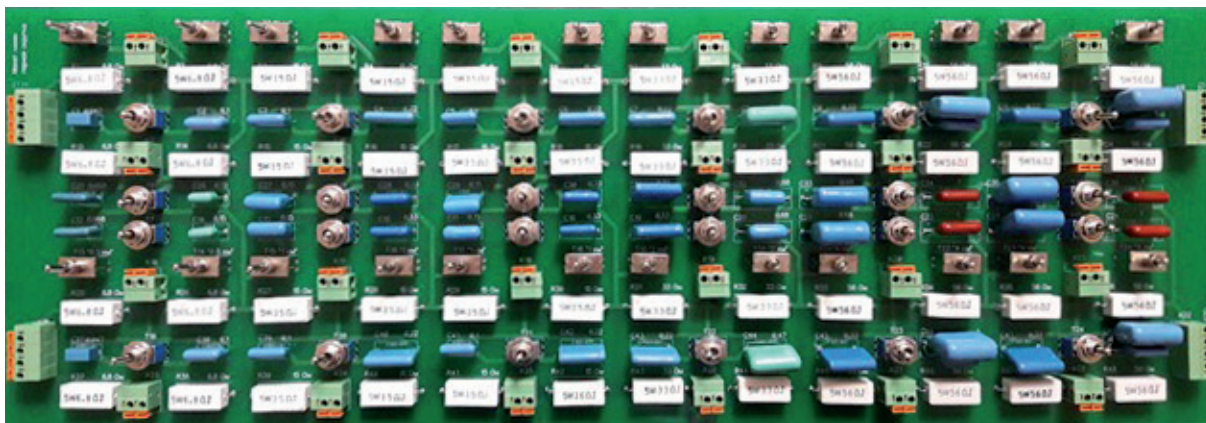


Рис. 3. Изображение макета КЛС

(питания). Кроме того, макет КЛС позволяет проводить испытания в лабораторных условиях (габариты макета 525×183 мм) силами одного человека в достаточно короткие сроки. Немаловажным фактором является мобильность макета и универсальность, сочетающаяся с возможностью имитации рабочих и предельных характеристик кабельной линии связи на различном удалении.

Кабельная линия связи является цепью с распределенными параметрами, представляющими собой бесконечное число бесконечно малых по величине пассивных элементов. Понятно, что спроектировать макет с бесконечным числом элементов невозможно, поэтому была поставлена задача максимально (с технической и экономической точки зрения) приблизиться к имитации распределенной линии. Для этого было принято решение использовать дискретность распределенной линии в виде нормированных значений сопротивлений и емкостей, при этом емкость подключена таким образом, что разряд накопленной энергии ограничивают эквивалентные активные сопротивления линии, они же являются и ограничивающими элементами в случае, если в приемнике сигнала присутствуют реактивные элементы, что, в свою очередь, ограничивает амплитуду электромагнитных колебаний LC-контура.

В соответствии с указанными целями и ограничениями авторами статьи была предложена эквивалентная схема макета КЛС, представленная на рис. 4. Такая структура позволяет испытателю с шагом 0,5 км формировать эквивалент кабельной линии от 0 до 12,5 км с рабочими и предельными (имитируя старение кабеля) параметрами. При этом рабочие характеристики выбираются с помощью тумблера  $T$ , в результате чего к линии подключаются емкости  $C_p$ . В случае необходимости испытаний на безопасность функционирования, при имитации предельных характеристик кабельной линии, к ней подключаются емкости  $C_6$ . При построении схем СЦБ учитывают сообщения жил кабеля как вероятный отказ, для этого макет КЛС содержит контактные площадки

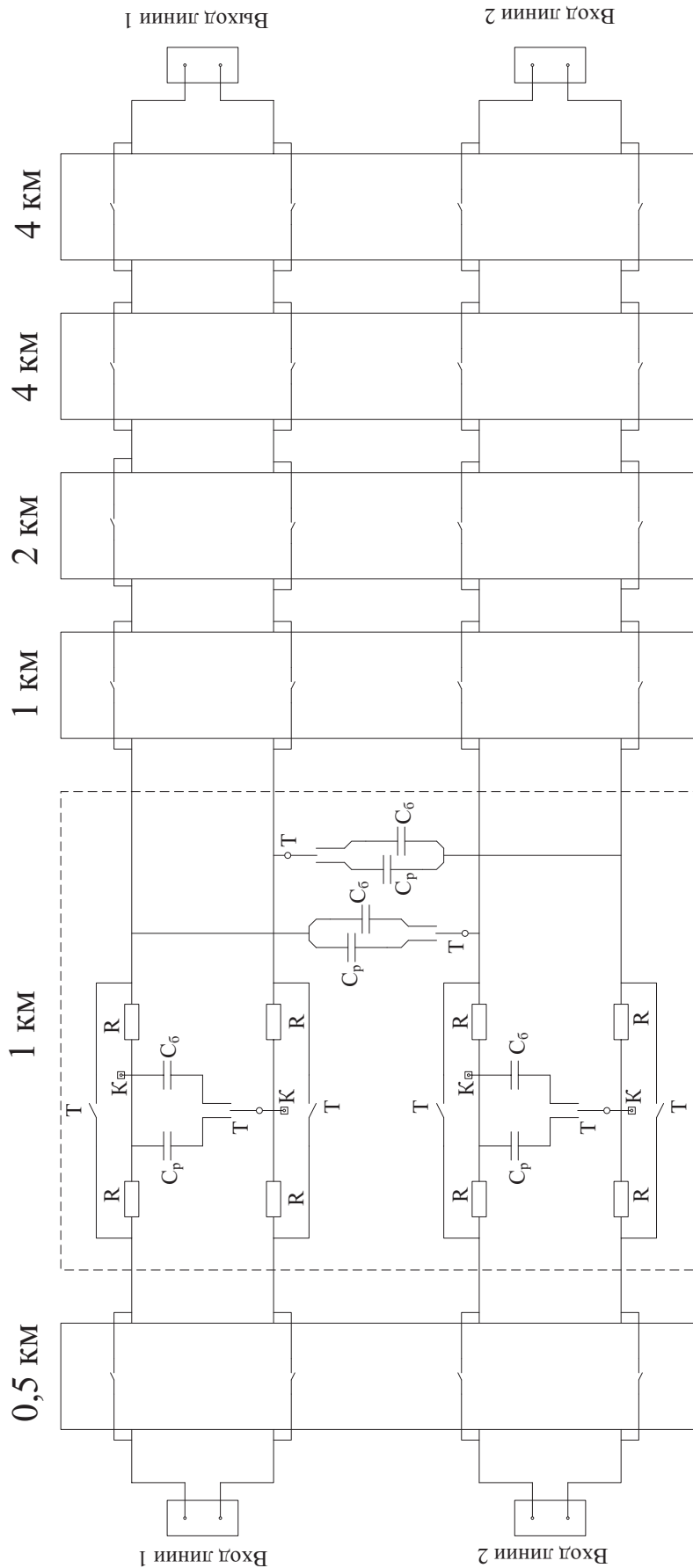


Рис. 4. Эквивалентная схема макета КЛС

$K$  для имитации коротких замыканий жил. Расчетные значения  $C_p$  и  $C_6$  для 1 км длины кабельной линии связи приведены в табл. 3.

**Таблица 3.** Расчетные значения  $C_p$  и  $C_6$ , мкФ/км

Жилы в одной паре		Жилы в смежных парах	
$C_p$	$C_6$	$C_p$	$C_6$
0,1	0,2	0,065	0,15

Важным условием для имитации цепи с распределенными параметрами является как можно больший набор дискретных длин. Например, при имитации КЛС длиной 4 км следует использовать элементы макета с параметрами 1 км + 1 км + 2 км. Так достигается эквивалентность распределенной цепи по сравнению с тем, если бы были выбраны параметры цепи участка только 4 км.

В случае необходимости модель макета КЛС может быть использована как вспомогательное испытательное оборудование при проведении испытаний, объектом которых могут стать любые устройства автоматики и телемеханики, подключаемые к выходу макета КЛС. Ограничение по электрической мощности объектов испытаний определяется номенклатурой электронных компонентов схемы макета КЛС.

Адекватность предложенного макета КЛС подтверждена натурными и стендовыми испытаниями, математическими расчетами и компьютерным моделированием электрических схем.

## Заключение

На основании предложенной эквивалентной схемы КЛС СЦБ и результатов натурных испытаний актуального состояния кабельной линии на сети железных дорог был спроектирован и изготовлен макет КЛС. Макет позволяет испытательной лаборатории ЖАТ Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I проводить стендовые испытания светооптических светодиодных систем на работоспособность и функциональную безопасность, в том числе при неисправностях самой кабельной линии СЦБ. Макет КЛС существенно оптимизирует трудовые, материальные и временные затраты на проведение испытаний. Отсутствие макета КЛС не позволяло в полном объеме проводить испытания из-за невозможности прерывания безостановочного процесса перевозок. Макет КЛС рекомендован для проведения испытаний других устройств и систем автоматики и телемеханики, расположенных на значительном (более 100 м) удалении от поста централизации.

## Библиографический список

1. Betriebliche und technische Aspekte der Anwendung von LED in der Signaltechnik / E. W. Ledyayev, O. A. Nasedkin, O. W. Seliwerstov // Signal und Draht. – 2013. – № 105 (10). – Pp. 24–27.
2. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : утв. приказом Минтранс РФ 21.12.2010 № 286. – [М., 2011].
3. Никитин А. Б. Основы проектирования электрической централизации промежуточных станций / А. Б. Никитин, В. А. Кононов, А. А. Лыков. – М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. – 348 с.
4. Сапожников Вал. В. Эксплуатационные основы автоматики и телемеханики / Вал. В. Сапожников, И. М. Кокурин, А. Б. Никитин, В. А. Кононов, А. А. Лыков. – М. : Маршрут, 2006. – 247 с.
5. ГОСТ Р 56057–2014. Системы светооптические светодиодные для железнодорожной светофорной сигнализации. Общие технические требования и методы испытаний. – М. : Стандартинформ, 2015.
6. ГОСТ Р 56292–2014. Кабели для сигнализации и блокировки. Общие технические условия. – М. : Стандартинформ, 2015.
7. Виноградов В. В. Линии железнодорожной автоматики, телемеханики и связи : учебник для вузов ж.-д. транспорта / В. В. Виноградов, С. Е. Кустышев, В. А. Прокофьев. – М. : Маршрут, 2002. – 416 с.
8. Андреев В. А. Направляющие системы электросвязи : учебник для вузов : в 2 т. Т. 1. Теория передачи и влияния / В. А. Андреев, Э. Л. Портнов, Л. Н. Кочановский ; под ред. В. А. Андреева. – 7-е изд., перераб. и доп. – М. : Горячая линия – Телеком, 2011. – 424 с.
9. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи : учеб. пособие для вузов ж. д. транспорта ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Маршрут, 2003. – 263 с.
10. ГОСТ 27893–88. Кабели связи. Методы испытаний. – М. : Стандартинформ, 2010.
11. Устройства СЦБ. Технология обслуживания : сборник карт технологических процессов в устройствах СЦБ : утв. 23.09.2013. – [М., 2013].
12. Наседкин О. А. Особенности испытания МПУ ЖАТ / О. А. Наседкин, Е. В. Ледяев // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 7. – С. 30–32.

*Oleg A. Nasedkin,*

*Evgenii V. Lediaev*

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

**A simulator of signalling, centralization  
and blocking cable line characteristics for light-optical  
light-emitting-diode systems' testing**

A qualified approach to testing of modern devices of railway automatics and telemechanics was described by the example of light-optical light-emitting-diode systems for railway color light signaling. The specificities of light-optical light-emitting-diode systems' application instead of incandescent signaling bulbs usage were analyzed. A diagram of an equivalent signalling cable line was considered, which was developed for durability and functional safety of light-optical light-emitting-diode systems' testing, being a part of electric interlocking devices and way-side systems with centralized equipment placement. The results of measurement of signalling cable line parameters, current for the network of the Russian railways, were presented.

light-emitting-diode light-optical systems; cable line; electric capacitance; cable parameters; equivalent network; cable communication line experimental model; functional safety; simulator; paired cable

**References**

1. Lediaev E. W., Nasedkin O.A., Seliwerstov O. W. (2013). Betriebliche und technische Aspekte der Anwendung von LED in der Signaltechnik, Signal und Draht, issue 105. – Pp. 24–27.
2. Rules of technical operation of the railways of the Russian Federation (approved by order of the Ministry of transport of the Russian Federation of December 21, 2010 N 286).
3. Nikitin A. B., Kononov V.A., Lykov A.A. (2013). Basics of designing interlocking of intermediate stations [Osnovy proektirovaniya ehlektricheskoy centralizacii promezhutochnyh stancij]. Moscow, FSBEI «Study and methodical railway transport education center» [FGBOU «Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte»]. – 348 p.
4. Sapozhnikov Val. V., Kokurin I. M., Nikitin A. B., Kononov V.A., Lykov A.A. (2006). Operational fundamentals of automation and remote control [Ehkspluatacionnye osnovy avtomatiki i telemekhaniki]. Moscow, Route [Marshrut]. – 247p.
5. GOST R 56057–2014. Light-optical light-emitting diode systems for railway traffic signaling. General technical requirements and test methods [GOST R 56057–2014. Sistemy svetoopticheskie svetodiodnye dlya zheleznodorozhnoj svetofornoj signal-

- izacii. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy]. Moscow, Standartinform [Standartinform], 2015.
6. GOST R 56292–2014. Cables for signaling and locking. General specifications [GOST R 56292–2014. Kabeli dlya signalizacii i blokirovki. Obshchie tekhnicheskie usloviya]. Moscow, Standartinform [Standartinform].
  7. Vinogradov V.V, Kustyshev S. E., Prokof'ev V.A. (2002). Electric lines of railway automation, remote control and communication, textbook [Linii zheleznodorozhnoj avtomatiki, telemekhaniki i svyazi, uchebnik dlya vuzov zheleznodorozhnogo transporta]. – Moscow, Route [Izdatel'stvo «Marshrut»]. – 416 p.
  8. Andreev V.A., Portnov Eh. L., Kochanovskij L. N. (2011). Telecommunication system guides. Textbook in 2 vol. Vol. 1 – Theory of transmission and influence [Napravlyayushchie sistemy ehlektrosvyazi. Uchebnik dlya vuzov. V 2-h tomah. Tom 1 – Teoriya peredachi i vliyaniya]. Ed. V.A. Andreev [Pod red. V.A. Andreeva]. 7-e edition. Moscow, Hot line-Telecom [7-e izd., pererab. i dop. Moscow, Goryachaya liniya-Telekom]. – 424 p.
  9. Reliability of railway automation, remote control and communication, textbook [Nadyozhnost' sistem zheleznodorozhnoj avtomatiki, telemekhaniki i svyazi, uchebnoe posobie dlya vuzov zheleznodorozhnogo transporta]. Ed. Vl. V. Sapozhnikov [Pod red. Vl. V. Sapozhnikova]. Moscow, Route [Marshrut]. – 263 p.
  10. GOST 27893–88. Communication cables. Test methods [GOST 27893–88. Kabeli svyazi. Metody ispytaniy]. Moscow, Standartinform [Standartinform].
  11. The collection of cards of technological processes in the devices of the signalling system «Signalling devices. Technology of service», approved on September 23, 2013.
  12. Nasedkin O. A., Ledyayev E. V. (2012). Features of testing of microprocessor devices of railway automatics and telemechanics [Osobennosti ispytaniya MPU ZHAT], Automation, communication, information science [Avtomatika, svyaz', informatika], issue 7. – Pp. 30–32.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии А. Б. Никитиным  
Поступила в редакцию 20.01.2017, принята к публикации 23.03.2017*

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

*ЛЕДЯЕВ Евгений Васильевич* – инженер испытательного центра железнодорожной автоматики и телемеханики Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.  
e-mail: ledyaev@crtc.spb.ru

© Наседкин О. А., Ледяев Е. В., 2017

## Стандартизация и сертификация

УДК 656.25:681.32

**Д. С. Марков, канд. техн. наук,  
О. А. Наседкин, канд. техн. наук,  
Д. А. Васильев,  
М. А. Бутузов**

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

### **ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭТАПОВ РАЗРАБОТКИ И ДОКАЗАТЕЛЬСТВА БЕЗОПАСНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ**

Проведен анализ основных понятий в области безопасности железнодорожной автоматики и телемеханики. Показана необходимость развития понятийного аппарата в указанной области в соответствии с требованиями различных стадий жизненного цикла и, в первую очередь, тех, которые связаны с процессами разработки и доказательства безопасности. В существующих нормативных документах используется понятие «функциональная безопасность», которое, к сожалению, трактуется по-разному. Кроме того, определение этого термина связано с понятиями «риск» и «ущерб», что характеризует целесообразность его использования для нормирования показателей безопасности инновационных разработок и оценки проектных решений. Использование понятия «функциональная безопасность» для разработки и доказательства безопасности систем железнодорожной автоматики затруднено его недостаточной содержательностью и отсутствием методик. В соответствии с этим предложен методический подход и система понятий для стадий разработки и доказательства безопасности. В качестве основного предложено использовать понятие «безопасность функционирования», которое включает следующие сопутствующие понятия: «технологическая безопасность», «технологическая функция», «безопасное поведение» и т. п.

технология и безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики; жизненный цикл; разработка и доказательство безопасности; безопасность функционирования; функциональная безопасность; технологическая функция; технология ЖАТ; безопасное поведение; технологическая безопасность

### **Введение**

В основе железнодорожного перевозочного процесса лежит совокупность технологических процессов и операций для безопасного перемещения



пассажиров или(и) грузов по железной дороге. Основой реализации технологических аспектов перевозочного процесса является совокупность функционально взаимосвязанных технических средств и технического персонала. Таким образом, общую безопасность перевозочного процесса можно представить как совокупность технологической безопасности, безопасности технических средств и безопасности действий технического персонала.

Нельзя утверждать, что терминологические аспекты, связанные с вопросами безопасности функционирования систем управления предыдущего поколения, не интересовали ученых и инженеров. Об этом свидетельствует ряд научных работ и публикаций [1–4]. Однако переход на современную элементную базу в значительной мере обострил эту проблему. Причиной тому стала специфика современных технических средств, которая, с одной стороны, позволила расширить спектр технологических задач, а с другой стороны, за длительный период ее применения выявила ряд особенностей, не характерных для аппаратуры предыдущего поколения, которые необходимо учитывать при ее разработке, эксплуатации и сопровождении. Это, прежде всего:

- наличие аппаратной и программной составляющих и, как следствие, распределение функциональных задач и задач обеспечения безопасного функционирования между ними;

- сложность аппаратных средств и специфика программного обеспечения как объекта разработки и экспертизы, многообразие подходов к реализации функциональности систем и методов обеспечения безопасности;

- применение как общепромышленных аппаратных и программных средств, так и специально разработанных для решения прикладных задач;

- распределение задач по разработке системы между несколькими разработчиками;

- оценка результатов разработки на различных стадиях жизненного цикла и, следовательно, необходимость формулировки критериев, методов и средств оценки для каждой стадии разработки.

Современные технические средства позволили значительно расширить возможности систем управления как в части реализации технологических задач, так и в решении задач контроля действий эксплуатационного персонала, тем самым повысив требования безопасности в реализации этих аспектов средствами аппаратного и программного обеспечения.

Решение проблемы обеспечения безопасности функционирования современных систем управления видится в переходе от оценки продукции к оценке процесса разработки [5]. Это подразумевает, прежде всего, организацию процесса разработки в виде итеративного процесса, охватывающего все этапы и стадии разработки системы, начиная от формирования технических предложений и заканчивая эксплуатационными испытаниями, с использованием различных видов доказательств и документального оформления требований, предъявляемых к каждой стадии, и результатов их проверки.

Реализация процесса разработки, как стадии жизненного цикла железнодорожной автоматики (ЖАТ), предполагает решение большого круга задач, это прежде всего [6]:

- формирование требований к системе;
- разработка методов оценки реализации требований;
- разработка инструментальных средств испытаний.

Следует отметить, что понятийный аппарат отстает от практических потребностей решения задач каждой стадии жизненного цикла ЖАТ. В особенности это касается единства в подходах к обеспечению и контролю показателей безопасности как единого процесса жизненного цикла ЖАТ, в целях подтверждения соответствия продукции ЖАТ требованиям технических регламентов [7].

Решение указанных проблем в значительной мере достигается разработкой и внедрением системы нормативных документов по безопасности систем управления сложными технологическими процессами и комплекса организационно-технических мероприятий по их внедрению. Однако, по мнению авторов, каждая стадия жизненного цикла ЖАТ требует дальнейшего развития и уточнения понятийного аппарата, свойственного именно этой стадии и процессу. В настоящей работе предложены методический подход и система основных понятий для этапов разработки системы и доказательства безопасности ЖАТ.

## 1 Основные положения

Стадии жизненного цикла ЖАТ, связанные с разработкой системы и доказательством безопасности, требуют уточнения и детализации терминов в области безопасности ЖАТ по отношению к известным ГОСТам по функциональной безопасности. В частности, понятие «функциональная безопасность». Первоначально заимствованное из европейских документов, посредством аутентичного перевода стандарта ИЕС 61508-3:1998, понятие «функциональная безопасность» постепенно перекочевало в отечественную нормативную базу. При этом формулировки этого термина в нормативных документах различного статуса отличны друг от друга. В них понятие «функциональная безопасность» определяется либо как свойство или способность объекта, связанного с безопасностью (ГОСТ Р 54504–2011, ГОСТ Р 52980–2008), либо как часть общей безопасности процесса, связанная со свойствами объекта (ГОСТ Р МЭК 61511-1–2011, ГОСТ Р МЭК 61508–4). Понятие «функциональная безопасность» во всех указанных ГОСТах и других источниках рассматривается вкуче с использованием таких понятий, как «вред», «ущерб», «вероятность ущерба», «риск», что определяет целесообразность использования процессного подхода к его анализу.

С указанной точки зрения интерес представляют следующие процессы:

- 1) движение подвижных единиц;
- 2) функционирование ЖАТ;
- 3) процесс отказов ЖАТ;
- 4) действия технического персонала.

В законе «О железнодорожном транспорте в РФ» безопасность процесса движения поездов характеризуется следующим определением. Это состояние защищенности процесса движения железнодорожного подвижного состава и самого железнодорожного подвижного состава, при котором отсутствует недопустимый риск возникновения транспортных происшествий и их последствий, влекущих за собой причинение вреда жизни или здоровью граждан, окружающей среде, имуществу физических или юридических лиц (статья 2 закона о железнодорожном транспорте в РФ).

Очевидно, что риск существует только тогда, когда одновременно реализуются и рассматриваются как минимум два процесса: процесс движения подвижных единиц и процесс нарушения условий безопасности движения, в частности по причинам отказов ЖАТ.

При таком подходе значения вероятностных показателей безопасности, в том числе рисков, определяются не только свойствами ЖАТ, но и технологической нагрузкой объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта, что целесообразно при оценке уровня безопасности конкретного проекта ЖАТ.

Для разработчиков ЖАТ не имеет принципиального значения, получены ли нормы вероятностных показателей безопасности на основе анализа рисков или, как это сделано в ОСТах «Безопасность железнодорожной автоматики», на основе анализа свойств безопасности существующих ЖАТ. Тем более, что имеется многолетний отечественный и зарубежный опыт разработки, проектирования и эксплуатации ЖАТ на различной элементной базе.

Перейдем от понятия «безопасность», связанного с процессом движения поездов, к системе понятий «безопасность как свойство ЖАТ», которые, с одной стороны, определяют функциональную безопасность ЖАТ, а с другой, позволяют не рассматривать количественные характеристики движения поездов. К таким понятиям относятся (ГОСТ Р 53431–2009, ОСТы «Безопасность железнодорожной автоматики»): «безопасность железнодорожной автоматики телемеханики», «безопасная система ЖАТ», «защитное и опасное состояние», «защитный и опасный отказы», «безопасное поведение при отказах» и т. п. Данные понятия являются техническими характеристиками ЖАТ, которые включаются в нормативную и конструкторскую документацию на разрабатываемую и испытываемую ЖАТ. Это положение является важнейшим, так как достигать и доказывать соответствие характеристик ЖАТ нормативным можно только при наличии их представления в нормативной и (или) конструкторско-технической документации.

Понятие «функциональная безопасность» в рассматриваемых нормативных документах определено как свойство объекта железнодорожного транспорта, связанного с безопасностью, выполнять требуемые функции безопасности при всех предусмотренных условиях в течение заданного периода времени (ГОСТ Р 54504–2011, статья 3.1.29). При этом функция безопасности определена как функция, которая предназначена для достижения или поддержания безопасного состояния по отношению к конкретному опасному событию.

Следует отметить, что системам ЖАТ свойственна функциональность, направленная на решение технологических задач, непосредственно связанных с безопасностью движения поездов. Например, проверка условий безопасного движения поездов по станции или перегону – исключение нагона, лобового или бокового столкновения поездов, перевода стрелки под составом, исключение двойного управления, контроль действий эксплуатационного персонала и т. д. В этом случае необходимо говорить о полноте и корректности реализации технологических функций. В то же время, в рамках программно-технических средств, являющихся базовой платформой любой системы или устройства ЖАТ, также реализованы функции безопасности, действия которых направлены на исключение опасного влияния на процесс функционирования системы, в результате возникновения сбоев и отказов аппаратных средств. Например, исключение несанкционированного управляющего воздействия на объект управления. Недостаток приведенного выше определения функциональной безопасности заключается в том, что оно не конкретизирует действия разработчика по доказательству безопасности разрабатываемого устройства или системы. В этом смысле для процесса разработки изделия, связанного с обеспечением безопасности движения поездов, оно должно учитывать все составляющие, интегральная оценка которых позволяет говорить о безопасности изделия в целом.

## 2 Термины и определения

Для формализации описания процесса функционирования ЖАТ вводится ряд новых по отношению к упомянутым выше ГОСТам определений.

**Определение 1.** Технологическая функция системы (устройства) ЖАТ – функция, выполняемая системой (устройством) ЖАТ в соответствии с ее назначением.

*Примечание.* Технологические функции должны обладать свойствами полноты и корректности выполнения технологических требований в соответствии с нормативной и (или) конструкторской документацией.

**Определение 2.** Технологические требования к системе (устройству) ЖАТ – множество норм, правил и условий выполнения технологических

функций системой (устройством) ЖАТ, сформулированных в соответствии с нормативной, эксплуатационно-технической и конструкторской документацией.

*Примечание.* Технологические требования входят в состав эксплуатационно-технических требований на систему или устройство.

**Определение 3.** Технология системы ЖАТ – совокупность технологических функций системы ЖАТ, выполняемых в соответствии с технологическими требованиями.

*Примечание.* Технология должна обеспечивать полноту функциональности ЖАТ в соответствии с требованиями нормативной и (или) конструкторско-технической документации.

**Определение 4.** Условия безопасности движения поездов – совокупность контролируемых состояний путевых объектов, железнодорожного подвижного состава, смежных систем и устройств, при которых обеспечивается безопасность движения поездов.

**Определение 5.** Технологическая безопасность системы (устройства) ЖАТ – свойство системы (устройства) ЖАТ выполнять все технологические функции в соответствии с требованиями безопасности в заданных условиях эксплуатации в течение заданного времени.

**Определение 6.** Требования к технологической безопасности системы (устройства) ЖАТ – установленное в нормативной и (или) конструкторской документации соответствие выполняемых системой (устройством) ЖАТ функций подмножеств проверяемых при их выполнении условий безопасности.

**Определение 7.** Необратимое защитное состояние системы (устройства) ЖАТ – защитное состояние системы (устройства) ЖАТ, выход из которого возможен только с участием человека.

**Определение 8.** Безопасное поведение системы (устройства) ЖАТ при отказе – переход системы (устройства) ЖАТ в защитное необратимое состояние при появлении отказов.

**Определение 9.** Систематическая ошибка системы (устройства) ЖАТ – несоответствие поведения системы (устройства) ЖАТ исходным требованиям, проявляющееся одинаково при одинаковых условиях в процессе функционирования вследствие наличия дефектов, внесенных в аппаратно-программные средства системы (устройства) на каком-либо этапе жизненного цикла.

**Определение 10.** Случайная ошибка системы (устройства) ЖАТ – несоответствие поведения системы (устройства) ЖАТ исходным требованиям, проявляющееся случайным образом вследствие отказа аппаратных средств.

**Определение 11.** Опасная ошибка системы (устройства) ЖАТ – систематическая или случайная ошибка системы (устройства), переводящая ее в процессе функционирования в опасное состояние.

Процесс функционирования ЖАТ характеризуется безопасностью функционирования и определяет уровень функциональной безопасности ЖАТ.

Тогда понятие безопасности функционирования ЖАТ на основе введенных определений 1–11 формулируется следующим образом.

**Определение 12.** Безопасность функционирования системы (устройства) ЖАТ – свойство системы (устройства) ЖАТ обеспечивать технологическую безопасность и безопасное поведение при систематических и случайных отказах аппаратных или аппаратно-программных средств и внешних воздействиях, включая ошибки операторов.

Понятие безопасности функционирования ЖАТ связано с понятием безопасности ЖАТ, т. е. является техническим, и в этом смысле ЖАТ опасна и без управления реальным движением, если:

- хотя бы одна технологическая функция выполняется при нарушении хотя бы одного условия безопасности из подмножества условий, проверяемых при выполнении данной технологической функции (нарушение технологической безопасности);

- осуществляется несанкционированное воздействие на объект управления;

- не выполняется реконфигурация или переход ЖАТ в защитное состояние при отказах технических средств;

- не выполняются положения концепции обеспечения безопасности ЖАТ.

Таким образом, для выполнения процессов разработки и доказательства безопасности ЖАТ предлагается использовать три взаимосвязанных понятия [8]:

- безопасность ЖАТ (ГОСТ Р 53431–2009) [9–12];

- безопасность функционирования ЖАТ;

- функциональная безопасность ЖАТ (ГОСТ Р 54504–2011, ГОСТ Р 52980–2008, ГОСТ Р МЭК 61511-1–2011, ГОСТ Р МЭК 61508–4).

Понятие «безопасность ЖАТ» определяется концепцией обеспечения безопасности аппаратных, программных, аппаратно-программных средств, составляющих техническую основу систем и устройств ЖАТ. Оно связано с процессами случайных и систематических отказов аппаратуры, ошибками программ, внешними воздействиями и характеризуется методами и аппаратно-программными средствами защиты от опасных отказов, суть которых – невыполнение положений концепции.

Понятие «безопасность функционирования ЖАТ» учитывает эксплуатационную специфику ЖАТ. Оно связано с процессом функционирования и характеризуется полнотой и корректностью выполнения технологических функций.

Понятие «функциональная безопасность ЖАТ» базируется на приведенных выше понятиях, и определяет уровень риска в управляемом технологическом процессе, т. е. в процессе движении поездов при применении систем и устройств с конкретными показателями безопасности.

Предлагаемый подход соответствует последовательности реализации стадий жизненного цикла – разработка, которая включает в себя процесс экспертизы и испытаний ЖАТ на безопасность и проектирование ЖАТ для конкретного полигона внедрения. Понятие безопасности ЖАТ применяется для экспертизы и статических испытаний ЖАТ на соответствие принятой концепции безопасности. Понятие безопасности функционирования ЖАТ применяется для динамических испытаний на технологическую безопасность и защитное поведение. Понятие функциональной безопасности ЖАТ применяется для анализа рисков с целью нормирования вероятностных показателей безопасности на начальных этапах разработки ЖАТ, экспертизы проектных решений и эксплуатационных испытаний. Для разработки ЖАТ целесообразно использовать указанные понятия в обратном порядке от нормирования вероятностных показателей функциональной безопасности ЖАТ до разработки концепции безопасности, конструкторско-технической документации и опытных образцов ЖАТ (безопасности ЖАТ, безопасности функционирования ЖАТ).

## Заключение

Понятийный аппарат по безопасности таких сложных и многообразных по функциональности и технической реализации систем, как системы ЖАТ, должен являться основой нормативных документов различного уровня в области ЖАТ. Задачи его формирования усложняются многоэтапным жизненным циклом ЖАТ, каждый из этапов которого предъявляет специфические требования к соответствующему понятийному аппарату. В настоящее время имеются существенные разночтения в различных нормативных документах в определении таких понятий, как функция безопасности, функциональная безопасность и т. п. Кроме того, отсутствуют инженерные методики оценки рисков и ущербов от нарушения требований функциональной безопасности для основных видов ЖАТ. Эти факторы затрудняют и ограничивают сферы применения соответствующих нормативных документов, особенно на этапах разработки и доказательства безопасности ЖАТ. В данной работе предложен процессный подход и на его основе сформулирована система понятий, основой которых является понятие безопасность функционирования ЖАТ. Предложенные понятия могут использоваться для сопровождения различных испытаний и экспертиз на безопасность стадий разработки, изготовления, технической эксплуатации, модернизации ЖАТ. Однако наиболее существенна их роль на этапах разработки и доказательства безопасности ЖАТ.

В работе:

– предложен процессный подход к формализации понятий по безопасности ЖАТ;

– на основе процессного подхода сформулирована новая по отношению к существующим нормативным документам система понятий – безопасность функционирования ЖАТ;

– определено соотношение понятий безопасности ЖАТ, безопасного функционирования ЖАТ, функциональной безопасности ЖАТ для этапов разработки и доказательства безопасности ЖАТ.

Перспективы – разработка на основе предложенных в данной работе понятий нормативных документов по следующим направлениям:

- понятийный аппарат экспертизы ЖАТ на безопасность;
- понятийный аппарат статических и динамических испытаний ЖАТ на безопасность;
- основные требования к программам и методикам испытаний ЖАТ на безопасность;
- основные требования к средствам испытаний ЖАТ на безопасность.

## Библиографический список

1. Лисенков В. М. Безопасность ответственных технологических процессов и технических средств на транспорте / В. М. Лисенков // Автоматика и телемеханика и связь. – 1992. – № 1. – С. 8–11.
2. 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.
3. Сапожников Вал. В. Методы и средства оценки и обеспечения безопасности систем железнодорожной автоматики / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Гавзов, Д. С. Марков // Автоматика и телемеханика и связь. – 1992. – № 1. – С. 4–7.
4. Сапожников Вал. В. О соотношении понятий надежности и безопасности / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, В. И. Талалаев, Д. В. Гавзов, Д. С. Марков // Автоматика, телемеханика и связь. – 1992. – № 7. – С. 18–20.
5. Наседкин О. А. Особенности испытания МПУ ЖАТ / О. А. Наседкин, Е. В. Ледеяев // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 7. – С. 30–32.
6. Наседкин О. А. Методическое и техническое обеспечение испытаний микропроцессорных систем / О. А. Наседкин, Д. А. Васильев, А. М. Белоус // Автоматика, связь, информатика. – 2013. – № 12. – С. 23–27.
7. Белишкіна Т. А. Особенности подтверждения соответствия требованиям безопасности железнодорожной автоматики в переходный период после принятия технических регламентов таможенного союза / Т. А. Белишкіна // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2. – № 2. – С. 208–227.
8. ГОСТ Р 53431–2009. Автоматика и телемеханика железнодорожная. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2010. – 19 с.
9. ГОСТ Р МЭК 61508-4–2012. Функциональная безопасность систем, электрических, электронных программируемых электронных, связанных с безопасностью. Ч. 4. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2014. – 20 с.



10. ГОСТ Р 52980–2008. Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Системы программируемые электронные железнодорожного применения. Требования к программному обеспечению. – М. : Стандартинформ, 2009. – 19 с.
11. ГОСТ Р 54504–2011. Безопасность функциональная. Политика, программа обеспечения безопасности. Доказательство безопасности объектов железнодорожного транспорта. – М. : Стандартинформ, 2013. – 24 с.
12. ГОСТ Р МЭК 61511-1–2011. Безопасность функциональная. Системы безопасности приборных промышленных процессов. Ч. 1. Термины, определения и технические требования. – М. : Стандартинформ, 2013. – 65 с.

*Dmitry S. Markov,  
Oleg A. Nasedkin,  
Denis A. Vasil'ev,  
Maxim A. Butuzov*

«Automation and remote control on railways» department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university

### **Terminological peculiarities of stages of railway automation and remote control safety development and proving**

The analysis of basic notions in the sphere of railway automation and remote control (RARC) safety was carried out. The necessity of conceptual framework development in RARC sphere was indicated, according to the requirements of different stages of a life cycle and, first of all, those stages which are connected with the processes of safety development and proving. The latter is determined by the fact that the notion of functional regulation is used in current regulations, which, unfortunately, is interpreted differently in different papers. In addition, the definition of this term is connected with the notions of risk and damage, which characterizes the appropriateness of its use for safety parameters of innovative solutions and the assessment of specific design solutions. The use of the notion of functional safety for safety development and proving of railway automatics systems is complicated by the lack of its meaningfulness and the absence of adequate techniques. In accordance with the above, a methodological approach was suggested in the given study, as well as the system of notions for stages of safety development and proving. The notion of functioning safety was introduced as the basic term, which includes the following concomitant notions: process safety, technological function, behavior-based safety etc. The terms and definitions for basic notions and those related to them were introduced in the study, as well as the methodological approach to their application at the stages of safety development and proving of systems and equipment of railway automatics, together with «Safety of railway automatics» system of regulations.

railway automation and remote control (RARC); life cycle; safety development and proving; functioning safety; functional safety; RARC safety; technological function; RARC technology; behavior-based safety; process safety.

### References

1. Lisenkov V. M. (1992). Safety of responsible technological processes and technical means in transport [Bezopasnost' otvetstvennykh tekhnologicheskikh processov i tekhnicheskikh sredstv na transporte], Automation, remote control and communication [Avtomatika i telemekhanika i svyaz'], issue 1. – Pp. 8–11.
2. Gavzov D. V., Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V. (1994). Methods for providing safety in discrete systems [Metody obespecheniya bezopasnosti diskretnykh sistem], Automation and Remote Control [Avtomatika i telemekhanika], issue 8. – Pp. 3–50.
3. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V., Gavzov D. V., Markov D. S. (1992). Methods and means of assessing and ensuring the safety of railway automation systems [Metody i sredstva ocenki i obespecheniya bezopasnosti sistem zheleznodorozhnoj avtomatiki], Automation, remote control and communication [Avtomatika, telemekhanika i svyaz'], issue 1. – Pp. 4–7.
4. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V., Talalaev V. I., Gavzov D. V., Markov D. S. (1992). On the relation of the concepts of reliability and safety [O sootnoshenii ponyatij nadyozhnosti i bezopasnosti]. Automation, remote control and communication [Avtomatika i telemekhanika i svyaz'], issue 7. – Pp. 18–20.
5. Nasedkin O. A., Ledyayev E. V. (2012). Features of testing of microprocessor devices of railway automatics and telemechanics [Osobennosti ispytaniya MPU ZHAT], Automation, communication, information science [Avtomatika, svyaz', informatika], issue 7. – Pp. 30–32.
6. Nasedkin O. A., Vasil'ev D. A., Belous A. M. (2013). Methodical and technical support of tests of microprocessor systems [Metodicheskoe i tekhnicheskoe obespechenie ispytaniy mikroprocessornykh sistem], Automation, communication, information science [Avtomatika, svyaz', informatika], issue 12. – Pp. 23–27.
7. Belishkina T. A. (2016). Features of confirmation of conformity to the requirements of railway automation and remote control safety during the transition period after acceptance of technical regulations of the customs union [Osobennosti podtverzhdeniya sootvetstviya trebovaniyam bezopasnosti zheleznodorozhnoj avtomatiki v perekhodnyj period posle prinyatiya tekhnicheskikh reglamentov tamozhennogo soyuza], Automation on transport [Avtomatika na transporte], vol. 2, issue 2. – Pp. 208–227.
8. GOST R 53431–2009. Railway automation and remote control. Terms and definitions [GOST R 53431–2009. Avtomatika i telemekhanika zheleznodorozhnaya. Terminy i opredeleniya]. Moscow, Standartinform [Standartinform]. – 19 p.
9. GOST R MEK 61508-4–2012. Functional safety of electrical, electronic programmable electronic systems related to safety. Part 4. Terms and definitions [GOST R MEHK 61508-4–2012 Funkcional'naya bezopasnost' sistem ehlektricheskikh, ehlektronnykh programmiruemyykh ehlektronnykh, svyazannykh s bezopasnost'yu. Chast' 4 terminy i opredeleniya]. Moscow, Standartinform [Standartinform]. – 20 p.

10. GOST R 52980–2008. Industrial automation systems and their integration. Systems of programmable electronic railway application. Software requirements [GOST R 52980–2008 Sistemy promyshlennoj avtomatizacii i ih integraciya. Sistemy programmiruemye ehlektronnye zhelezodorozhnogo primeneniya. Trebovaniya k programmnomu obespecheniyu]. Moscow, Standartinform [Standartinform]. – 19 p.
11. GOST R 54504–2011. Functional safety. Policy, safety program. Proof of the safety of railway transport facilities [GOST R 54504–2011 Bezopasnost' funkcional'naya. Politika, programma obespecheniya bezopasnosti. Dokazatel'stvo bezopasnosti ob'ektov zhelezodorozhnogo transporta]. Moscow, Standartinform [Standartinform]. – 24 p.
12. GOST R MEC 61511-1–2011. Functional safety. Safety systems instrument industrial processes. Part 1. Terms, definitions and technical requirements [GOST R MEHK 61511-1–2011. Bezopasnost' funkcional'naya. Sistemy bezopasnosti pribornye promyshlennyh processov. Chast' 1. Terminy, opredeleniya i tekhnicheskie trebovaniya]. Moscow, Standartinform [Standartinform]. – 65 p.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Вал. В. Сапожниковым  
Поступила в редакцию 03.02.2017, принята к публикации 06.03.2017*

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

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

*ВАСИЛЬЕВ Денис Анатольевич* – старший научный сотрудник Центра компьютерных железнодорожных технологий кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.  
e-mail: denvas@crtc.spb.com

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

© Марков Д. С., Наседкин О. А., 2017  
© Васильев Д. А., Бутузов М. А., 2017

## *Электронное моделирование*

УДК 681.5.015

**А. К. Черных, д-р техн. наук**

Кафедра «Информатика и математика»,  
Санкт-Петербургский военный институт войск национальной гвардии

**М. Г. Яшин, канд. техн. наук**

Кафедра «Восстановление автоматики, телемеханики и связи на железных дорогах»  
Военный институт (железнодорожных войск и военных сообщений)  
Военной академии материально-технического обеспечения  
им. генерала армии А. В. Хрулёва

### **КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ СИНТЕЗА МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ, ФУНКЦИОНИРУЮЩИМИ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ**

Рассматривается подход к построению моделей управления транспортными системами, функционирующими в реальном масштабе времени. Сложность построения указанных моделей определяется противоречием, которое заключается, с одной стороны, в необходимости использовать для получения обоснованных данных, необходимых для оптимального управления восстановлением объектов железнодорожной сети, подвергшейся значительным разрушениям, классических оптимизационных методов, которые для своей реализации при управлении транспортными системами требуют значительного временного ресурса. С другой стороны, использование таких математических методов приводит к потере оперативности получения указанных данных, что препятствует эффективному управлению указанными транспортными системами. Предлагаемый подход позволяет, при построении моделей управления транспортными системами, разрешить вышеуказанное противоречие, используя представленные концептуальные принципы синтеза моделей управления, которые позволят гармонизировать оперативность получения и обоснованность решения о восстановлении железнодорожной сети, подвергшейся значительным разрушениям в результате чрезвычайной ситуации, и тем самым реализовать принцип функционирования системы в реальном масштабе времени. При разработке предлагаемых в статье принципов синтеза моделей управления организационными системами преследовалась цель – в полном объеме использовать их при создании моделей управления транспортными системами, позволяющих осуществлять оптимальное управление формированиями министерств и ведомств, включая железнодорожные войска РФ, выполняющие задачу восстановления железнодорожной сети, подвергшейся значительным разрушениям в результате чрезвычайной ситуации. В процессе разработки предлагаемых в статье принципов синтеза моделей управления организационными системами решены задачи структурирования принципов, направленных на придание модели свойства осуществлять оперативное формирование данных, используемых при выработке решения о восстановлении

железнодорожной сети, подвергшейся значительным разрушениям в результате чрезвычайной ситуации, и системотехнических принципов моделирования, определяющих характер подходов, позволяющих реализовать эффективные алгоритмы применения математических методов в современной программной среде используемых в настоящее время средств вычислительной техники. Результатом разработки концептуальных принципов синтеза моделей управления организационными системами, функционирующими в реальном масштабе времени, явилась полная система оперативных и системотехнических принципов, лежащих в основе создания указанных моделей управления. Предлагаемый подход может представлять интерес для исследователей и разработчиков, занимающихся проблемами моделирования организационных систем, функционирующих в реальном масштабе времени.

чрезвычайная ситуация; восстановление железнодорожной сети; реальный масштаб времени; принципы синтеза моделей управления

## Введение

Как известно, система восстановления железнодорожной сети, подвергшейся значительным разрушениям, например в результате чрезвычайной ситуации, является сложной организационной системой [1], в рамках которой необходимо восстановить сквозное движение в кратчайшие сроки, т. е. в реальном масштабе времени.

Развитие теории восстановления железных дорог в части, касающейся проблем совершенствования управления восстановительными формированиями, в решающей мере определяется созданием и эффективным использованием автоматизированных технологий управления, основанных на современных методах и моделях управления процессами восстановления железнодорожной сети, разрушенной в результате чрезвычайной ситуации.

В настоящее время в экономически развитых странах планомерно повышается эффективность восстановления железных дорог за счет создания и применения высокотехнологичных методов, средств и технологий совершенствования организации управления восстановительными работами. Наиболее эффективным направлением решения этой проблемы является комплексная автоматизация функционирования органов управления восстановительными работами на основе использования современных средств управления, связи и комплексов средств автоматизации.

Повышение эффективности управления должно главным образом достигаться за счет использования математических моделей, позволяющих органам управления в короткие сроки производить в многовариантном режиме значительный объем вычислений с целью определения оптимального порядка применения восстановительных формирований при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

С конца 70-х гг. XX в. до настоящего времени появилось множество научных исследований по проблематике моделирования сложных организа-

ционных систем, к которым относится и система восстановления железнодорожной сети [2–17]. Предлагались различные концепции создания математических моделей организационных систем, которые обладали как несомненными достоинствами, так и рядом недостатков, в первую очередь, связанных с несовершенством аппаратных и программных платформ моделирования, характерным для 70-х гг. Нынешнее развитие средств вычислительной техники позволило по-новому осмыслить возможность математического моделирования организационных систем, в том числе функционирующих в реальном масштабе времени.

В настоящее время при создании таких моделей необходимо учитывать: основные положения системного подхода; разнородность подсистем и элементов, составляющих систему; случайность и неопределенность различных факторов, воздействующих на систему; значительное число вероятностных процессов; влияние человеческого фактора в процессе управления системой; требования по оперативности управления системой, а также отображения ее состояния и возможностей, в том числе в мультимедийном режиме, на электронных средствах отображения информации в рамках компьютерных сетей и в реальном масштабе времени.

Всё это позволяет констатировать, что разработка математических моделей организационных систем, функционирующих в реальном масштабе времени (в дальнейшем – организационных систем), по-прежнему представляет достаточно сложную проблему. Таким образом, предлагаемая в статье система концептуальных принципов, которые необходимо использовать при синтезе математических моделей организационных систем, функционирующих в реальном масштабе времени, является, с нашей точки зрения, актуальной.

## 1 Концептуальные принципы создания математических моделей

Приведем основные концептуальные принципы создания математических моделей организационных систем, давая, при необходимости, краткие пояснения.

Основополагающим является принцип соответствия структуры и методов функционирования модели содержанию управленческих задач и последовательности их решения органами управления организационной системой. Необходимо отметить, что структура разрабатываемой модели должна быть адекватна процессу планирования порядка функционирования элементов организационной системы, и с этой точки зрения, если говорить о реализации указанного принципа, режимы функционирования модели должны позволять:

– быстро воспринимать и обрабатывать вводимые исходные данные, осуществлять их корректировку и выдачу по запросу определенным должност-

ным лицам на автоматизированные рабочие места (АРМ) индивидуального и коллективного использования;

- осуществлять моделирование и выдавать количественные данные с электронной карты, описывающие условия местности, в интересах объективной оценки обстановки, создания наиболее рациональной идеи и подготовки решения по применению необходимого элемента организационной системы;

- обеспечивать расчетными данными отработку всех вопросов планирования;

- прогнозировать развитие обстановки в ходе функционирования организационной системы и обеспечивать в реальном масштабе времени необходимыми данными органы управления организационной системы для своевременного уточнения решений и планов применения элементов организационной системы;

- формировать выдаваемые результаты моделирования в виде электронных документов, включая документы по доведению задач до элементов организационной системы, графики, рисунки, схемы, гистограммы, решения и планы применения элементов организационной системы на фоне электронных карт.

Немаловажное значение имеет принцип обеспечения требуемой точности и детализации проведения моделирующих расчетов. Эти показатели определяются руководящими документами, что не исключает, однако, возможности их небольшой корректировки на этапе разработки конкретной модели. Отметим, что в некоторых случаях не имеет смысла добиваться большой точности расчетов за счет усложнения математического аппарата, так как исходная информация для моделей часто имеет значительные погрешности [18].

Следующий принцип создания математических моделей организационных систем – комплексный подход к моделированию процессов планирования применения элементов организационной системы. Под комплексным подходом здесь понимается взаимоувязка по составу и степени детализации используемых в расчетах данных и автоматизация в рамках модели разноплановых функций должностных лиц органов управления организационной системой. При этом автоматизация будет направлена на проведение расчетов, разработку плановых документов, подготовку и отправку директивных указаний, формирование графических иллюстраций, выработку элементов решений и планов применения элементов организационной системы на фоне электронных карт.

Значим также принцип оперативности применения модели должностными лицами органов управления организационной системой. Речь здесь идет не только об оперативности расчетов в рамках модели, но и о скоростных параметрах ввода исходных данных. Параллельный ввод исходных данных для модели с нескольких АРМ позволяет сократить продолжительность ввода

исходной информации в несколько раз. Отметим, что в перспективе, когда разработанная математическая модель будет неоднократно реализована, появится возможность разработки режима быстрого получения приближенных значений выходных данных, основанного на идеях интерполяции.

Принцип многовариантности проведения моделирующих расчетов регламентирует необходимость получения с помощью модели не одного, а нескольких альтернативных вариантов рационального применения элементов организационной системы в рамках выделенного лимита времени (рис. 1).

В настоящее время достаточно часто используется переход к многовариантным расчетам, когда в качестве результата выступает набор альтернатив, в отличие от попыток проведения «глобальной» оптимизации (т. е. решения иерархических моделей путем оптимизации по единому критерию). Иногда вместо оптимизации переходят к относительно простым аналитическим моделям, позволяющим быстро получать в заданной области альтернативные варианты решений для различных наборов исходных данных.

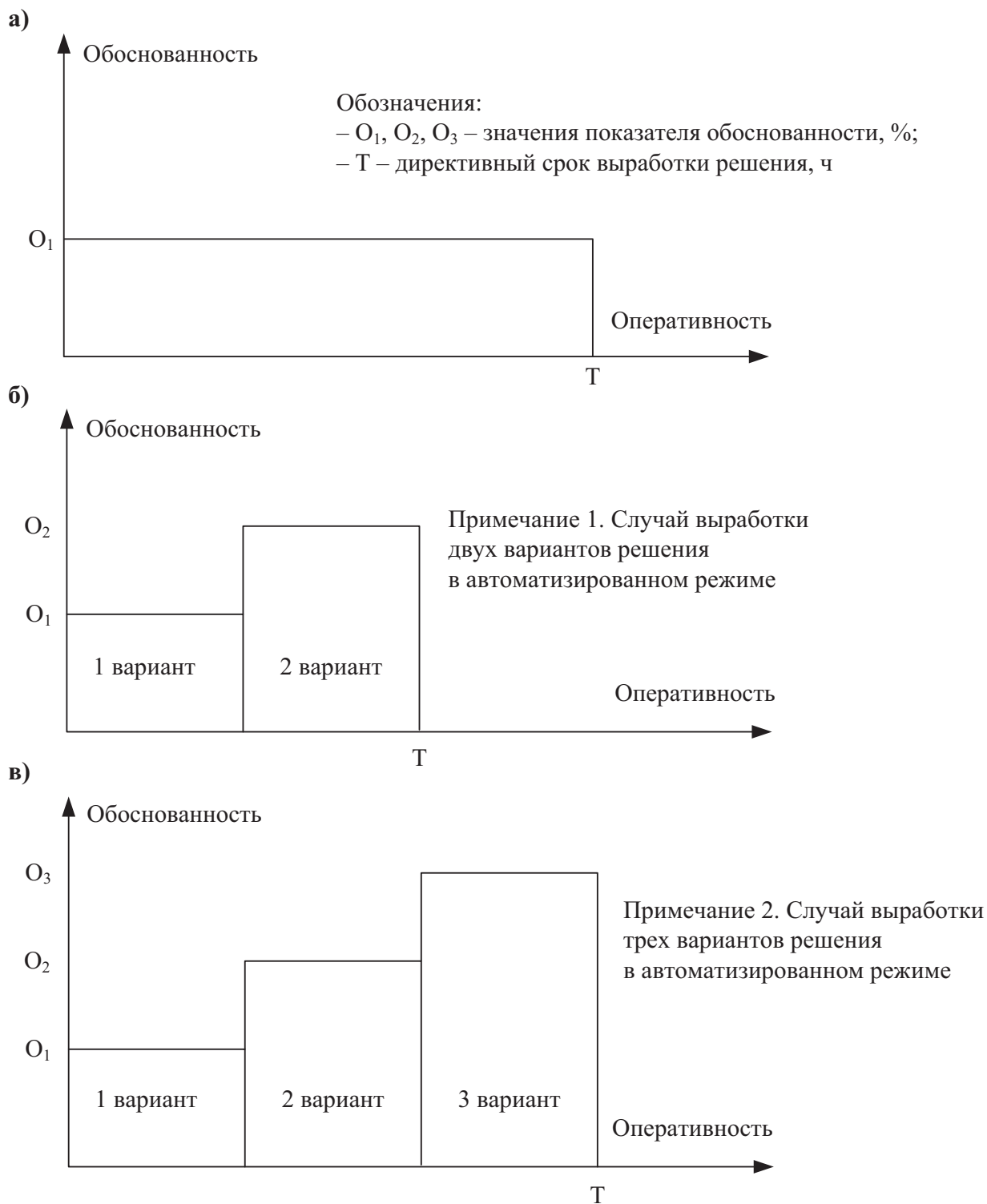
Подчеркнем также, что выбор приемлемого (не строго оптимального) варианта решения в случаях автоматизированного формирования альтернативных вариантов решений осуществляется среди эффективных (иначе «паретовских» [19, 20]) решений в диалоговом (интерактивном) режиме должностным лицом органа управления. Множество эффективных решений, среди всех решений, обозначенных точками, соединено на рис. 2 пунктиром.

При разработке модели должен учитываться принцип простоты и удобства работы должностных лиц органов управления организационной системой по моделированию процессов применения элементов организационной системы. В понятие простоты и удобства работы здесь включается: использование в модели привычных («традиционных») для должностных лиц исходных и выходных данных; передача результатов моделирования на устройства отображения информации в виде текстовых и графических документов установленной формы; проведение моделирующих расчетов с основных АРМ должностных лиц; возможность проведения моделирующих расчетов как в автономном, так и в сетевом режимах; наличие удобного пользовательского интерфейса.

Следует отметить также принцип транспарентности («прозрачности») модели для органов управления организационной системой. При этом подразумевается, что должны быть понятны ограничения и допущения модели, логический процесс получения выходных данных, зависимость результатов от изменения исходных данных или ограничений, т. е. сведения о чувствительности модели.

Предполагается, что при выполнении этого условия должностное лицо (пользователь) достаточно высокого уровня квалификации сможет рассматривать применяемую им модель как непосредственное продолжение своих оценок с помощью традиционных экспертных методов. Кроме того, для





**Рис. 1.** Способы принятия решения: *а* – неавтоматизированный; *б* – на основе новых математических методов; *в* – на основе новых информационных технологий

пользователя должна быть обеспечена возможность всесторонней оценки самой модели [21]. Пользователь должен быть убежден в математической корректности модели, в адекватности реальным процессам той части модели, которая допускает формальное математическое описание, и, наконец,

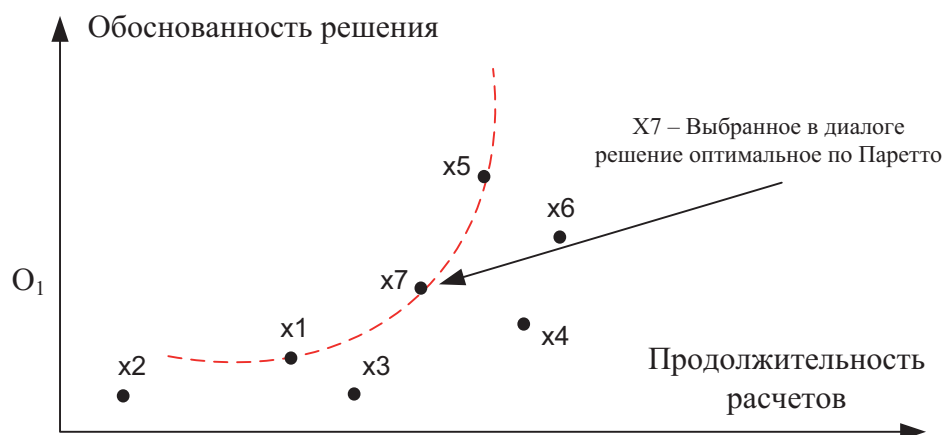


Рис. 2. Схема использования многовариантных расчетов

в использовании обоснованных исходных данных. Требования, кроме того, касаются представления в явном виде всех ограничений и сделанных допущений, возможности естественной трактовки полученных результатов. Более жесткие требования должны быть выдвинуты не только к трудозатратам на подготовку исходных данных, но и к качеству самих данных. Верификация должна заключаться в основном в оценке соответствия моделей решаемым с их помощью задачам. При этом особое внимание должно уделяться анализу корректности допущений, сделанных при формализации реальных процессов.

Модель должна обеспечить получение количественных оценок влияния на ход выполнения задач процессов принятия решений, т. е. должно выполняться требование чувствительности моделей к принимаемым решениям. Кроме того, процесс моделирования решения должен быть динамичным, способным реагировать на изменение обстановки. В результате реализации модели должен автоматически формироваться спектр возможных решений.

В модели должен быть реализован принцип возможности выработки рекомендаций по оптимальному применению элементов организационной системы, а также возможность пояснения результатов моделирования должностным лицам органов управления организационной системой, средствами модели.

## 2 Системотехнические принципы моделирования

При разработке математических моделей организационных систем должны быть учтены предложенные в статье основные системотехнические принципы создания модели.

Следует заметить, что необходимость разработки системотехнических принципов обоснована дальнейшим развитием комплексных систем автоматизации управления организационными системами.

Основным принципом является адекватность используемого при создании модели математического аппарата описываемым процессам функционирования организационной системы (по точности, детализации и оперативности проведения расчетов).

Существенным здесь является то обстоятельство, что при проведении расчетов должно учитываться большее число факторов, значительно влияющих на моделируемые процессы по сравнению с расчетами, проводимыми неавтоматизированными методами. Это приводит к необходимости использовать в рамках модели классические оптимизационные методы, такие как методы линейного и нелинейного программирования, сетевого планирования и управления, теории вероятностей и математической статистики, а также имитационное моделирование (в основном в прогнозных моделях, в мирное время). Однако опыт разработки математических моделей [3, 5, 8, 15] свидетельствует о том, что при определенной детализации расчетов, которая должна быть принята в модели, в целях адекватного учета порядка применения элементов организационной системы, использование некоторых классических методов приводит к тому, что при повышении точности возникает угроза потери оперативности проведения моделирующих расчетов. Поэтому, по нашему мнению, актуально использование в модели эвристических алгоритмов, а также приближенных численных алгоритмов, направленных на быстрое получение решений, достаточно близких к оптимальным, а также теории нечетких множеств, нечеткой логики и нечеткого вывода Мамдани [22]. В пользу такого подхода свидетельствует то обстоятельство, что, согласно опыту использования разработанных моделей, в них зачастую используются приближенные данные, которые, наряду с приближенными результатами расчетов, устраивают пользователей моделей.

При разработке моделей имеет значение использование эффективных программных средств. Особенно тщательно должны выбираться система программирования и система управления базами данных, на основе которых будет разрабатываться модель. Кроме того, в обязательном порядке должны использоваться программные средства, воспрепятствующие несанкционированный доступ к программным средствам модели и результатам ее реализации.

При создании модели необходимо учесть технические возможности средств автоматизации, которыми оснащены органы управления (производительность, объемы оперативной и внешней памяти и т. п.), а также реализовать модульную структуру модели с пошаговой фиксацией результатов моделирования.

Модульность структуры сохраняет возможность совершенствования и развития модели без ее коренной ломки. Основным элементом модели должна являться встроенная база данных, ведение которой должно осуществляться специальными должностными лицами независимо от должностных лиц органов управления организационной системой, в результате чего для

проведения расчетов должностные лица органов управления будут готовить значительно меньший объем информации в более сжатые сроки.

При создании модели необходимо учесть принцип иерархии. Модель сложной системы имеет вид многоуровневой иерархической системы взаимодействующих элементов. Описание процесса взаимодействия и работы отдельных элементов зависит от выбранной формализации. Можно сказать, что такой способ отвечает представлениям исследователя об изучаемой системе. Поэтому и программная реализация, как правило, следует указанному иерархическому принципу, т. е. в программе необходимо выделять блоки, процедуры и прочее, взаимодействующее примерно так же, как элементы системы. Подобное построение существенно облегчает процесс отладки модели и ее идентификацию. Однако вовсе не обязательно, чтобы получающиеся программы были эффективны с вычислительной точки зрения. Более того, эффективность работы программы может существенно зависеть от структуры модели.

Соблюдение принципа декомпозиции позволит упростить процесс создания модели. Сложная система предполагает значительный объем и разнородность вопросов, требующих своего отображения в математической модели, что влечет за собой громоздкость и, как правило, потерю таких важных качеств, как наглядность и удобство анализа. Одним из наиболее приемлемых методов декомпозиции моделей является замена их системой менее крупных моделей, увязанных между собой по входным и выходным данным, т. е. замена сложной модели многоуровневой иерархической системой более простых моделей. Достоинство такой замены, помимо практического удобства при проведении вычислительных работ, состоит, прежде всего, в том, что модели и методы каждого уровня иерархии в значительной степени могут изучаться независимо от моделей других уровней. Анализ моделей более высокого уровня иерархии, опирающихся на обобщенные, высокоагрегированные характеристики, получаемые от моделей более низких уровней иерархии, позволяет выявить наиболее общие тенденции и особенности, свойственные оптимальным решениям широкого класса подобных моделей и в конечном итоге выявить структуру оптимальных решений. Основным результатом анализа таких моделей является не столько набор конкретных чисел, сколько выявленные закономерности и тенденции, важные для качественного анализа исследуемого процесса.

Разработка модели должна носить итерационный характер, что подразумевает реализацию принципа последовательности. Как известно, существуют три основные причины, вызывающие ошибки при моделировании:

- неточность входной информации;
- методические ошибки, связанные с упрощением модели и неучетом ею тех или иных факторов и характеризующиеся  $\sigma_m$ ;
- ошибки расчета (при методе статистических испытаний при малой выборке, при численном интегрировании за счет дискретности шага, за счет округлений и т. д.), характеризующиеся  $\sigma_p$ .

Ошибки в определении критерия  $K = K(A_1, A_2, \dots, A_n)$  для независимых ошибок этих трех групп вычисляются с помощью формулы:

$$\sigma_K = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\partial K / \partial A_i)^2 \cdot \sigma_{A_i}^2 + \sigma_M^2 + \sigma_P^2},$$

где  $A_i$  – входные данные, влияющие на величину критерия;  $\sigma_{A_i}$  – величины среднеквадратичных ошибок в их определении.

Если при построении модели пренебрегают факторами, учесть которые можно, но которые в целях упрощения модели принимаются со средними значениями, методическая ошибка может быть вычислена по формуле:

$$\sigma_M = \sqrt{\sum_{k=1}^n (\partial K / \partial A_k)^2 \cdot \sigma_{A_k}^2},$$

где  $\sigma_{A_k}$  – среднеквадратичное отклонение неучитываемых факторов от их средних значений.

Порядок повышения адекватности модели с учетом вышеуказанного принципа можно представить в виде укрупненной схемы алгоритма (рис. 3). В математическом виде этот процесс на каждой итерации формализуется следующим образом:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (\partial K / \partial A_i)^2 \cdot \sigma_{A_i}^2 + \sigma_M^2 + \sigma_P^2} \rightarrow \min,$$

при ограничениях

$$0 < \sigma_{A_i} < \delta_{A_i} \quad (i = \overline{1, n});$$

$$0 < \sigma_M < \delta_M;$$

$$0 < \sigma_P < \delta_P,$$

где  $\delta_{A_i}$  ( $i = \overline{1, n}$ ),  $\delta_M$ ,  $\delta_P$  – пороговые значения указанных переменных, оптимизация до которых имеет смысл.

Методы, используемые в процессе моделирования, должны распределяться по итерациям следующим образом:

– 1-я итерация – оптимизационные методы, позволяющие создать базовый вариант модели, который не способен еще дать требуемую детализацию расчетов;\*

\* Указанные методы, по мнению авторов, могут в полной мере заменить имитационное моделирование.

- 2-я итерация – расширение методов 1-й итерации за счет использования методов и технологий геоинформационной системы;
- 3-я итерация – расширение методов 2-й итерации за счет использования методов теории искусственного интеллекта, теории принятия решений, теории нечетких множеств, нечеткой логики и нечеткого вывода Мамдани;
- 4-я итерация – расширение методов 3-й итерации за счет использования стохастических методов.

Согласно принципу сведения, проблемы повышения точности моделирования (понижения дисперсии оценок), оценки чувствительности, укрупнения состояний могут быть формализованы в виде задачи оценки непрерывности модели в следующей форме.

Пусть анализируемая модель преобразует набор исходных данных  $X$  в набор выходных данных  $Y$ . Вследствии погрешности статистических оценок, намеренного искажения входных данных для упрощения вида модели, изменения этих данных в целях изучения чувствительности модели и т. п. изучается другая модель, преобразующая данные  $X'$  в данные  $Y'$ . Если отклонение  $X$  от  $X'$  измеряется некоторой метрикой  $\mu_x$ , а отклонения  $Y$  от  $Y'$  – метрикой  $\mu_y$ , то задача анализа непрерывности состоит в исследовании условий справедливости соотношения

$$\mu_x(X, X') \rightarrow 0 \Rightarrow \mu_y(Y, Y') \rightarrow 0$$

и получения количественных оценок в нем. Если удастся найти общий метод анализа непрерывности, то он автоматически применим (с соответствующей интерпретацией результатов) для решения перечисленных выше задач.

Целесообразно учесть принцип выбора расчетных зависимостей. Идея его состоит в том, что зависимость для указанного должностным лицом вида расчетов должна определяться с использованием экспертной системы, реализуемой в рамках базы знаний, на основе проверки, с помощью информационных технологий, наличия в базе данных, необходимых для реализации этой зависимости.

В свою очередь, принцип распределенного ведения расчетов предполагает распределенную технологию расчетов модели управления организационной системой, в том числе четкое разделение множества расчетов на те, которые нуждаются в моделировании, и те, проведение которых при данной реализации модели не требуется. Возможные трудности, которые могут возникать при передаче данных с помощью вычислительной среды, в рамках которой реализована модель управления организационной системой, полностью за счет использования маршрутизаторов, реализующих одну из информационных технологий передачи данных по вычислительным сетям. Основными функциями специального программного обеспечения в рамках данного режима являются: формирование выходных документов, компоновка

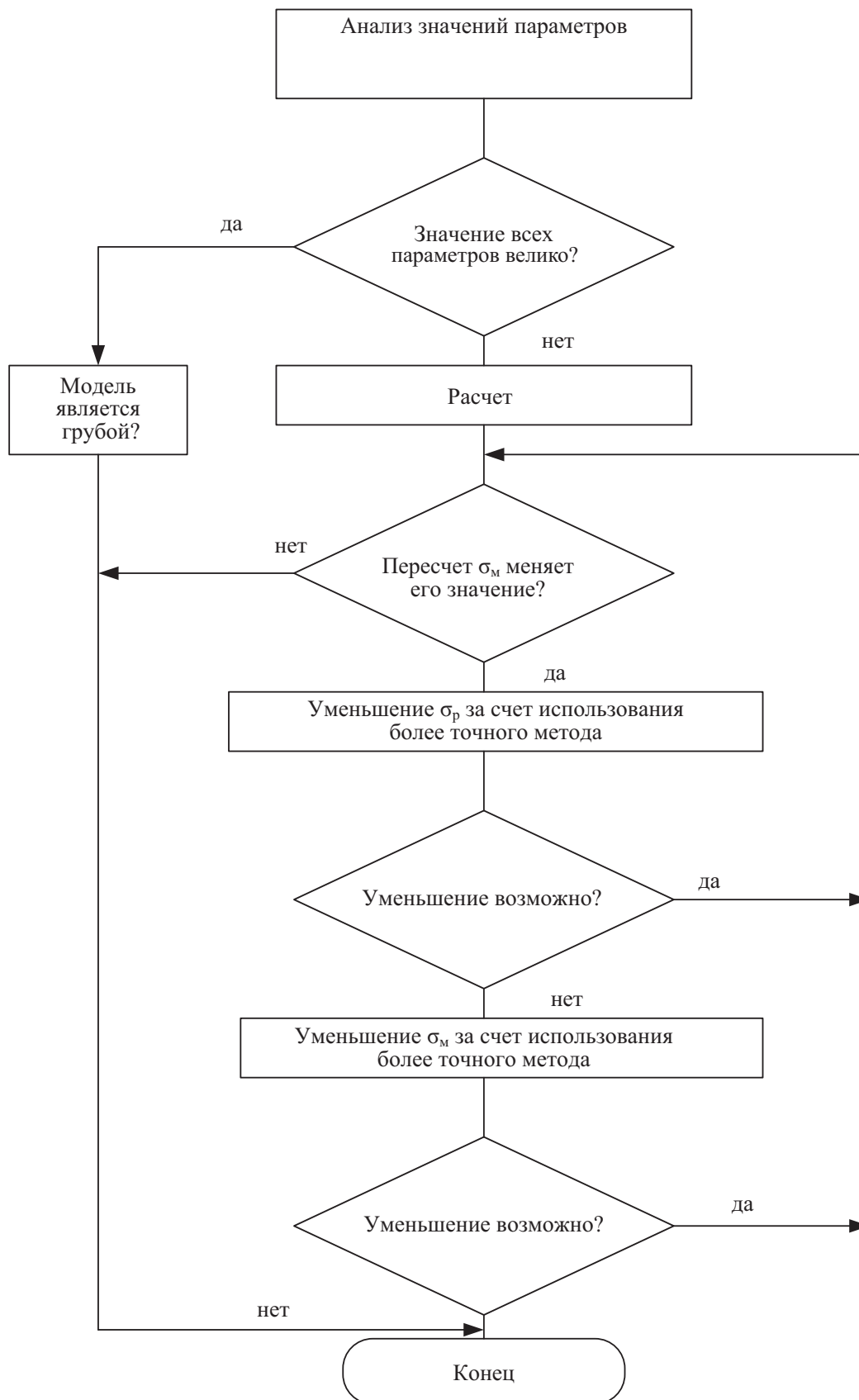


Рис. 3. Порядок повышения адекватности модели с учетом принципа последовательности

расчетных данных в формате, готовом к пересылке по нужному сетевому адресу, и включение в состав предназначенных для них документов, восстановление путем пересылки вместо поврежденных расчетных данных новых с требуемыми значениями. Подчеркнем, что пересылаемые расчетные данные автоматически вводятся во фрагменты распределенной базы данных, в том числе в разработанные ранее плановые документы. Отметим, что рассматриваемый принцип наиболее эффективно реализуется в рамках технологии параллельных вычислений [23, 24].

Необходим переход от модели, имеющей жесткий, неизменный в пределах данной модификации модели алгоритм, который не требует непосредственного управления со стороны должностного лица органа управления организационной системой, а обеспечивает автоматический расчет числовых значений элементов принимаемого решения в соответствии с текущими значениями управляющих параметров модели, к модели с удобным пользовательским интерфейсом. Варианты принимаемого решения варьируются путем задания в точках диалога соответствующих значений управляющих параметров и исходных данных.

В качестве эксплуатационных показателей следует принять трудозатраты на сбор, формализацию и ввод исходных данных в вычислительную систему, время решения одного варианта, а также трудозатраты на анализ результатов моделирования. Каждый из этих показателей является сложной функцией, зависящей в общем случае от таких факторов, как уровень и тип модели, объем исходной информации, сложность алгоритма, быстродействие системы. Улучшение этих показателей связано с переходом на новые средства вычислительной техники, обладающие большим быстродействием, встроенным информационным обеспечением, современной технологией обработки данных, а также упрощенным математическим аппаратом. Появилась также возможность использования для оперативного контроля состояния и возможностей войск мультимедийных средств на фоне электронных карт геоинформационной системы.

## Заключение

Перечисленные в статье принципы являются, по нашему мнению, концептуальной основой процесса создания математических моделей организационных систем, функционирующих в реальном масштабе времени, и дают конструктивные ответы на важные вопросы, возникающие в процессе моделирования.

Отметим также, что автоматизация процесса управления восстановлением железных дорог, будучи средством повышения эффективности управления восстановительными работами, включает в себя как совершенствова-



ние научно-обоснованной технической и вычислительной среды АСУ ОАО «РЖД», которое требует отдельного исследования, так и модификацию специального программного обеспечения этой АСУ, позволяющих в совокупности повысить оперативность и качество планирования восстановления железнодорожной сети, разрушенной в результате чрезвычайной ситуации. Сложности алгоритмов управления восстановительными работами оцениваются степенными зависимостями.

## Библиографический список

1. Низов А. С. Организация восстановления железных дорог : учебник / А. С. Низов, Д. И. Попов, Г. А. Ложечников. – СПб. : ВАМТО, 2014. – 304 с.
2. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М. : Наука, 1978. – 400 с.
3. Калашников В. В. Сложные системы и методы их анализа / В. В. Калашников. – М. : Знание, 1980. – 60 с.
4. Яглом И. М. Математические структуры и математическое моделирование / И. М. Яглом. – М. : Советское радио, 1980. – 145 с.
5. Калашников В. В. Организация моделирования сложных систем / В. В. Калашников. – 1982. – № 3. – 64 с. – (Знание. Сер. Математика, кибернетика).
6. Бирюков Б. В. Машина и творчество: Результаты, проблемы, перспективы / Б. В. Бирюков, И. Б. Гутчин. – М. : Радио и связь, 1982. – 151 с.
7. Мацевитый Ю. М. Моделирование нелинейных процессов в распределенных системах / Ю. М. Мацевитый, В. Е. Прохоров. – Киев : Наукова думка, 1985. – 303 с.
8. Ивахненко А. Г. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным / А. Г. Ивахненко. – М. : Радио и связь, 1987. – 119 с.
9. Попов Ю. П. Вычислительный эксперимент / Ю. П. Попов, А. А. Самарский. – М. : Наука, 1988. – 172 с. – (Сер. Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент.)
10. Горстко А. Б. Познакомьтесь с математическим моделированием / А. Б. Горстко. – М. : Знание, 1991. – 157 с.
11. Калашников В. В. Нить Ариадны в лабиринте моделирования / В. В. Калашников, Б. В. Немчинов, В. М. Симонов. – М. : Наука, 1993. – 189 с.
12. Мышкис А. Д. Элементы теории математических моделей / А. Д. Мышкис. – М. : Наука, 1994. – 191 с.
13. Основы математического моделирования : учеб. пособие. – СПб. : ВАТТ, 1996. – 307 с.
14. Самарский А. А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. – М. : Наука, 1997. – 320 с.
15. Плохотников К. Э. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент: Методология и практика / К. Э. Плохотников. – М. : Наука, 2003. – 279 с.

16. Маслаков М. Д. Об оценке срока выполнения одного класса комплексных работ на связных множествах объектов на основе математического моделирования / М. Д. Маслаков, А. К. Черных // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2014. – № 1 (29). – С. 73–80.
17. Черных А. К. Теоретические положения моделирования распределения сил и средств внутренних войск по служебно-боевым задачам / А. К. Черных // Междисциплинарные исследования в сфере интеграции образования и науки : сб. науч. тр. научно-педагогического состава Санкт-Петербургского военного института внутренних войск МВД России. – СПб. : Изд-во Санкт-Петербургского военного ин-та внутренних войск МВД РФ, 2014. – С. 151–155.
18. Черных А. К. Вопросы прогнозирования материально-технического обеспечения с использованием нечетких математических моделей / А. К. Черных, И. В. Козлова, В. Б. Вилков // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2015. – № 4 (36). – С. 107–117.
19. Вентцель Е. С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология / Е. С. Вентцель. – М. : Наука, 2005. – 157 с.
20. Солнышков Ю. С. Обоснование решений / Ю. С. Солнышков. – М. : Экономика, 2007. – 167 с.
21. Маслаков М. Д. Об одном подходе к оценке эффективности математических моделей / М. Д. Маслаков, С. А. Багрецов, А. К. Черных // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2013. – № 3 (27). – С. 67–73.
22. Вилков В. Б. Оценка качества решений на применение внутренних войск на основе многокритериальной оптимизации / В. Б. Вилков, А. К. Черных, А. Ю. Гарькушев, А. М. Сазыкин // Вопросы оборонной техники. Сер. 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2016. – № 1–2 (91–92). – С. 43–50.
23. Воеводин В. В. Параллельные вычисления / В. В. Воеводин, Вл. В. Воеводин. – СПб. : БХВ-Петербург, 2009. – 608 с.
24. Черных А. К. Концептуальные вопросы использования информационных систем, реализующих распределенные вычисления / А. К. Черных, Т. А. Подружкина // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2014. – № 3 (31). – С. 84–90.

*Andrey K. Chernykh,*

«Information science and mathematics» department of  
St. Petersburg military institute of National Guard forces

*Michael G. Yashyn,*

«Automation, telemechanics and communication restoring  
on railways» department

Military institute (Of railway troops and military communications)

General of the army Khrulyev A. V. military academy of logistic assistance

### **Conceptual principles of control models' synthesis of organizational systems, functioning on a real-time basis**

An approach of building control models of transport systems, functioning on a real-time basis was considered. The complexity of building the models in

question is determined by the current rift, that is, on the one hand, the necessity of using classical methods of optimization, in order to obtain well-founded data, required for realization of optimal control of railway network facilities, which underwent serious dilapidation, at the same time the methods in question require considerable timing budget for their realization in the process of transport system management. On the other hand, the application of such mathematical methods leads to the lack of data acquisition operability, thus impeding the realization of effective management of transport systems, functioning on a real-time basis. The suggested approach allows one to resolve the above mentioned violation, in the process of building transport systems' control models, by using the given conceptual principles of control models' synthesis, which will make it possible to harmonize acquisition operability and sufficiency of the solution to restore a network of railroads, which underwent serious dilapidation due to a grave emergency situation, and, thus, to realize a principle of system functioning on a real-time basis. In the process of developing the principles of synthesis of organizational systems' control models, introduced in the article, functioning on a real-time basis, an objective was pursued to make full use of these principles during the formation of transport systems' control models, functioning on a real-time basis and making it possible to exercise optimal control of ministries and departments formation, including railway troops of the Russian Federation, dispatching a mission of restoring a railway network which underwent serious dilapidation caused by a grave emergency situation. In the process of developing the principles of synthesis of organizational systems' control models, introduced in the article, functioning on a real-time basis, the tasks of structuring the principles, aimed at supplementing the model with the property of effective data building, used in the process of elaborating the solution to restore a railway network which underwent serious dilapidation caused by a grave emergency situation, were solved as well as system principles of modeling, determining the specificities of approaches, which make it possible to implement effective algorithms of mathematical methods application in the modern software environment, currently applied computer aids. The result of elaborating conceptual principles of synthesis of organizational systems' control models, functioning on a real-time basis, was a complete system of effective and system principles underlying the formation of control models in question. The approach introduced in the article may be of interest for the researchers and design engineers working in the sphere of organizational systems' modeling, functioning on a real-time basis.

emergency situation; railway network restoring; real-time basis; principles of control models synthesis

### References

1. Nizov A. S., Popov D. I., Lozhechnikov G. A. (2014). Organization of the restoration of railways: textbook [Organizaciya vosstanovleniya zheleznih dorog, uchebnik]. St. Petersburg, VAMTO [VAMTO]. – 304 p.

2. Buslenko N. P. (1978). Modeling of complex systems [Modelirovanie slozhnyh sistem]. Moscow, Science [Nauka]. – 400 p.
3. Kalashnikov V. V. (1980). Complex systems and methods for their analysis [Slozhnye sistemy i metody ih analiza]. Moscow, Knowledge [Znanie]. – 60p.
4. Yaglom I. M. (1980). Mathematical structures and mathematical modeling [Matematicheskie struktury i matematicheskoe modelirovanie]. Moscow, Union radio [Sov. radio]. – 145 p.
5. Kalashnikov V. V. (1982). Organization of complex systems modeling [Organizaciya modelirovaniya slozhnyh sistem]. Moscow, Knowledge, vol. «Mathematics, cybernetics» [Znanie, seriya «Matematika, kibernetika»], issue 3. – 64 p.
6. Biryukov B. V., Gutchin I. B. (1982). Machine and creativity: Results, problems, prospects [Mashina i tvorchestvo: Rezul'taty, problemy, perspektivy]. Moscow, Radio and communication [Radio i svyaz']. – 151 p.
7. Macevityj Yu. M., Prohorov V. E. (1985). Modeling of nonlinear processes in distributed systems [Modelirovanie nelinejnyh processov v raspredelennyh sistemah]. Kyev, Scientific thought [Naukova dumka]. – 303 p.
8. Ivahnenko A. G. (1987). Modeling of complex systems based on experimental data [Modelirovanie slozhnyh sistem po ehksperimental'nyh dannym]. Moscow, Radio and communication [Radio i svyaz']. – 119 p.
9. Popov Yu. P., Samarskij A. A. (1988). Computational experiment [Vychislitel'nyj ehksperiment], Computers, models, computing experiment [Komp'yutery, modeli, vychislitel'nyj ehksperiment]. Moscow, Sciences [Nauka]. – 172 p.
10. Gorstko A. B. (1991). Get to know the mathematical modeling [Poznakom'tes' s matematicheskim modelirovaniem]. Moscow, Knowledge [Znanie]. – 157 p.
11. Kalashnikov V. V., Nemchinov B. V., Simonov V. M. (1993). Ariadne's thread in the labyrinth of modeling [Nit' Ariadny v labirinte modelirovaniya]. Moscow, Science [Nauka]. – 189 p.
12. Myshkis A. D. (1994). Elements of the theory of mathematical models [Elementy teorii matematicheskikh modelej]. Moscow, Science [Nauka]. – 191 p.
13. Fundamentals of mathematical modeling, textbook [Osnovy matematicheskogo modelirovaniya: uchebnoe posobie]. St. Petersburg, VATT [VATT]. – 307 p.
14. Samarskij A. A., Mihajlov A. P. (1997). Mathematical modeling: Ideas. Methods. Examples [Matematicheskoe modelirovanie: Idei. Metody. Primery]. Moscow, Science [Nauka]. – 320 p.
15. Plohotnikov K. E. (2003). Mathematical modeling and computational experiment: methodology and practice [Matematicheskoe modelirovanie i vychislitel'nyj ehksperiment, metodologiya i praktika]. Moscow: Science [Nauka]. – 279 p.
16. Maslakov M. D., Chernyh A. K. (2014). On the evaluation of the execution time of a class of complex works on connected sets of objects on the basis of mathematical modeling [Ob ocenke sroka vypolneniya odnogo klassa kompleksnyh rabot na svyaznyh mnozhestvah ob'ektov na osnove matematicheskogo modelirovaniya], Problems of technosphere risk management [Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere], issue 1 (29). – Pp. 73–80.
17. Chernyh A. K. (2014). Theory of the simulation of distribution of forces and means of internal forces in service and combat missions [Teoreticheskie polozheniya mod-

- elirovaniya raspredeleniya sil i sredstv vnutrennih vojsk po sluzhebno-boevym zadacham]. In the proceedings: Interdisciplinary research in the field of the integration of education and science, a collection of scientific works of the scientific and pedagogical staff of the St. Petersburg Military institute of internal troops of the Ministry of internal affairs of Russia. St. Petersburg [V sbornike: Mezhdisciplinarnye issledovaniya v sfere integracii obrazovaniya i nauki sbornik nauchnyh trudov nauchno-pedagogicheskogo sostava Sankt-Peterburgskogo voennogo instituta vnutrennih vojsk MVD Rossii. Sankt-Peterburg]. – Pp. 151–155.
18. Chernyh A. K., Kozlova I. V., Vilkov V. B. (2015). Issues of forecasting of material supply using indirect mathematical models [Voprosy prognozirovaniya material'no-tekhnicheskogo obespecheniya s ispol'zovaniem nechyotkih matematicheskikh modelej], Problems of Technosphere Risk Management [Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere], issue 4 (36). – Pp. 107–117.
  19. Ventcel' E. S. (2005). Operations research. Tasks, principles, methodology [Issledovanie operacij. Zadachi, principy, metodologiya]. Moscow, Science [Nauka]. – 157 p.
  20. Solnyshkov Yu. S. (2007). Justification of decisions [Obosnovanie reshenij]. Moscow, Economics [Ekonomika]. – 167 p.
  21. Maslakov M. D., Bagrecov S. A., Chernyh A. K. (2013). About one approach to assessing the effectiveness of mathematical models [Ob odnom podhode k ocenke ehffektivnosti matematicheskikh modelej], Problems of technosphere risk management [Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere], issue 3 (27). – Pp. 67–73.
  22. Vilkov V. B., Chernyh A. K., Gar'kushev A. Yu., Sazykin A. M. (2016). Assessment of quality of decisions on application of special troops on the basis of multicriteria optimization [Ocenka kachestva reshenij na primenenie vnutrennih vojsk na osnove mnogokriterial'noj optimizacii], Questions of defense technology. Vol. 16: Technical countermeasures to terrorism [Voprosy oboronnoj tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodejstviya terrorizmu], issue 1–2 (91–92). – Pp. 43–50.
  23. Voevodin V. V., Voevodin Vl. V. (2009). Parallel computing [Parallel'nye vychisleniya]. St. Petersburg, BHV-Petersburg [BHV-Peterburg]. – 608 p.
  24. Chernyh A. K., Podrzhkina T. A. (2014). Conceptual issues of using information systems that implement the distributed computing [Konceptual'nye voprosy ispol'zovaniya informacionnyh sistem, realizuyushchih raspredelennye vychisleniya], Problems of technosphere risk management [Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere], issue 3 (31). – Pp. 84–90.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии И. Д. Долгим  
Поступила в редакцию 08.06.2017, принята к публикации 13.07.2017*

*ЧЕРНЫХ Андрей Климентьевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Информатика и математика» Санкт-Петербургского военного института войск национальной гвардии.  
e-mail: nataliachernykh@mail.ru

---

*ЯШИН Михаил Геннадьевич* – кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры «Восстановление 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: maik1771@rambler.ru

© Черных А. К., Яшин М. Г., 2017

## Автоматизация проектирования

УДК 004.896+656:25

**Д. В. Седых,  
Д. В. Зуев, канд. техн. наук**

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

**М. А. Гордон**

Институт «Гипротрансигналсвязь» – филиал АО «Росжелдорпроект»

### **ОТРАСЛЕВОЙ ФОРМАТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА УСТРОЙСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ. ЧАСТЬ 3: СТРУКТУРА И СОДЕРЖИМОЕ**

В данной статье говорится о структуре и основных определениях отраслевого формата технической документации на устройства сигнализации, централизации и блокировки. Подробно рассмотрены структура и составляющие части отраслевого формата. Даются примеры содержимого файлов, подробное описание типов данных, а также специальных атрибутов, таких как атрибуты трансформации и стилизации. Приводится описание системы координат документа; описание корневого элемента документа; описание его слоев, листов, внедренного изображения документа.

Ради упрощения понимания концепции описания структуры многие нюансы сглажены. Полное и общее описание отраслевого формата содержится в официальной технической документации.

системы автоматизированного проектирования; автоматизированное рабочее место; электронный формат технической документации; отраслевой формат технической документации

### **Введение**

С каждым годом в хозяйстве автоматики и телемеханики растет число информационных систем. В настоящее время существуют программные решения, которые позволяют вести все основные процессы, связанные с устройствами автоматики и телемеханики, начиная от процессов проектирования до эксплуатации систем. Но методология построения данных систем не учитывает требований обмена данными между ними. В качестве решения интеграции был разработан отраслевой формат технической документации (ОФ-ТД) на устройства автоматики и телемеханики [1, 2].

Основными целями создания единого формата являлись:

- обеспечение информационного обмена в интегрированной информационной технологической системе хозяйства сигнализации, централизации и блокировки отдельных систем: АСУ-Ш-2, различных САПР проектных организаций [3–6], комплекса задач автоматизированного ведения технической документации (КЗ АРМ-ВТД) [7, 8];
- повышение качества взаимодействия автоматизированных систем хозяйства Ш между собой и с другими автоматизированными системами;
- повышение качества проектирования, ведения и хранения техдокументации [9, 10];
- представление технической документации на устройства СЦБ на этапах ее создания (проектирования), ведения и сопровождения в виде, учитывающем требования всех автоматизированных систем хозяйства Ш;
- обеспечение единства представления техдокументации на устройства СЦБ в ОАО «РЖД»;
- обеспечение взаимодействия проектных организаций с дорогами и со службой сигнализации централизации и блокировки на уровне безбумажной технологии;
- ускорение процессов информационного обмена на всех уровнях проектирования и ведения технической документации;
- повышение показателей качества функционирования и эксплуатации систем железнодорожной автоматики и телемеханики.

В первых статьях цикла [11, 12] мы подробно рассмотрели концепцию создания и основные понятия отраслевого формата технической документации на устройства сигнализации, централизации и блокировки. Была представлена основная задача данного формата – средство интеграции данных различных информационных систем отрасли. Отмечены отличия и общие черты отраслевого формата технической документации на устройства сигнализации, централизации и блокировки и разработанного в Европе формата railML®. Рассмотрим подробнее структуру разработанного формата.

Разработанный ОФ-ТД СЦБ способен представить всю необходимую документацию на устройства ЖАТ. Структура данного формата представлена на рис. 1. ОФ-ТД СЦБ содержит в себе не только информацию об изображении чертежа (в универсальном формате векторной графики – Scalable Vector Graphics (SVG)), но и модель изображенного на ней элемента или схемы с помощью расширяемого языка разметки (XML) [13]. При этом приложение может извлекать необходимую информацию по требованию (только графику, или только модель, или и то и другое). Также чертеж в ОФ-ТД может быть прочитан не только специализированным приложением, но и обычным браузером. В настоящее время в АРМ-ПТД и КЗ АРМ-ВТД ОФ-ТД используется для обмена информацией между соответствующими модулями, а также для обмена данными с другими системами.



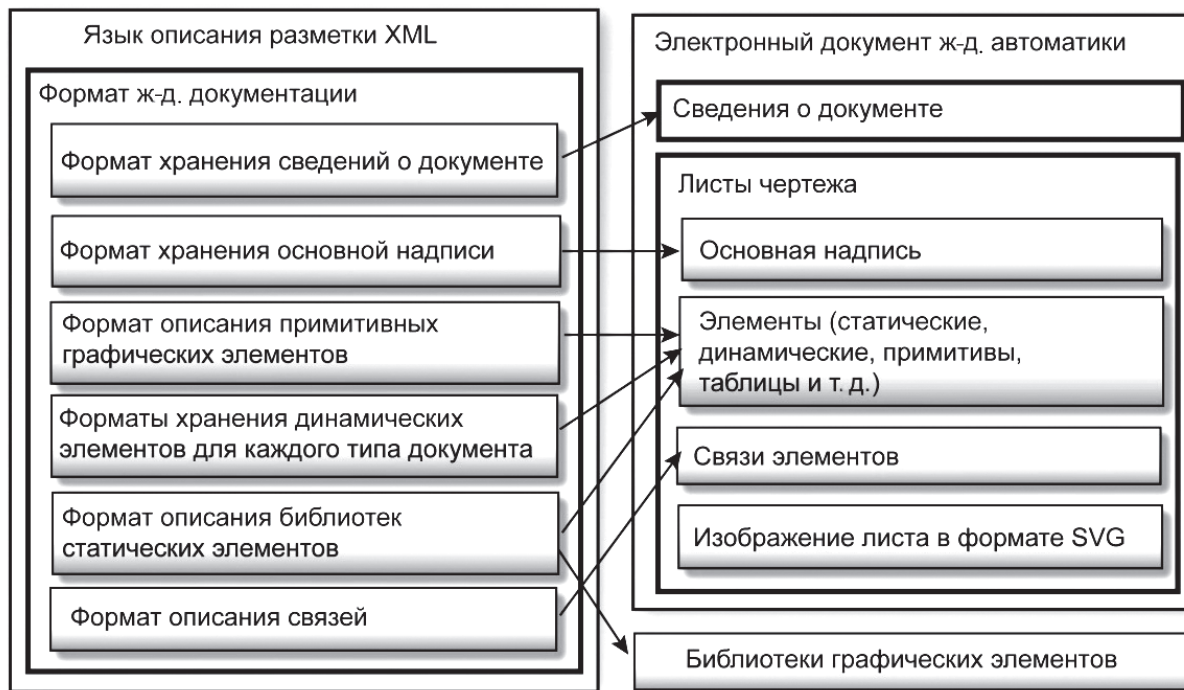


Рис. 1. Структура ОФ-ТД СЦБ

## 1 Структура документа ОФ-ТД

Документ ОФ-ТД описывается с помощью расширяемого языка разметки (XML) версии 1.0. Для представления графической информации используется подмножество языка структурированной векторной графики SVG. В документе также используется технология каскадных таблиц стилей (Cascading Style Sheets – CSS). Для представления форматированного текста применяются языки XHTML и RTF.

Особенность языка XML состоит в том, что при использовании определенных способов разметки документ остается доступным для понимания. Фактически введение разметки XML не искажает информацию документа. Другой особенностью языка XML является то, что он может представлять иерархическую (вложенную) информацию. Поэтому разметка XML позволяет ввести в документ информацию о его содержании и структуре.

Данный формат может использоваться различными приложениями на различных платформах.

Предполагается, что системы, использующие отраслевой формат, будут иметь возможность экспортировать графические изображения из отраслевого формата в формат векторной графики, чтобы обеспечить их просмотр и печать из любого приложения, поддерживающего XML и SVG. При выбранном способе представления трудности реализации такого экспорта сведены к минимуму.

Предложенный способ представления делает простой обработку документов без использования специальных средств.

Пример структуры XML файла ОФ-ТД в общем виде:

1. Инструкции обработки для XML процессора;
2. Корневой элемент документа;
  - 2.1. Описание свойств документа;
  - 2.2. Описание общих данных по объекту;
  - 2.3. Описание стилей;
    - 2.3.1. Описание пользовательских стилей;
    - 2.3.2. Описание стилей;
    - 2.3.3. Описание маркеров;
  - 2.4. Описание слоев документа;
  - 2.5. Описание листов документа;
    - 2.5.1. Описание элементов;
    - 2.5.2. Описание связей элементов;
    - 2.5.3. Описание изображения листа.

## 2 Типы данных

В данном разделе описаны базовые типы данных, применяемые в ОФ-ТД. Используемые типы данных приведены в таблице.

Типы данных

Название типа	Описание
<логический>	Логический тип данных. Возможные значения: «0» или «1»; «нет» или «да».
<целое>	Представляет собой знаковое число, принадлежащее множеству целых чисел.
<вещественное>	Знаковое число, принадлежащее множеству вещественных чисел. В качестве разделителя используется точка.
<длина>	Представляет собой знаковое число, принадлежащее множеству вещественных чисел. Измеряется в миллиметрах.
<строка>	Символьная строка.
<угол>	Знаковое число, принадлежащее множеству вещественных чисел. В качестве разделителя используется точка. Единица измерения – градусы.
<цвет>	Описание цвета в формате, принятом спецификацией каскадных таблиц стилей (CSS).

Окончание таблицы

Название типа	Описание
<идентификатор>	Идентификатор элемента должен удовлетворять требованиям к идентификаторам XML.
<класс>	Представляет собой список идентификаторов, используемый для стилизации атрибутом class с использованием каскадных таблиц стилей (CSS). Также в списке идентификаторов может быть использован идентификатор пользовательского стиля.
<стиль>	Представляет собой список свойств в формате атрибута style в соответствии со спецификацией каскадных таблиц стилей.
<список трансформации>	<p>Список объявлений трансформации для системы координат объекта. Трансформации применяются в порядке, в котором встречаются в списке. Отдельные трансформации разделяются пробелом и (или) запятой.</p> <p>Допустимы следующие типы трансформаций:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. matrix (&lt;a&gt; &lt;b&gt; &lt;c&gt; &lt;d&gt; &lt;e&gt; &lt;f&gt;). Эта запись определяет трансформации в форме матрицы аффинных преобразований [a b c d e f].</li> <li>2. translate (&lt;tx&gt; [&lt;ty&gt;]). Эта запись определяет перенос системы координат на величину tx по горизонтали, ty – по вертикали. Если параметр ty не задан, считается, что он равен нулю.</li> <li>3. scale (&lt;sx&gt; [&lt;sy&gt;]). Эта запись определяет операцию масштабирования системы координат в sx раз по горизонтали и sy по вертикали. Если параметр sy не задан, считается, что sy равен sx.</li> <li>4. rotate (&lt;rotate-angle&gt; [&lt;cx&gt; &lt;cy&gt;]). Эта запись определяет поворот системы координат на угол &lt;rotate-angle&gt; вокруг заданной точки. Угол задается в градусах. Если необязательные параметры &lt;cx&gt; и &lt;cy&gt; не заданы, вращение выполняется относительно начала текущей пользовательской системы координат и операция эквивалентна применению матрицы аффинных преобразований [cos (a) sin (a) -sin (a) cos (a) 0 0]. Если необязательные параметры &lt;cx&gt; и &lt;cy&gt; заданы, вращение выполняется относительно точки (&lt;cx&gt;, &lt;cy&gt;). Операция эквивалентна применению следующей последовательности трансформаций: translate (&lt;cx&gt;, &lt;cy&gt;), rotate (&lt;rotate-angle&gt;), translate (-&lt;cx&gt;, -&lt;cy&gt;).</li> <li>5. skewX (&lt;skew-angle&gt;) определяет сдвиговую трансформацию на угол &lt;skew-angle&gt; вдоль оси абсцисс.</li> <li>6. skewY (&lt;skew-angle&gt;) определяет сдвиговую трансформацию на угол &lt;skew-angle&gt; вдоль оси ординат.</li> </ol>
<uri>	Тип <uri> является строкой символов, идентифицирующей некоторый элемент документа. Строка имеет следующий формат: «url («<идентификатор>»», где <идентификатор> – это значение атрибута id некоторого элемента в документе.

### 3 Атрибуты трансформации

Атрибуты трансформации определяют преобразование локальной системы координат объекта, который содержит данные атрибуты. С помощью трансформации задаются позиция, поворот и размеры изображения элемента на листе. Результирующая матрица аффинных преобразований элемента строится в такой последовательности:

- если задан атрибут `transform`, система координат преобразуется в соответствии со списком преобразования, определяемым значением атрибута `transform`;
- если задан атрибут `x`, система координат переносится на `x` миллиметров вдоль оси абсцисс;
- если задан атрибут `y`, система координат переносится на `y` миллиметров вдоль оси ординат;
- если задан атрибут `angle`, то система координат вращается на угол `angle`;
- если задан атрибут `width`, то система координат масштабируется в `width` раз по оси абсцисс;
- если задан атрибут `height`, то система координат масштабируется в `height` раз по оси ординат.

### 4 Атрибуты стилизации

Атрибуты стилизации определяют связь элемента, содержащего эти атрибуты, со стилями. Стилями задаются следующие параметры элементов:

- отображение линий;
- способ заливки;
- шрифт текста;
- форматирование текста.

Атрибутов стилизации обычно два: `class` и `style`. Эти атрибуты следуют синтаксису `<класс>` и `<стиль>`. Значение атрибута `class` – список имен стилей, с которыми связан данный элемент. Значение атрибута `style` – список параметров, значения которых отличаются от значений, определяемых стилем. Атрибут `class` может ссылаться на стили, задаваемые каскадной стилевой таблицей, или на пользовательские стили.

В общем случае элемент может содержать несколько наборов атрибутов стилизации. Набор атрибутов стилизации – это пара атрибутов `class` [`-<postfix>`], `style` [`-<postfix>`]. В большинстве случаев используется один набор с пустым постфиксом `<postfix>`. Далее упоминание группы `<атрибуты стилизации>` в списке атрибутов элемента без специальных оговорок предполагает, что элемент имеет один набор атрибутов стилизации.

Некоторые элементы используют более чем один набор атрибутов стилизации. Например, элемент `bsl: text` может иметь непустую заливку фона. Заливка фона текста задается парой атрибутов `class-bk` и `style-bk`, которые следуют синтаксису соответственно `<класс>` и `<стиль>`. Атрибут `class-bk` содержит имя стиля, в котором описаны параметры заливки фона, атрибут `style-bk` содержит список параметров заливки, значения которых отличается от значений, заданных в стиле.

Параметры, которые переносятся элементу с использованием атрибутов стилизации (параметры стилизации), делятся на группы аналогично атрибутам.

Все параметры стилизации имеют значения по умолчанию. Если элемент не содержит атрибутов `class` или `style` или если определённый параметр не задан в описании стиля, то считается, что параметр задан со значением по умолчанию.

## 5 Система координат документа

Система координат документа определяет способ хранения графической информации в ОФ-ТД. Пользовательские системы координат задаются средствами работы с документом ОФ-ТД и могут отличаться от системы координат документа.

Начало системы координат документа находится в левом верхнем углу листа. Ось координат *X* направлена вправо, ось *Y* – вниз.

Единицы измерения всех расстояний в документе, связанных с изображением, – миллиметры. Размерность явно не указывается.

Углы записываются в градусах. Там, где имеет значение направление отсчета угла, значения увеличиваются по часовой стрелке.

Для всех элементов документа, имеющих изображение, требуется определение «нулевой точки» – точки на изображении элемента, относительно которой будут задаваться позиция и поворот элемента на чертеже.

## 6 Корневой элемент документа

Корневым элементом данного документа должен быть элемент «Документ». Данный элемент является единственным узлом верхнего уровня. Все другие элементы являются для него подэлементами.

Пример корневого узла документа:

```
<Документ Версия="1.0"  
xmlns="http://www.imsat.spb.ru/OFTD/editor/v1.0"
```

```

xmlns: e=http://www.imsat.spb.ru/OFTD/editor/v1.0
xmlns: CP=" http://www.imsat.spb.
ru/OFTD/DoubleStringsStationPlan/v1.0" xmlns: RC="
http://www.imsat.spb.ru/OFTD/TrackCircuit/v1.0"
xmlns: svg="http://www.w3.org/2000/svg">

```

Элементы документа (Стили, Листы, Слои и т. д.)

```
</Документ>
```

Описание свойств документа находится в элементе «Свойства», он содержит определение документа, которое может быть использовано при организации хранения и поиска. Каждый подэлемент элемента «Свойства» представляет собой элемент без атрибутов и подэлементов с определенным значением в теле элемента. За заполнение данных параметров отвечает приложение, формирующее файл ОФ-ТД.

Описание общих данных объекта расположено в элементе «ОбщиеДанныеОбъекта». Элемент предназначен для описания основных характеристик объекта железнодорожной автоматики и телемеханики (станции, перегона и т. д.). Общие данные могут быть расположены непосредственно в данном разделе или вынесены в отдельный файл, ссылка на который приводится в данном элементе.

Пример элемента «ОбщиеДанныеОбъекта» в общем виде:

```

<Документ>
  <ОбщиеДанныеОбъекта>
    <РаздельныйПункт> Описание раздельного
      пункта<Парк/> Характеристики парка <ЗонаУправ-
      ленияДСП/> Характеристики зоны управления ДСП
      <Электроснабжение/> Характеристики вида элек-
      троснабжения
      <ЛинейнаяЦепь/> Характеристики вида линейной
      цепи
    </РаздельныйПункт>
    <Перегон> Описание перегона
      <Путь/> Характеристики пути перегона<Электро-
      снабжение/> Характеристики вида электроснабже-
      ния
      <ЛинейнаяЦепь/> Характеристики вида линейной
      цепи
    </Перегон>
    <Граница/> Описание границы станции <ОсьРаз-
      дельногоПункта/> Описание оси
  </ОбщиеДанныеОбъекта>
</Документ>

```

## 7 Описание слоев документа

Элементы, представленные в документе, могут быть расположены на различных слоях. Слои позволяют объединить элементы в группы и управлять вариантами их отображения. С помощью ввода в документ слоев с именами, имеющими смысл, возможна группировка элементов на этих слоях по необходимым признакам. Кроме того, располагая элементы на одном слое, возможно быстро запретить вывод на печать или отображение этой группы элементов.

В документе должна быть определена структура с описанием слоев документа; если структура отсутствует, то считается, что в документе всего один слой с параметрами по умолчанию.

## 8 Описание листов документа

Документ может состоять из нескольких листов. Каждый лист документа определяется элементом «Лист», содержащим внутри себя, в виде подэлементов, список элементов документа, расположенных на данном листе. Помимо этого в лист документа входит структура «Связи», уникальная для каждого листа документа, в которой описаны связи между элементами на данном листе. В лист документа также может входить элемент «svg», внутри которого содержится описание данного листа в виде примитивов на языке SVG. Список элементов документа может содержать описания объектов документа, включая примитивные графические объекты, элементы схемы, динамические элементы, таблицы, основную надпись и др. Тип элемента документа определяется тегом элемента XML и его пространством имен. Набор атрибутов элементов и подэлементы, которые могут в них содержаться, определяются отдельно для каждого типа.

## 9 Внедренное изображение документа

Документ может содержать изображения элементов, находящихся в документе, описанных в виде примитивов на языке SVG. Изображение определено в едином блоке (элементе «svg») и располагается внутри каждого листа документа.

Изображение, описанное на языке SVG, может состоять из блоков, соответствующих элементам на листе документа, в этом случае у них может присутствовать атрибут «id», а элементы листа документа будут иметь атрибут «svg-id», в котором хранится идентификатор элемента или блока svg, соответствующего изображению данного элемента. В случае ссылки увязки эле-

ментов ОФ-ТД с примитивами или блоками SVG нулевая точка у них должна обязательно совпадать.

Данный подход позволяет просто извлекать изображение необходимого листа целиком или конкретного элемента на листе.

## Заключение

Разработанная структура представления документации позволяет использовать ОФ-ТД СЦБ не только для технической документации на устройства железнодорожной автоматики, но и для общих задач создания схемной технической документации практически любых отраслей, в том числе при создании любых чертежей деловой графики общего назначения.

В настоящее время ОФ-ТД СЦБ прошел утверждение и внедрен для применения на российских железных дорогах. Формат используется целым рядом программного обеспечения для описания устройств и представления технической документации на устройства автоматики и телемеханики, а также применяется в модулях отраслевых САПР и системы документооборота технической документации ОАО «РЖД» (КЗ АРМ-ВТД).

Решения, заложенные при разработке отраслевого формата, позволяют использовать его не только для описания элементов устройств СЦБ, что позволяет применять данный формат для широкого спектра задач железнодорожной отрасли, в том числе для решения задач автоматизации процесса проектирования и электронного документооборота, но и для задач моделирования, технической диагностики и непрерывного мониторинга [14–18].

## Библиографический список

1. 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.
2. Седых Д. В. Применение отраслевого формата технической документации на устройства железнодорожной автоматики и телемеханики для интеграции приложений / Д. В. Седых, С. А. Суханов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2005. – № 3. – С. 74–79.
3. Тележенко Т. А. Применение методов моделирования в системах автоматизированного проектирования / Т. А. Тележенко // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2006. – № 2. – С. 66–72.
4. Тележенко Т. А. Автоматизированная система экспертизы схемных решений ЖАТ / Т. А. Тележенко // Автоматика, связь, информатика. – 2009. – № 5. – С. 24–26.



5. 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. тр. ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2013. – С. 66–74.
6. Горбачев А. М. Автоматизация анализа, экспертизы и сверки технической документации системы железнодорожной автоматики и телемеханики / А. М. Горбачев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2012. – № 4. – С. 73–78.
7. Балугев Н. Н. Проблемы внедрения отраслевого формата / Н. Н. Балугев, М. Н. Василенко, В. Г. Трохов, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 3. – С. 2–4.
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. 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.
10. 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.
11. Седых Д. В. Отраслевой формат технической документации на устройства железнодорожной автоматики и телемеханики. Ч. 1: Концепция создания / Д. В. Седых, Д. В. Зуев, М. А. Гордон // Автоматика на транспорте. – 2017. – Т. 3. – № 1. – С. 112–128.
12. Седых Д. В. Отраслевой формат технической документации на устройства железнодорожной автоматики и телемеханики. Ч. 2: Сравнение с форматом railML® / Д. В. Седых, Д. В. Зуев, М. А. Гордон // Автоматика на транспорте. – 2017. – Т. 3. – № 2. – С. 270–279.
13. Хантер Д. XML. Работа с XML / Д. Хантер, Дж. Рафтер, Д. Фаусетт, Э. ван дер Влиет, Д. Айерс. – М. : Диалектика, 2009. – 1344 с.
14. Седых Д. В. Учет работы приборов с помощью АРМ-УРП / Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 3. – С. 7–8.
15. Лыков А. А. Техническое диагностирование и мониторинг состояния устройств ЖАТ / А. А. Лыков, Д. В. Ефанов, С. В. Власенко // Транспорт Российской Федерации. – 2012. – № 5. – С. 67–72.
16. Ефанов Д. В. Некоторые аспекты развития систем функционального контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов // Транспорт Урала. – 2015. – № 1. – С. 35–40.
17. Ефанов Д. В. Становление и перспективы развития систем функционального контроля и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и теле-

- механики / Д. В. Ефанов // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2. – № 1. – С. 124–148.
18. Ефанов Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : монография / Д. В. Ефанов. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. – 171 с.

*Dmitry V. Sedykh*

*Denis V. Zuyev*

«Automation and remote control on railways» department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university

*Michael A. Gordon*

Institute «Giprotranssignalsvyaz» – department of JSC «Roszheldorproject»

### **Branch format of technical documentation on devices of railway automation and remote control. Part 3: Structure and contents**

The structure and basic definitions of the branch format of technical documentation for signaling arrangement was considered in the given article. The branch format structure and its constituents were examined in detail. The examples of the contents of files, a detailed description of data types, as well as special attributes, such as transformation and stylization attributes were given. The description of a document's reference frame was considered. The description of a document's root element, its layers, sheets, as well as an embedded document's image was given.

In order to facilitate the comprehension of the structure's description, some nuances were simplified and not too extended. A full and basic description of technical documentation's branch format may be obtained in official technical documentation.

computer-aided design system; technical workstation – maintenance of technical documentation; electronic format of technical documentation; branch format of technical documentation

### **References**

1. Bezrodnyj B. F., Vasilenko M. N., Denisov B. P., Sedyh D. V. (2008). Automation of projects check based on ARM-TEST [Avtomatizaciya proverki proektov na osnove ARM-TEST], Automation, communication, and informatics [Avtomatika, svyaz', informatika], issue 3. – Pp. 22–24.
2. Sedyh D. V., Suhanov S. A. (2005). Use of technical documentation branch format on railway automation and remote control devices for applications integration [Primene-nie otraslevogo formata tekhnicheskoy dokumentacii na ustrojstva zheleznodorozhnoj

- avtomatiki i telemekhaniki dlya integracii prilozhenij], Proceedings of Petersburg transport university [Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya], issue 3. – Pp. 74–79.
3. Telezhenko T.A. (2006). Use of simulation methods in CAD systems [Primenenie metodov modelirovaniya v sistemah avtomatizirovannogo proektirovaniya], Proceedings of Petersburg transport university [Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya], issue 2. – Pp. 66–72.
  4. Telezhenko T.A. (2009). Automated system of signaling systems technical solutions expertise [Avtomatizirovannaya sistema ehkspertizy skhemnyh reshenij ZHAT], Automation, communication, information science [Avtomatika, svyaz', informatika], issue 5. – Pp. 24–26.
  5. Denisov B. P., Rubinshtejn N. I., Rastegaev S. N., Vorobej N. Yu. (2013). Systems of railway automation and remote control design automation based on ARMPTD version 6 [Avtomatizaciya proektirovaniya sistem zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki na baze ARM-PTD versii 6], Actual problems of railway automation and remote control systems development: scientific proceedings, edited by Vl. V. Sapozhnikov [Aktual'nye voprosy razvitiya sistem zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki: sb. nauch. trudov; pod red. Vl. V. Sapozhnikov]. St. Petersburg, Petersburg state transport university [Peterburgskij gos. unstitut putej soobshcheniya], 2013. – Pp. 66–74. – ISBN 978–5–7641–0479–9.
  6. Gorbachev A. M. (2012) Automation of Analysis, Examination and Collation of Railway Automatics and Telemechanics Technical Documentation [Avtomatizaciya analiza, ehkspertizy i sverki tekhnicheskoy dokumentacii sistemy zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki], Proceedings of Petersburg Transport University [Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya], issue 4. – Pp. 73–78.
  7. Baluev N. N., Vasilenko M. N., Trohov V. G., Sedyh D. V. (2010). Problems of branch format introduction [Problemy vnedreniya otraslevogo formata], Automation, communication, information science [Avtomatika, svyaz', informatika], issue 3. – Pp. 2–4.
  8. Vasilenko M. N., Trohov V. G., Zuev D. V., Sedyh D. V. (2015). Development of electronic document management in signaling department [Razvitie ehlektronного dokumentooborota v hozyajstve AT], Automation, communication, information science [Avtomatika svyaz', informatika], issue 1. – Pp. 14–16.
  9. Bulavskij P. E., Markov D. S., Sokolov V. B., Konstantinova T. Yu. (2015). Formalisation of algorithmic description of systems of railway automation and remote control life cycle provision [Formalizaciya algoritmicheskogo opisaniya sistem obespecheniya zhiznennogo cikla zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki], Automation on transport [Avtomatika na transporte], vol. 1, issue 4. – Pp. 418–432.
  10. Bulavskij P. E., Markov D. S. (2016). The method of estimation of time characteristics of execution of processes of technical documentation electronic management [Metodika ocenki vremennyh harakteristik processov ehlektronного dokumentooborota tekhnicheskoy dokumentacii], Automation on transport [Avtomatika na transporte], vol. 2, issue 1. – Pp. 81–94.
  11. Sedyh D. V., Zuev D. V., Gordon M. A. (2017). Industry framework for technical documentation for railway automation and remote control devices. Part 1: Concept

- of design [Otraslevoj format tekhnicheskoy dokumentacii na ustrojstva zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki. Chast' 1. Konceptiya sozdaniya], Automation of transport [Avtomatika na transporte], vol. 3, issue 1. – Pp. 112–128.
12. Sedyh D. V., Zuev D. V., Gordon M. A. (2017). Industry framework for technical documentation for railway automation and remote control devices. Part 2. Comparison with railML® FORMAT [Otraslevoj format tekhnicheskoy dokumentacii na ustrojstva zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki. Chast' 2. Sravnenie s formatom railML®], Automation on transport [Avtomatika na transporte], vol. 3, issue 2. – Pp. 270–279.
  13. Hanter D., Rafter Dzh., Fausett D., van der Vlist EH., Ajers D. (2009). XML. Work with XML [XML. Rabota s XML]. Moscow, «Dialektika» [«Dialektika»]. – 1344 p.
  14. Sedyh D. V. (2007). Accounting of devices operation using ARM-URP [Uchet raboty priborov s pomoshch'yu ARM-URP], Automation, communication, information science [Avtomatika, svyaz', informatika], issue 3. – Pp. 7–8.
  15. Lykov A. A., Efanov D. V., Vlasenko S. V. (2012). Technical diagnostics and monitoring of rat units [Tekhnicheskoe diagnostirovanie i monitoring sostoyaniya ustrojstv ZHAT], Transport of Russian Federation [Transport Rossijskoj Federacii], issue 5. – Pp. 67–72.
  16. Efanov D. V. (2015). Development aspects of functional control systems of railway automation and telemechanics devices [Nekotorye aspekty razvitiya sistem funkcional'nogo kontrolya ustrojstv zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki], Transport of Urals [Transport Urala], issue 1. – Pp. 35–40.
  17. Efanov D. V. (2016). Becoming and development prospects of concurrent error detection and monitoring systems of railway automation and remote control devices [Stanovlenie i perspektivy razvitiya sistem funkcional'nogo kontrolya i monitoringa ustrojstv zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki], Automation on transport [Avtomatika na transporte], vol. 2, issue 1. – Pp. 124–148.
  18. Efanov D. V. (2016). Concurrent checking and monitoring of railway automation and remote control devices: Monograph [Funkcional'nyj kontrol' i monitoring ustrojstv zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki: Monografiya]. St. Petersburg, Petersburg State Transport University [Izdatel'stvo Peterburgskogo gos. universiteta putej soobshcheniya]. – 171 p.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии М. Н. Василенко  
Поступила в редакцию 05.05.2016, принята к публикации 01.11.2016*

*СЕДЫХ Дмитрий Владимирович* – инженер кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.  
e-mail: sedyhdmitriy@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

*ГОРДОН Михаил Аркадьевич* – главный специалист отдела АТ института «Гипротрансигнальсвязь» – филиала АО «Росжелдорпроект».  
e-mail: gordon\_ma@mail.ru

© Седых Д. В., Зуев Д. В., Гордон М. А., 2017

## Проектирование и тестирование логических устройств

УДК 681.518.5:004.052.32

**Вал. В. Сапожников, д-р техн. наук,  
Вл. В. Сапожников, д-р техн. наук,  
Д. В. Ефанов, канд. техн. наук,  
В. В. Дмитриев, канд. техн. наук**

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

### **КОД С СУММИРОВАНИЕМ ВЗВЕШЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РАЗРЯДОВ БЕЗ ПЕРЕНОСОВ В СИСТЕМАХ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ**

Описывается разделимый код, который может быть эффективно использован при организации систем функционального контроля комбинационных логических схем. Данный код принадлежит к классу кодов с суммированием взвешенных информационных разрядов и строится по простым правилам, что соответственно определяет и простые структуры кодирующей аппаратуры. Приведенный код имеет такое же количество контрольных разрядов, как и классический код Бергера, однако при этом обнаруживает большее количество ошибок в информационных векторах при установленных значениях длин информационных и контрольных векторов. Что немаловажно, новый код с суммированием обнаруживает любые двукратные искажения в информационных векторах, что определяет перспективы его применения в задачах технической диагностики. В статье также дается сравнение описываемого кода с классическим кодом Бергера. Приводятся результаты экспериментов с набором контрольных комбинационных схем MCNC Benchmarks по организации систем функционального контроля.

техническая диагностика; система функционального контроля; комбинационная схема; кодовое слово; код Бергера; взвешенный код с суммированием; информационный вектор; ошибка в информационном векторе; структурная избыточность

### **Введение**

Для определения технического состояния комбинационных логических схем в процессе их работы используются системы функционального контроля [1–4]. Неисправности в структуре комбинационной схемы  $F(x)$  приводят

к искажениям значений вычисляемых ею булевых функций  $f_1, f_2, \dots, f_m$ , что фиксируется схемой контроля (рис. 1). Таким образом, осуществляется косвенный контроль неисправностей по проявлениям их на выходах объекта диагностирования. В структуре схемы контроля выделяются два блока – блок контрольной логики  $G(x)$  и самопроверяемый тестер ( $TSC$ ). Блок контрольной логики формирует на тех же входных воздействиях  $\langle x_1, x_2, \dots, x_t \rangle$ , что и контролируемая схема значения рабочих функций, систему контрольных булевых функций  $g_1, g_2, \dots, g_k$ . Самопроверяемый тестер предназначен для проверки соответствия между рабочими и контрольными функциями в процессе работы системы функционального контроля. При определении несоответствия тестер вырабатывает защитный непарафазный сигнал  $\langle 00 \rangle$  или  $\langle 11 \rangle$ . Сам тестер, будучи «последним сторожем», является самопроверяемым и обладает свойствами формирования защитных значений на выходе и обнаружения любых внутренних ошибок, хотя бы на одном входном наборе [5, 6].

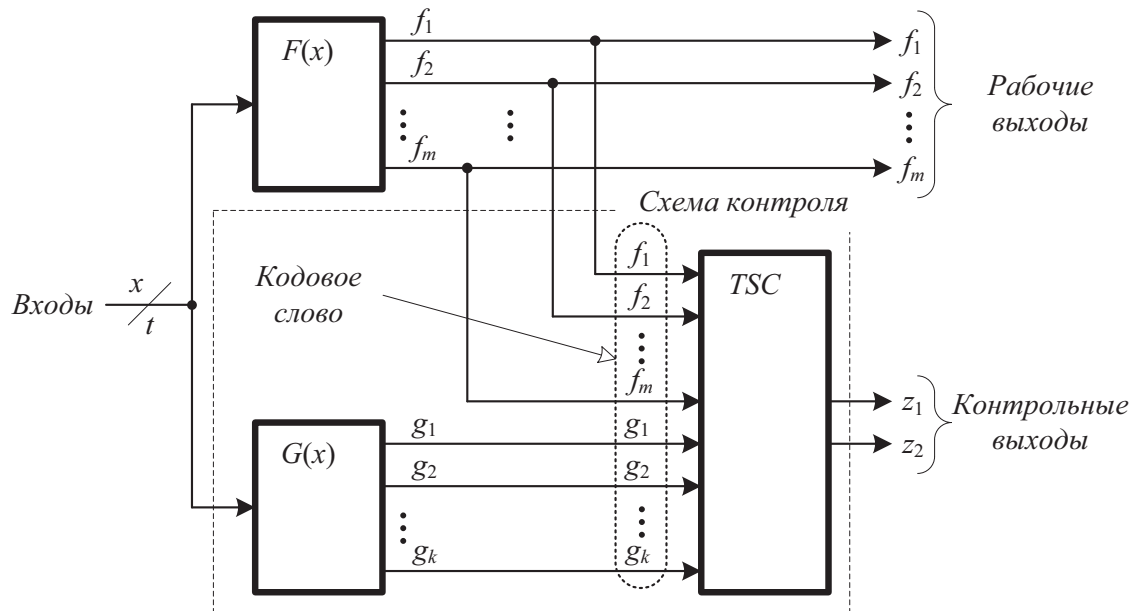


Рис. 1. Структурная схема системы функционального контроля

В основе системы функционального контроля, структура которой приведена на рис. 1, лежит заранее выбранный разделимый код с обнаружением ошибок [7–9]. Значения разрядов информационного вектора данного кода формируются блоком  $F(x)$ , а значения разрядов контрольного вектора вычисляются блоком  $G(x)$ . Таким образом, в системе функционального контроля формируется кодовое слово  $\langle f_1, f_2, \dots, f_m, g_1, g_2, \dots, g_k \rangle$  заранее выбранного кода, имеющее  $t$  информационных и  $k$  контрольных разрядов. Тестер фактически осуществляет проверку соответствия разрядов информационного и контрольного векторов друг другу.

Как правило, в структуре схемы  $F(x)$  рассматриваются одиночные константные неисправности на выходах логических элементов [1]. В процессе работы системы функционального контроля, ввиду отдельной реализации всех ее блоков, одновременно возможно возникновение неисправности только в одном из блоков [10]. Неисправности блока  $G(x)$  искажают значения разрядов контрольного вектора, что обнаруживается схемой тестера. Неисправности же в структуре контролируемого объекта искажают значения разрядов информационного вектора и в общем случае могут быть обнаружены или не обнаружены схемой тестера в зависимости от вида возникшей ошибки. Так, например, кодом паритета не обнаруживается никакой ошибки четной кратностью в информационных векторах [11, 12].

В системах управления структура, изображенная на рис. 1, должна удовлетворять требованию 100%-го обнаружения одиночных константных неисправностей в контролируемом объекте. Это свойство обеспечивается путем разделения выходов на группы и использования соответствующего кода для обнаружения в группе любых неисправностей или же реконструкцией структуры контролируемого объекта в контролепригодную структуру по определенным правилам [5, 13, 14]. Эти правила определяются свойствами разделимых кодов, используемых для организации системы функционального контроля.

Изучая свойства разделимых кодов, можно формулировать алгоритмы построения систем функционального контроля со 100%-м обнаружением ошибок в контролируемых схемах. В данной статье описывается новый разделимый код, обладающий рядом полезных особенностей, что говорит о хороших перспективах его применения при организации систем функционального контроля.

## 1 Классический код Бергера

В системах функционального контроля часто используют классические коды с суммированием, или коды Бергера [15]. В коде Бергера разряды контрольного вектора содержат двоичное число, равное числу единичных разрядов в информационном векторе (равное весу  $r$  информационного вектора). Количество контрольных разрядов определяется выражением  $k = \lceil \log_2(m+1) \rceil$ , где запись  $\lceil \dots \rceil$  обозначает целое сверху от вычисляемого значения. Обозначим код Бергера как  $S(m,k)$ -код.

Из правил построения  $S(m,k)$ -кода следует, что все информационные векторы с одинаковым весом будут иметь одинаковые контрольные векторы. Например, в табл. 1 дается распределение информационных векторов на группы с одинаковыми контрольными векторами (на контрольные группы).



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

Контрольные группы							
000	001	010	011	100	101	110	111
0000	0001	0011	0111	1111			
	0010	0101	1011				
	0100	0110	1101				
	1000	1001	1110				
		1010					
		1100					

Эта форма задания кода удобна тем, что позволяет достаточно просто анализировать его характеристики по обнаружению ошибок в информационных векторах. Так, любая ошибка, переводящая информационный вектор, расположенный в одной контрольной группе, в информационный вектор той же контрольной группы, обнаружена не будет. Все остальные ошибки кодом обнаруживаются. Поскольку в одной контрольной группе у  $S(m,k)$ -кода присутствуют только информационные векторы с одинаковым весом, им обнаруживается любая монотонная ошибка, что эффективно используется при построении контролепригодных систем автоматики и вычислительной техники [5, 14].

Количество информационных векторов с весом  $r$  равно  $C_m^r$ . Отсюда следует, что с увеличением значения  $r$  до величины  $\left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor$  (запись  $\lfloor \dots \rfloor$  обозначает

целое снизу от вычисляемого значения) количество информационных векторов с одинаковым контрольным вектором увеличивается. С дальнейшим увеличением числа  $r$  до величины  $m$  количество информационных векторов с одинаковым контрольным вектором уменьшается. Некоторые контрольные группы в  $S(m,k)$ -коде вообще оказываются незаполненными (см. табл. 1). Такая неравномерность в распределении информационных векторов между контрольными векторами обуславливает наличие большого количества необнаруживаемых  $S(m,k)$ -кодом ошибок – любая разнонаправленная ошибка в информационном векторе, содержащая группу искажений  $\{0 \rightarrow 1; 1 \rightarrow 0\}$  (симметричная ошибка [16–18]), данным кодом обнаружена не будет. Более того, кодом Бергера не обнаруживается большое количество ошибок с малой кратностью  $d$ . В табл. 2 даются значения величины  $\beta_d$  – доли необнаруживаемых ошибок кратностью  $d$  от общего количества ошибок данной кратностью в информационных векторах для  $S(m,k)$ -кодов. В [19] доказано, что вне зависимости от длины информационного вектора для кодов Бергера значение величины  $\beta_d$  постоянно для каждого значения  $d$ .

Таблица 2. Значения величины  $\beta_d$  для  $S(m,k)$ -кодов

Значения величины $\beta_d$ , %									
2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
50	37,5	31,25	27,344	24,609	22,559	20,947	19,638	18,547	17,62

$S(m,k)$ -код не обнаруживает половину двукратных ошибок и более трети четырехкратных ошибок в информационных векторах.

Известно достаточно большое количество алгоритмов модификации кода Бергера, позволяющих уменьшить количество необнаруживаемых ими ошибок [10, 20–26]. При модификации фактически меняется распределение информационных векторов между контрольными векторами. Во многих случаях уменьшение количества ошибок достигается за счет внесения в класс необнаруживаемых некоторого количества монотонных ошибок.

В [26, 27] рассматривается абстрактный оптимальный разделимый код, обладающий для данных значений  $m$  и  $k$  минимальным общим количеством необнаруживаемых ошибок в информационных векторах:

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

В оптимальном разделимом коде все  $2^m$  информационных вектора равномерно распределены между всеми  $2^k$  контрольными векторами. «Близость» любого разделимого кода к оптимальному коду оценивается коэффициентом эффективности [26, 27]:

$$\xi_{m,k} = \frac{N_{m,k}^{\min}}{N_{m,k}}, \quad (2)$$

где  $N_{m,k}$  – количество необнаруживаемых кодом ошибок в информационных векторах.

Чем ближе  $\xi_{m,k}$  к 1, тем эффективнее код обнаруживает ошибки в информационных векторах при заданных значениях  $m$  и  $k$ .

Коды Бергера не обнаруживают следующее количество ошибок в информационных векторах [19]:

$$N_{m,k} = \sum_{d=2}^{m,(m-1)} 2^{m-d} C_m^d C_d^{\frac{d}{2}} = 2^m \sum_{d=2}^{m,(m-1)} \beta_d C_m^d, \quad (3)$$

где суммируются ошибки только четной кратностью  $d = 2, 4, \dots, m$  – при четном значении  $m$  и  $d = 2, 4, \dots, (m-1)$  – при нечетном  $m$ .

Коэффициент эффективности  $S(m,k)$ -кодов:

$$\xi_{m,k} = \frac{2^m (2^{m-k} - 1)}{2^m \sum_{d=2}^{m,(m-1)} \beta_d C_m^d} = \frac{2^{m-k} - 1}{\sum_{d=2}^{m,(m-1)} \beta_d C_m^d}. \quad (4)$$

$S(m,k)$ -коды далеки от оптимальных разделимых кодов (рис. 2). Для большинства кодов Бергера значение  $\xi_{m,k} < 0,5$ , и только для кодов при  $m$ , равном 3, 6 и 7, превышает данное значение.

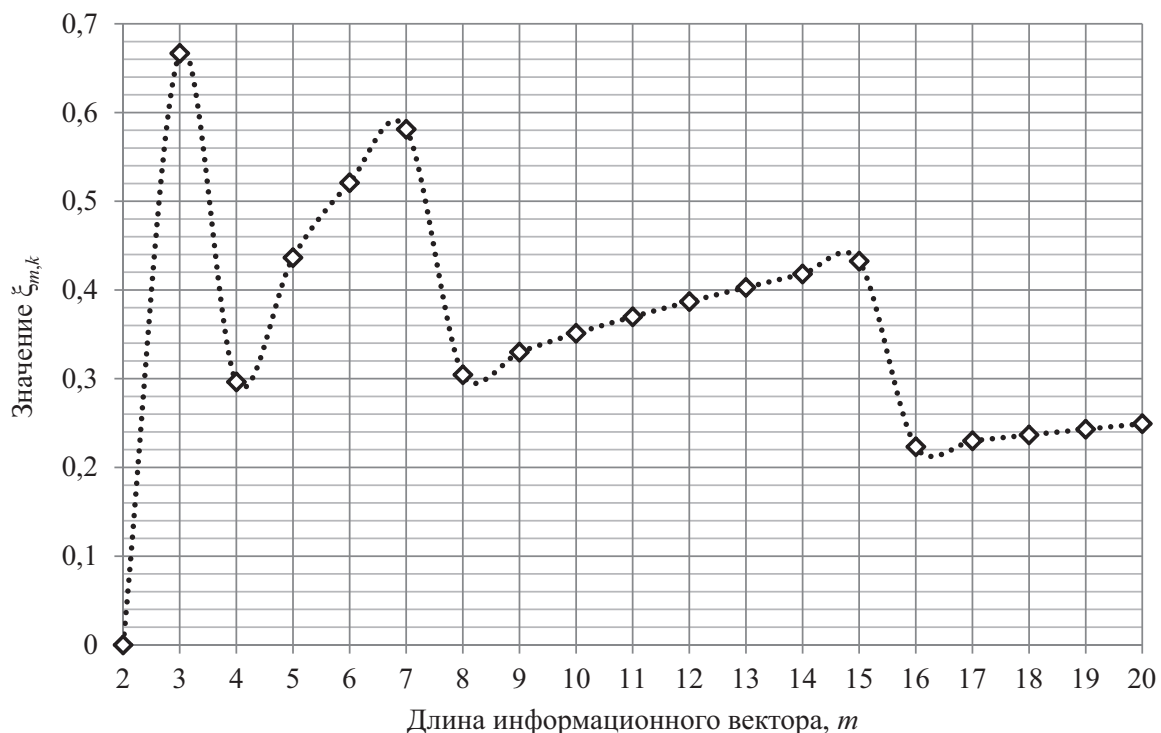


Рис. 2. Значения коэффициента  $\xi_{m,k}$  для  $S(m,k)$ -кодов

Таким образом, при достаточно большом количестве необнаруживаемых ошибок в информационных векторах, в том числе ошибок с малой кратностью, коды Бергера также неэффективно используют свои контрольные разряды. Возникает задача построения оптимального разделимого кода, у которого максимум ошибок будет смещен в сторону бóльшей кратности.

## 2 Код с суммированием взвешенных информационных разрядов без переносов

Оптимальный разделимый код с улучшенными по сравнению с кодом Бергера характеристиками обнаружения ошибок в информационных векторах при таком же количестве контрольных разрядов может быть построен

на принципе приписывания весовых коэффициентов разрядам информационного вектора [15, 25, 28] и последующих операциях с ними.

Приведем алгоритм построения оптимального кода с суммированием [29, 30].

1. Разрядам информационного вектора, начиная с младшего, приписываются весовые коэффициенты, образующие ряд последовательно возрастающих натуральных чисел:  $[m; m - 1; \dots; 2; 1]$ .

2. Значение каждого весового коэффициента  $w_i$  представляется в двоичном виде:  $[w_i]_2$ .

3. Определяется число  $[W]_2$  – сумма двоичных чисел  $[w_i]_2$  весовых коэффициентов единичных разрядов информационного вектора без переносов:

$$[W]_2 = \bigoplus_{i=1}^m f_i[w_i]. \quad (5)$$

4. Число  $[W]_2$  записывается в разряды контрольного вектора.

Данный код обозначим как  $SWC(m,k)$ -код. В табл. 3 представлены векторы  $SWC(4,3)$ -кода, а в табл. 4 – распределение информационных векторов

**Таблица 3.** Получение разрядов контрольного вектора  $SWC(4,3)$ -кода

№	Разряды информационного вектора				Суммируемые весовые коэффициенты		Разряды контрольного вектора		
	$f_4$	$f_3$	$f_2$	$f_1$	В десятичном виде	В двоичном виде	$g_3$	$g_2$	$g_1$
	$w_4=4$	$w_3=3$	$w_2=2$	$w_1=1$					
0	0	0	0	0	–	–	0	0	0
1	0	0	0	1	1	001	0	0	1
2	0	0	1	0	2	010	0	1	0
3	0	0	1	1	1+2	001+010	0	1	1
4	0	1	0	0	3	011	0	1	1
5	0	1	0	1	1+3	001+011	0	1	0
6	0	1	1	0	2+3	010+011	0	0	1
7	0	1	1	1	1+2+3	001+010+011	0	0	0
8	1	0	0	0	4	100	1	0	0
9	1	0	0	1	1+4	001+100	1	0	1
10	1	0	1	0	2+4	010+100	1	1	0
11	1	0	1	1	1+2+4	001+010+100	1	1	1
12	1	1	0	0	3+4	011+100	1	1	1
13	1	1	0	1	1+3+4	001+011+100	1	1	0
14	1	1	1	0	2+3+4	010+011+100	1	0	1
15	1	1	1	1	1+2+3+4	001+010+011+100	1	0	0

**Таблица 4.** Распределение информационных векторов  $SWC(4,3)$ -кода на контрольные группы

Контрольные группы							
000	001	010	011	100	101	110	111
Информационные векторы							
0000	0001	0010	0011	1000	1001	1010	1011
0111	0110	0101	0100	1111	1110	1101	1100

между контрольными векторами. Из анализа табл. 4 следует, что  $SWC(4,3)$ -код не обнаруживает 16 трехкратных ошибок в информационных векторах.

В табл. 5 приведены рассчитанные значения количества необнаруживаемых ошибок в  $SWC(m,k)$ -кодах в сравнении с аналогичной величиной для  $S(m,k)$ -кодов. В каждой клетке таблицы приведено два числа – верхнее число соответствует количеству необнаруживаемых ошибок в  $SWC(m,k)$ -коде, нижнее – в  $S(m,k)$ -коде.  $SWC(m,k)$ -код гораздо эффективнее обнаруживает ошибки любой четной кратностью в информационных векторах, чем  $S(m,k)$ -код. Однако  $SWC(m,k)$ -кодом не обнаруживается некоторое количество ошибок нечетной кратностью. На рис. 3 сравниваются  $SWT(16,5)$ - и  $S(16,5)$ -коды по количеству необнаруживаемых ошибок каждой кратностью. Из рисунка видно, насколько эффективен новый код в сравнении с кодом Бергера. На рис. 4 приводятся графики величин  $\beta_p$ , %, для  $SWC(m,k)$ -кода при малых значениях  $d$ . При  $m > 8$  значения  $\beta_3$ ,  $\beta_4$  и  $\beta_5$  не превышают 10%.

### 3 Применение кодов Бергера и кодов с суммированием взвешенных информационных разрядов без переносов при организации систем функционального контроля

Оценим эффективность использования  $SWC(m,k)$ -кодов при организации систем функционального контроля на стандартных контрольных комбинационных схемах MCNC Benchmarks [31].

Контрольные комбинационные схемы в MCNC Benchmarks представлены, в том числе, в формате \*.pla, фактически содержащем в сжатом виде таблицу истинности функций, вычисляемых схемой. С использованием интерпретатора SIS можно определять различные параметры контрольной комбинационной схемы, реализованной в том или ином базисе, который задается библиотекой функциональных элементов [32]. Одним из ключевых параметров является площадь  $L$ , занимаемая устройством на кристалле. С использованием разработанного программного обеспечения для ряда контрольных комбинационных схем в формате \*.pla были получены все блоки системы

Таблица 5. Необнаруживаемые ошибки в информационных векторах  $SWC(m, k)$ - и  $S(m, k)$ -кодов

$m$	$k$	Количество необнаруживаемых ошибок кратностью $d_i, N_d$														$N_{m,k}$		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		15	16
2	2	0	0															0
3	2	0	2															2
3	2	0	0	8														8
4	3	0	12	0														12
4	3	0	0	16	0													16
5	3	0	48	0	6													54
5	3	0	0	64	32	0												96
6	3	0	160	0	60	0												220
6	3	0	0	256	192	0	0											448
7	3	0	480	0	360	0	20											860
7	3	0	0	896	896	0	0	128										1920
8	4	0	1344	0	1680	0	280	0										3304
8	4	0	0	1792	1792	0	0	256	0									3840
9	4	0	3584	0	6720	0	2240	0	70									12614
9	4	0	0	4096	5120	2048	2048	2048	512	0								15872
10	4	0	9216	0	24192	0	13440	0	1260	0								48108
10	4	0	0	10240	16384	12288	12288	10240	3072	0	0							64512
11	4	0	23040	0	80640	0	67200	0	12600	0	252							183732
11	4	0	0	26624	53248	49152	49152	53248	26624	0	2048							260096
12	4	0	56320	0	253440	0	295680	0	92400	0	5544							703384
12	4	0	0	69632	155648	180224	212992	221184	135168	49152	16384	4096						1044480
13	4	0	135168	0	760320	0	1182720	0	554324	0	66528	0						2699984
13	4	0	0	180224	450560	589824	786432	950272	712704	327680	131072	49152						4186112
14	4	0	319488	0	2196480	0	4392960	0	2882880	0	576576	0	24024					10392408
14	4	0	0	458752	1261568	1835008	2752512	3801088	3325952	1835008	917504	458752	114688	0				16760832
15	4	0	745472	0	6150144	0	15375360	0	13453440	0	4036032	0	336336	0	3432			40100216
15	4	0	0	1146880	3440640	5505024	9175040	14254080	14254080	9175040	5505024	3440640	1146880	0	0	32768		67076096
16	5	0	1720320	0	16773120	0	51251200	0	57657600	0	24216192	0	3363360	0	102960	0		155084752
16	5	0	0	2293760	6881280	11010048	18350080	28508160	28508160	18350080	11010048	6881280	2293760	0	0	65536	0	134152192
		0	3932160	0	44728320	0	164003840	0	230630400	0	129153024	0	26906880	0	1647360	0	12870	601014854

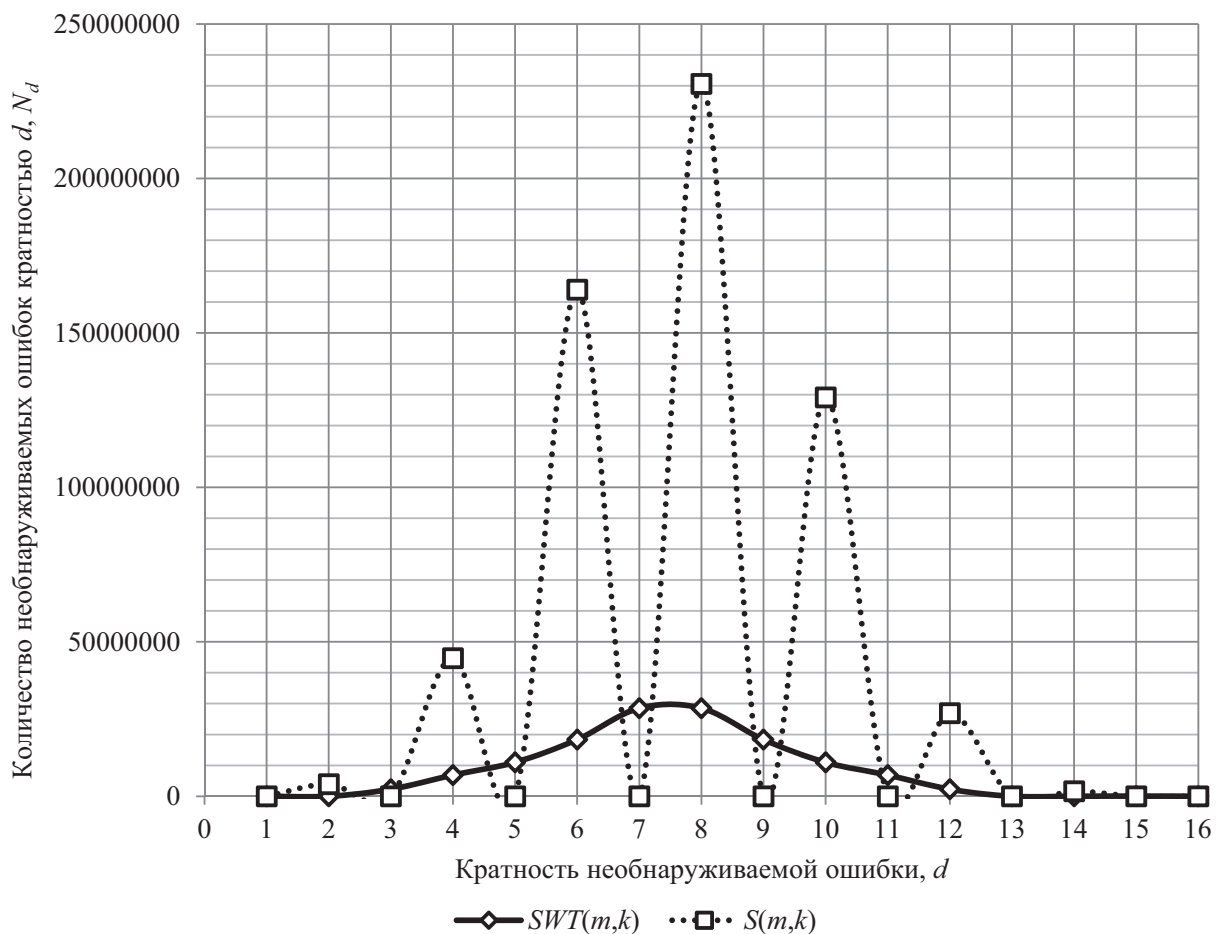


Рис. 3. Сравнение  $WSH(16,5)$  и  $S(16,5)$  кодов по обнаружению ошибок каждой кратностью

функционального контроля (см. рис. 1), а затем для каждого из них определены показатели площади в условных единицах SIS. При этом произведена оценка площади как при отдельной реализации контролируемой схемы  $F(x)$  и  $G(x)$ , так и при совместной их реализации и последующей оптимизации структур. Эксперименты по определению площадей структур систем функционального контроля произведены как при использовании в основе  $SWC(m,k)$ -кода, так и при использовании  $S(m,k)$ -кода. На основании результатов абсолютных значений площадей структур систем функционального контроля получены относительные показатели их структурной избыточности, %:

1. Коэффициент  $\delta_f$  – отношение площади системы функционального контроля к площади контролируемой комбинационной схемы.

2. Коэффициент  $\delta_D$  – отношение площади системы функционального контроля к площади системы дублирования.

3. Коэффициент  $\delta_s'$  – отношение площади системы функционального контроля к площади системы контроля по коду Бергера при отдельной реализации блоков  $F(x)$  и  $G(x)$ .

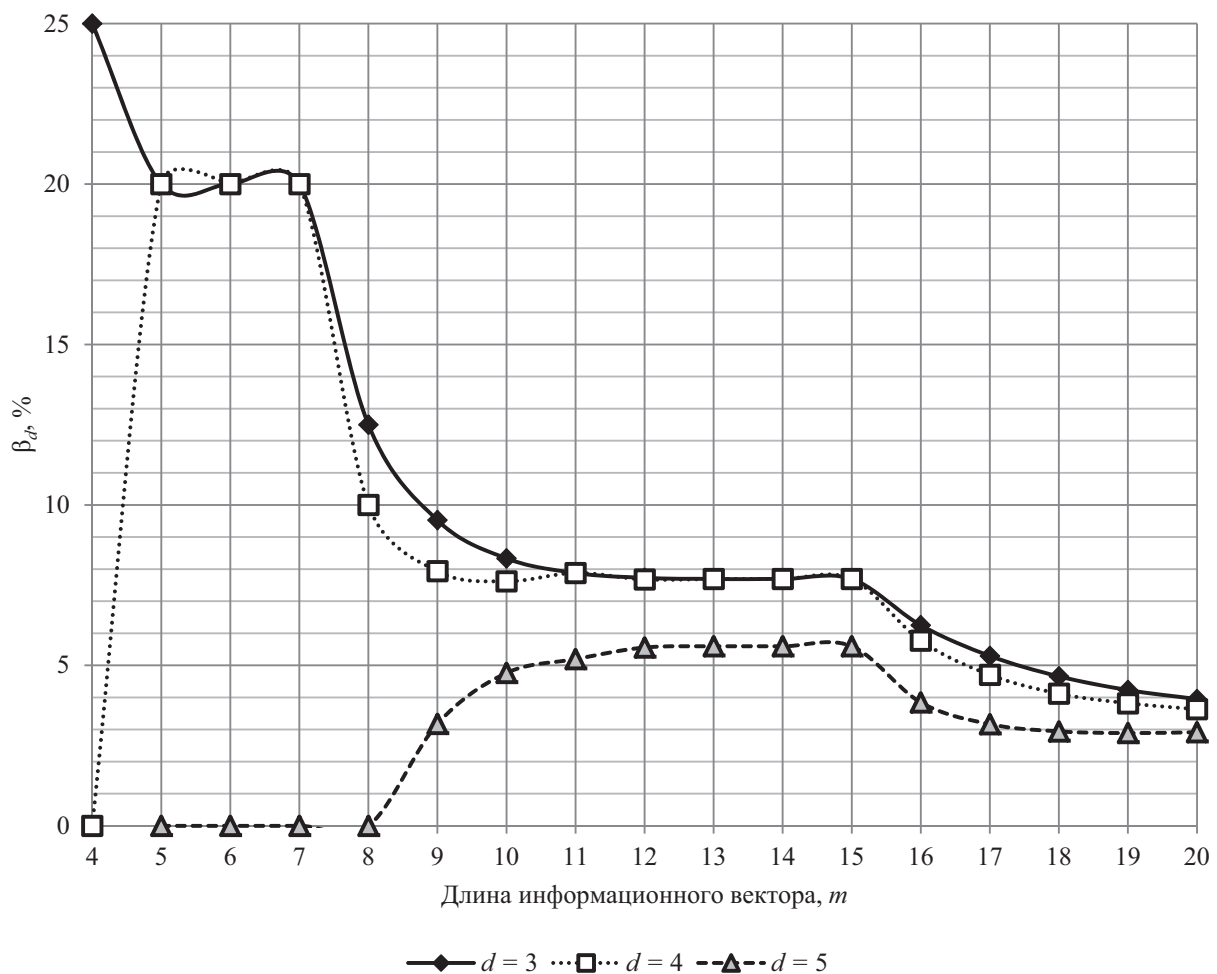


Рис. 4. Значения коэффициента  $\beta_d$  для  $SWT(m,k)$ -кодов

4. Коэффициент  $\delta_s''$  – отношение площади системы функционального контроля к площади системы контроля по коду Бергера при совместной реализации блоков  $F(x)$  и  $G(x)$ .

5. Коэффициент  $\mu$  – коэффициент «сжатия» для системы функционального контроля с совместной реализацией блоков  $F(x)$  и  $G(x)$  по отношению к системе функционального контроля с отдельной реализацией блоков  $F(x)$  и  $G(x)$ .

Результаты экспериментов и обработки полученных данных для 25 контрольных примеров сведены в табл. 6. Коэффициенты «сжатия» получены как для структур, организованных по  $S(m,k)$ -коду, так и для структур, организованных по  $SWC(m,k)$ -коду. Остальные коэффициенты ( $\delta_f$ ,  $\delta_D$ ,  $\delta_s$ ) определены для систем функционального контроля по  $SWT(m,k)$ -коду с двумя вариантами реализации: а) с отдельной реализацией блоков  $F(x)$  и  $G(x)$ ; б) с совместной реализацией блоков  $F(x)$  и  $G(x)$ . В данной таблице вид реализации обозначен нижними индексами  $cl$  и  $ji$  – классическая структура (*classic, cl*) и структура с совместной реализацией блоков основной и контрольной логики (*with joint implementation, ji*).



**Таблица 6.** Оценка параметров площадей структур систем функционального контроля, организованных по  $SWC(m,k)$ - и  $S(m,k)$ -кодам

Контроль-ная схема	Число входов	Число выходов	Double System	$S(m,k)$ -код			$SWC(m,k)$ -код			Показатели системы контроля по $SWC(m,k)$ -коду, %					
				$L_{ci}$	$L_{ji}$	$\mu, \%$	$L_{ci}$	$L_{ji}$	$\mu, \%$	$\delta_{i,ci}$	$\delta_{j,ji}$	$\delta_{D,ci}$	$\delta_{D,ji}$	$\delta'_{s,ci}$	$\delta''_{s,ji}$
mixex1	8	7	4064	4176	3280	78,544	2904	2144	73,829	207,429	153,143	71,457	52,756	69,54	65,366
table3	14	14	81664	65992	58232	88,241	53968	49648	91,995	136,725	125,78	66,085	60,795	81,78	85,259
table5	17	15	78688	66760	54944	82,301	52840	39456	74,671	139,493	104,161	67,151	50,142	79,149	71,811
tcheck	3	3	672	584	432	73,973	536	408	76,119	446,667	340	79,762	60,714	91,781	94,444
newtpla2	10	4	2320	2024	1736	85,771	1848	1496	80,952	220	178,095	79,655	64,483	91,304	86,175
newswp	4	5	1728	1952	1712	87,705	1360	1088	80	309,091	247,273	78,704	62,963	69,672	63,551
root	8	5	7840	6200	6224	100,387	5880	4872	82,857	168,192	139,359	75	62,143	94,839	78,278
max512	9	6	20320	15512	14960	96,441	14992	10344	68,997	155,648	107,392	73,78	50,906	96,648	69,144
max1024	10	6	36688	27408	35688	130,21	28384	22144	78,016	159,317	124,293	77,366	60,358	103,561	62,049
dc1	4	7	3216	3424	2872	83,879	2328	1856	79,725	238,525	190,164	72,388	57,711	67,991	64,624
dekoder	4	7	2736	3104	1224	39,433	2040	1808	88,627	277,174	245,652	74,561	66,082	65,722	147,712
wim	4	7	2688	3160	1568	49,62	2024	1568	77,47	284,27	220,225	75,298	58,333	64,051	100
br1	12	8	8688	9048	5160	57,029	6440	3448	53,54	178,492	95,565	74,125	39,687	71,176	66,822
br2	12	8	7376	8024	5936	73,978	5448	3152	57,856	184,553	106,775	73,861	42,733	67,896	53,1
newbyte	5	8	2656	4368	4360	99,817	2072	1928	93,05	350	325,676	78,012	72,59	47,436	44,22
inc	7	9	6432	9112	8328	91,396	5088	3800	74,686	214,141	159,933	79,104	59,08	55,838	45,629
b10	15	11	20432	32824	18576	56,593	17192	16192	94,183	187,522	176,614	84,143	79,248	52,376	87,166
m1	6	12	8432	13224	2512	18,996	5568	3216	57,759	181,723	104,961	66,034	38,14	42,105	128,025
p82	5	14	7456	16568	15648	94,447	5312	4432	83,434	224,324	187,162	71,245	59,442	32,062	28,323
m2	8	16	23328	29984	8640	28,815	14672	6952	47,383	145,325	68,859	62,894	29,801	48,933	80,463
m3	8	16	30064	33984	9624	28,319	18544	8296	44,737	137,73	61,616	61,682	27,594	54,567	86,201
m4	8	16	40544	40152	14280	35,565	25464	13376	52,529	136,142	71,514	62,806	32,991	63,419	93,669
tms	8	16	16704	26352	7840	29,751	10936	6936	63,424	161,203	102,241	65,469	41,523	41,5	88,469
b2	16	17	85248	74992	42040	56,059	51400	27408	53,323	125,513	66,927	60,295	32,151	68,541	65,195
in1	16	17	85248	74992	57328	76,445	51400	27408	53,323	125,513	66,927	60,295	32,151	68,541	47,809
Средние значения			-	-	-	69,749	-	-	71,299	203,788	150,812	71,647	51,781	67,617	76,14

Для 25 контрольных комбинационных схем в среднем получен следующий результат: структура системы функционального контроля на основе  $SWC(m,k)$ -кода при отдельной реализации блоков  $F(x)$  и  $G(x)$  занимает площадь на кристалле, равную 71,647% площади системы дублирования и 67,617% площади системы функционального контроля, построенной на основе кода Бергера. Для некоторых комбинационных схем было получено уменьшение площади структуры на основе  $SWC(m,k)$ -кода в сравнении с дублированием более чем на четверть, а в сравнении с системой на основе кода Бергера – более чем вдвое.

Структура с совместной реализацией блоков основной и контрольной логики в сравнении с дублированием оказывается в среднем проще системы дублирования – 51,781% (уменьшение площади практически вдвое). Для 9 схем из 25 достигнуто значительное уменьшение – от 27,594 до 42,733% от площади системы дублирования. При сравнении структур с совместной реализацией блоков основной и контрольной логики, построенных на основе кода Бергера и нового кода, выигрыш в площади системы на основе нового кода составляет 76,14%.

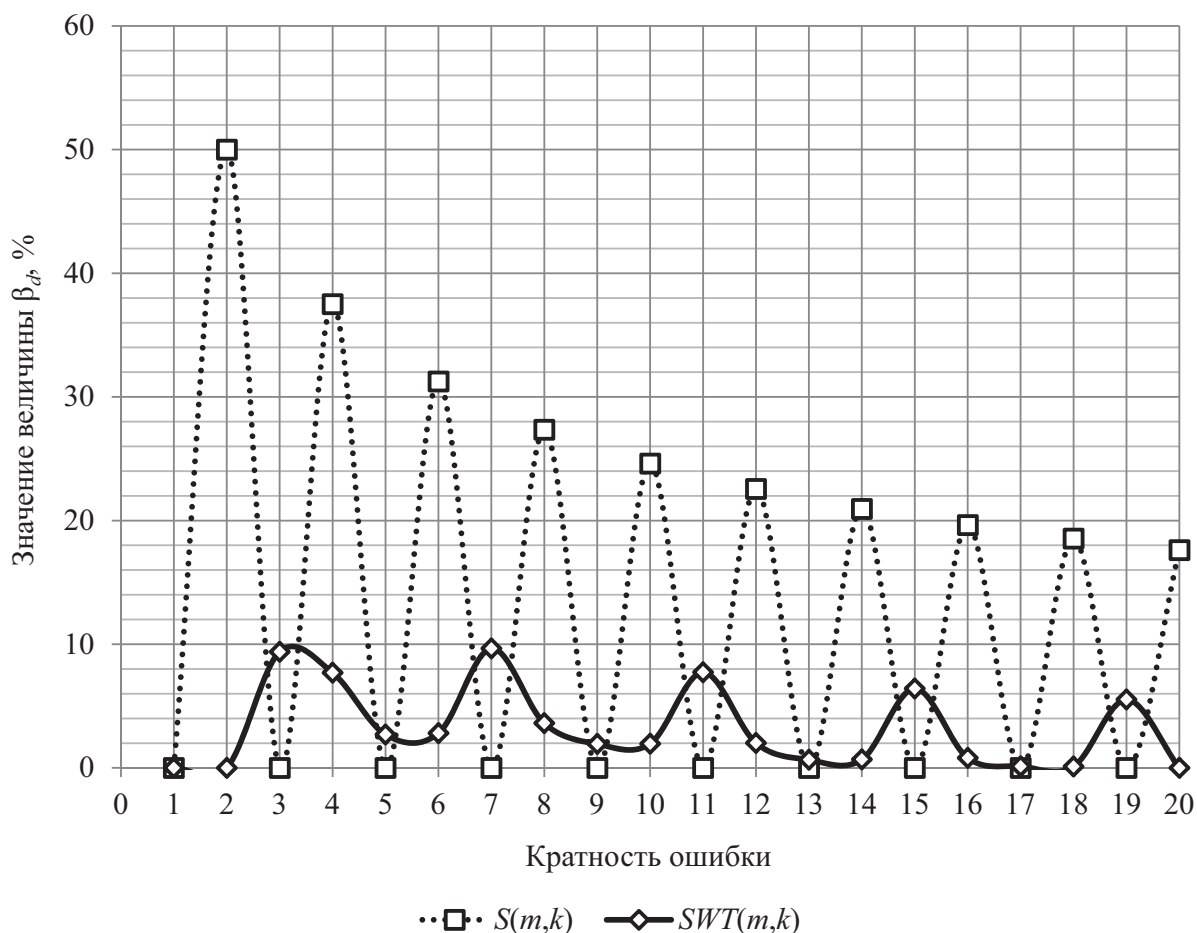
Результаты экспериментов позволяют говорить о высокой эффективности  $SWC(m,k)$ -кода в задачах технической диагностики и, прежде всего, при организации систем функционального контроля комбинационных логических схем.

## Заключение

В статье предложен способ построения оптимального разделимого кода, эффективного для решения задач технической диагностики. Идея построения нового  $SWC(m,k)$ -кода базируется на идее приписывания весовых коэффициентов разрядам информационного вектора из последовательности возрастающих натуральных чисел, начиная с младшего разряда, и последующих операций суммирования весовых коэффициентов. При этом суммируются двоичные эквиваленты десятичных чисел весовых коэффициентов, операция переноса при суммировании не используется. Такой подход к построению кода позволяет не только получить разделимый код с равномерным распределением информационных векторов между контрольными векторами (так называемый оптимальный код [26]), но и наделить его таким важным свойством, как обнаружение любых двукратных ошибок в информационных векторах при любой их длине.

В ходе исследования проведено детальное сравнение свойств  $SWC(m,k)$ -кода с классическим кодом Бергера, имеющим аналогичное количество контрольных разрядов для соответствующих значений длин информационных векторов. Показаны преимущества  $SWC(m,k)$ -кода в обнаружении оши-

бок с малыми значениями кратностей. Например, на рис. 5 показаны графики изменения средних значений величин  $\beta_d$  для диапазона длин информационных векторов  $m = 2 \div 20$  для  $SWC(m,k)$ - и  $S(m,k)$ -кодов, по которым видно, что  $SWC(m,k)$ -код имеет достаточно высокий процент обнаруживаемых ошибок по каждой кратности в сравнении с кодом Бергера. Однако в классе необнаруживаемых у нового кода имеются не только симметричные ошибки, как в классическом коде Бергера, а значит, для решения схожих задач при построении контролепригодных устройств автоматики и вычислительной техники требуется учет свойств обнаружения ошибок  $SWC(m,k)$ -кодом.



**Рис. 5.** Средние значения коэффициента  $\beta_d$  для  $SWT(m,k)$ - и для  $S(m,k)$ -кода в диапазоне длин информационных векторов  $m = 2 \div 20$

В работе, с использованием набора контрольных комбинационных схем MCNC Benchmarks, показано, что использование  $SWC(m,k)$ -кода для построения систем функционального контроля более эффективно, чем использование системы дублирования и классического кода Бергера.

Новый код с суммированием «без переноса» весовых коэффициентов единичных информационных разрядов в алгебре сложения по модулю два — перспективный код для решения задач технической диагностики.

## Библиографический список

1. Пархоменко П. П. Основы технической диагностики (оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратурные средства) / П. П. Пархоменко, Е. С. Согомоян. – М. : Энергоатомиздат, 1981. – 320 с.
2. McCluskey E. J. Logic design principles : With emphasis on testable semicustom circuits / E. J. McCluskey. – New Jersey : Prentice hall PTR, 1986. – 549 p.
3. Mitra S. Which concurrent error detection scheme to choose? / S. Mitra, E. J. McCluskey // Proceedings of International test conference. 2000. USA, Atlantic city, NJ, 03–05 October 2000. – Pp. 985–994.
4. Дрозд А. В. Нетрадиционный взгляд на рабочее диагностирование вычислительных устройств / А. В. Дрозд // Проблемы управления. – 2008. – № 2. – С. 48–56.
5. Согомоян Е. С. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы / Е. С. Согомоян, Е. В. Слабаков. – М. : Радио и связь, 1989. – 208 с.
6. Сапожников Вал. В. Самопроверяемые дискретные устройства / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 224 с.
7. Nicolaidis M. On-line testing for VLSI – A compendium of approaches / M. Nicolaidis, Y. Zorian // Journal of electronic testing : theory and applications. – 1998. – № 12. – Pp. 7–20.
8. Fujiwara E. Code design for dependable systems : Theory and practical applications / E. Fujiwara. – New Jersey : John Wiley & Sons, 2006. – 720 p.
9. Lala P. K. Principles of modern digital design / P. K. Lala. – New Jersey : John Wiley & Sons, 2007. – 419 p.
10. 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.
11. Аксёнова Г. П. Необходимые и достаточные условия построения полностью проверяемых схем свертки по модулю два / Г. П. Аксёнова // Автоматика и телемеханика. – 1979. – № 9. – С. 126–135.
12. Ghosh S. Synthesis of low power CED circuits based on parity codes / S. Ghosh, S. Basu, N. A. Touba // Proceedings of 23rd IEEE VLSI test symposium (VTS'05). – 2005. – Pp. 315–320.
13. Busaba F. Y. Self-checking combinational circuit design for single and unidirectional multibit errors / F. Y. Busaba, P. K. Lala // Journal of electronic testing : Theory and applications. – 1994. – Vol. 5. – Issue 5. – Pp. 19–28.
14. Saposhnikov Val. V. A New design method for self-checking unidirectional combinational circuits / Val. V. Saposhnikov, A. Morosov, Vl. V. Saposhnikov, M. Göessel // Journal of electronic testing : Theory and applications. – 1998. – Vol. 12. – Issue 1–2. – Pp. 41–53.
15. Berger J. M. A note on error detecting codes for asymmetric channels / J. M. Berger // Information and control. – 1961. – Vol. 4. – Issue 1. – Pp. 68–73.
16. Lin D. J. Unidirectional error correcting/detecting codes / D. J. Lin // Ph. D. Thesis, Oregon state university. – July 2. – 1987. – 104 p.
17. Jha N. K. A t-unidirectional error-detecting systematic code / N. K. Jha, M. B. Vora // Computers & mathematics with application. – 1988. – Vol. 16. – Issue 9. – Pp. 705–714.

18. Сапожников Вал. В. Классификация ошибок в информационных векторах систематических кодов / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Известия вузов. Приборостроение. – 2015. – Т. 58. – № 5. – С. 333–343.
19. 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.
20. Berger J. M. A note on burst detecting sum codes / J. M. Berger // Information and control. – 1961. – Vol. 4. – Issue 2–3. – Pp. 297–299.
21. Dong H. Modified berger codes for detection of unidirectional errors / H. Dong // IEEE transactions on computers. – June 1984. – Vol. C-33. – Pp. 572–575.
22. Jha N. K. A systematic code for detecting t-unidirectional errors / N. K. Jha, M. V. Vora // Proceedings of International symposium «Fault-Tolerant Computers», Pittsburg, PA, June 1987. – Pp. 96–101.
23. Parhami B. New class of unidirectional error-detection codes / B. Parhami // Proceedings of IEEE International conference on computer design : VLSI in computers and processors, 14–16 October 1991 (ICCD '9), Cambridge, MA. – Pp. 574–577.
24. Piestrak S. J. Design of self-testing checkers for unidirectional error detecting codes / S. J. Piestrak. – Wrocław : Oficyna wydawnicza politechniki wrocławskiej, 1995. – 111 p.
25. Das D. Weight-based codes and their application to concurrent error detection of multilevel circuits / D. Das, N. A. Touba // Proceedings of 17th IEEE test symposium, USA, California, 1999. – Pp. 370–376.
26. 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.
27. Blyudov A. Properties of code with summation for logical circuit test organization / A. Blyudov, D. Efanov, Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov // Proceedings of 10th IEEE east-west design & test symposium (EWDTS'2012), Kharkov, Ukraine, September 14–17, 2012. – Pp. 114–117.
28. Das D. Low cost concurrent error detection based on modulo weight-based codes / D. Das, N. A. Touba, M. Seuring, M. Gossel // Proceedings of IEEE 6th International on-line testing workshop (IOLTW), Spain, Palma de Mallorca, July 3–5, 2000. – Pp. 171–176.
29. Сапожников Вал. В. Оптимальный систематический код на основе взвешивания разрядов информационных векторов и суммирования без переносов для систем функционального контроля / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, В. В. Дмитриев, Ц. Хуан // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2016. – № 1. – С. 75–84.
30. Sapozhnikov Val. Weighted sum code without carries – is an optimum code with detection of any double errors in data vectors / Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov, D. Efanov, V. Dmitriev // Proceedings of 14th IEEE east-west design & test symposium (EWDTS'2016), Yerevan, Armenia, October 14–17, 2016. – Pp. 134–141.
31. Collection of digital design benchmarks. – URL : <http://ddd.fit.cvut.cz/prj/Benchmarks>.
32. Yang S. Logic synthesis and optimization benchmarks : User guide : Version 3.0 / S. Yang. – Microelectronics center of north carolina (MCNC), 1991. – 88 p.

*Valery V. Sapozhnikov,  
Vladimir V. Sapozhnikov,  
Dmitry V. Efanov,  
Vyacheslav V. Dmitriev,*

«Automation and remote control on railways» department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university

### **Code with summation of weighted data bits without transitions within concurrent error detection systems**

The article describes the systematic code, that can be effectively used for organizing the concurrent error detection systems for combinational logic circuits. This systematic code belongs to the class of codes with summation of weighted data bits and has a simple rules of formation, that, respectively, provides a simple structure of encoding hardware. The above mentioned systematic code has the same number of check bits as a classic Berger code, however, it has a minimum total amount of undetectable errors in data vectors with set values of data and check vectors lengths. Importantly, the new sum code detects any double distortion in data vectors, which determines the prospects of its implementation for technical diagnostics problems. The article also compares the described systematic code with the classic code Berger. The article provides the results of tests with a set of MCNC Benchmarks reference combinational circuits for the organization of the concurrent error detection systems.

technical diagnostics; concurrent error detection systems; combinational circuit; code word; Berger code; weight-based sum code; data vector; error in data vector; structure redundancy

### **References**

1. Parkhomenko P. P., Sogomonyan E. S. (1981). Basics of technical diagnostics (optimization of diagnostic algorithms and equipment) [Osnovy tekhnicheskoy diagnostiki (optimizatsiya algoritmov diagnostirovaniya, apparaturnyye sredstva)]. Moscow, Energoatomizdat. – 320 p.
2. McCluskey E. J. (1986). Logic design principles: With emphasis on testable semi-custom circuits. New Jersey, Prentice hall PTR. – 549 p.
3. Mitra S., McCluskey E. J. (2000). Which concurrent error detection scheme to choose? Proceedings of International test conference, 2000, USA, Atlantic City, NJ, 03–05 October 2000. – Pp. 985–994.
4. Drozd A. V. (2008). Non-conventional point of view at operational diagnostics of computing devices [Netraditsionnyy vzglyad na rabocheye diagnostirovaniye vychislitel'nykh ustroystv], Management problems [Problemy upravleniya], issue 2. – Pp. 48–56.

5. Sogomonyan E. S., Slabakov E. V. (1989). Self-checking devices and fault-tolerant systems [Samoproveryayemyye ustroystva i otkazoustoychivyye sistemy]. Moscow, Radio and communication (Radio i svyaz'). – 208 p.
6. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V. (1992). Self-checking discrete devices [Samoproveryayemyye diskretnyye ustroystva]. St. Petersburg, Energoatomizdat. – 224 p.
7. Nicolaidis M., Zorian Y. (1998). On-Line Testing for VLSI – A Compendium of approaches. Journal of electronic testing: Theory and applications, issue 12. – Pp. 7–20.
8. Fujiwara E. (2006). Code design for dependable systems: Theory and practical applications. New Jersey, John Wiley & Sons. – 720 p.
9. Lala P.K. (2007). Principles of modern digital design. New Jersey, John Wiley & Sons. – 419 p.
10. Blyudov A.A., Efanov D. V., Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V. (2014). On sum codes of unit bits in concurrent error detection systems [O kodakh s summirovaniyem yedinichnykh razryadov v sistemakh funktsional'nogo kontrolya]. Automation and remote control [Avtomatika i telemekhanika], issue 8. – Pp. 131–145.
11. Aksenova G.P. (1979). Necessary and sufficient conditions for design of fully testable convolution modulo 2 schemes [Neobkhodimyye i dostatochnyye usloviya postroyeniya polnost'yu proveryayemykh skhem svertki po modulyu 2]. Automation and remote control [Avtomatika i telemekhanika], issue 9. – Pp. 126–135.
12. Ghosh S., Basu S., Toubia N.A. (2005). Synthesis of low power CED circuits based on parity codes. Proceedings of 23rd IEEE VLSI test symposium (VTS'05). – Pp. 315–320.
13. Busaba F.Y., Lala P.K. (1994). Self-checking combinational circuit design for single and unidirectional multibit errors. Journal of electronic testing: Theory and applications, vol. 5, issue 5. – Pp. 19–28.
14. Sapozhnikov Val. V., Morosov A., Sapozhnikov Vl. V., Göessel M. (1998). A new design method for self-checking unidirectional combinational circuits. Journal of electronic testing: Theory and applications, vol. 12, issue 1–2. – Pp. 41–53.
15. Berger J.M. (1961). A note on error detecting codes for asymmetric channels. Information and control, vol. 4, issue 1. – Pp. 68–73.
16. Lin D.J. (1987). Unidirectional error correcting/detecting codes. Ph. D. Thesis, Oregon state university, July 2. – 104 p.
17. Jha N.K., Vora M.B. (1988). A t-unidirectional error-detecting systematic code. Computers & mathematics with application, 1988, vol. 16, issue 9. – Pp. 705–714.
18. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V., Efanov D. V. (2015). Classification of errors in data vectors of systematic codes [Klassifikatsiya oshibok v informatsionnykh vektorakh sistemicheskikh kodov]. Journal of instrument engineering [Izvestiya vuzov. Priborostroyeniye], vol. 58, issue 5. – Pp. 333–343.
19. Efanov D. V., Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V. (2010). On sum code properties in concurrent error detection systems [O svoystvakh koda s summirovaniyem v skhemakh funktsional'nogo kontrolya]. Automation and remote control [Avtomatika i telemekhanika], issue 6. – Pp. 155–162.

20. Berger J. M. (1961). A note on burst detecting sum codes. *Information and control*, vol. 4, issue 2–3. – Pp. 297–299.
21. Dong H. (1984). Modified Berger codes for detection of unidirectional errors. *IEEE transactions on computers*, vol. C-33. – Pp. 572–575.
22. Jha N. K., Vora M. B. (1987). A systematic code for detecting t-unidirectional errors. *Proceedings of International symposium «Fault-Tolerant Computers»*, Pittsburg, PA, June. – Pp. 96–101.
23. Parhami B. (1991). New class of unidirectional error-detection codes. *Proceedings of IEEE International conference on computer design: VLSI in computers and processors*, 14–16 Oct 1991 (ICCD '9), Cambridge, MA. – Pp. 574–577.
24. Piestrak S. J. (1995). Design of self-testing checkers for unidirectional error detecting codes. *Wrocław, Oficyna wydawnicza politechniki wrocławskiej*. – 111 p.
25. Das D., Touba N. A. (1999). Weight-based codes and their application to concurrent error detection of multilevel circuits. *Proceedings of 17th IEEE test symposium*, USA, California. – Pp. 370–376.
26. Blyudov A. A., Efanov D. V., Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V. (2012). Formation of modified Berger code with minimum number of undetectable errors of data bits [Postroyeniye modifitsirovannogo koda Bergera s minimal'nym chislom neobnaruzhivayemykh oshibok informatsionnykh razryadov]. *Electronic simulation [Elektronnoe modelirovanie]*, vol. 34, issue 6. – Pp. 17–29.
27. Blyudov A., Efanov D., Sapozhnikov Val., Sapozhnikov Vl. (2012). Properties of code with summation for logical circuit test organization. *Proceedings of 10th IEEE east-west design & test symposium (EWDTS'2012)*, Kharkov, Ukraine, September 14–17. – Pp. 114–117.
28. Das D., Touba N. A., Seuring M., Gossel M. (2000). Low cost concurrent error detection based on modulo weight-based codes. *Proceedings of IEEE 6th International on-line testing workshop (IOLTW)*, Spain, Palma de Mallorca, July 3–5. – Pp. 171–176.
29. Sapozhnikov Val., Sapozhnikov Vl., Efanov D., Dmitriev V., Jie H. (2016). Optimised systematic code based on weighting orders of data vectors and false add for functional control systems [Optimal'nyj sistemicheskiy kod na osnove vzveshivaniya razryadov informacionnykh vektorov i summirovaniya bez perenosov dlya sistem funktsional'nogo kontrolya]. *Proceedings of Petersburg state transport university [Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya]*, issue 1. – Pp. 75–84.
30. Sapozhnikov Val., Sapozhnikov Vl., Efanov D., Dmitriev V. (2016). Weighted sum code without carries – is an optimum code with detection of any double errors in data vectors. *Proceedings of 14th IEEE east-west design & test symposium (EWDTS'2016)*, Yerevan, Armenia, October 14–17. – Pp. 134–141.
31. Collection of digital design benchmarks. – URL: <http://ddd.fit.cvut.cz/prj/Benchmarks>.
32. Yang S. (1991). *Logic synthesis and optimization benchmarks: User guide: Version 3.0*. Microelectronics center of North Carolina (MCNC). – 88 p.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Р. Убаром  
Поступила в редакцию 18.01.2016, принята к публикации 29.09.2016*



*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 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

*ДМИТРИЕВ Вячеслав Владимирович* – кандидат технических наук, ассистент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.

e-mail: webus@pisem.net

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

© Ефанов Д. В., Дмитриев В. В., 2017

УДК 681.518.5:004.052.32

**Д. В. Ефанов, канд. техн. наук**

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

## **ОСОБЕННОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ОШИБОК В ИНФОРМАЦИОННЫХ ВЕКТОРАХ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КОДОВ БЕРГЕРА**

Коды с суммированием, или коды Бергера, часто используются в задачах технической диагностики. Однако ими не обнаруживается большое количество ошибок в информационных векторах, а также вносится сравнительно высокая избыточность в контролируемое устройство или контрольное оборудование. Для улучшения свойств обнаружения ошибок в информационных векторах кодов с суммированием используется модификация правил определения значений разрядов контрольных векторов. Модифицированные коды Бергера, правила построения которых описаны в данной работе, обнаруживают почти вдвое большее количество ошибок в информационных векторах, чем классические коды Бергера. В статье впервые дается вывод формулы расчета количества необнаруживаемых ошибок в информационных векторах модифицированных кодов Бергера, наличие которой позволяет обосновать некоторые свойства модифицированных кодов Бергера по обнаружению ошибок в информационных векторах.

техническая диагностика; код Бергера; модифицированный код Бергера; необнаруживаемая ошибка; информационный вектор; формула расчета количества необнаруживаемых ошибок

### **Введение**

При построении контролепригодных дискретных устройств, передаче и обработке данных при реализации ответственных технологических процессов на железнодорожном транспорте применяются принципы помехоустойчивого кодирования [1–5]. Используются разнообразные способы кодирования, позволяющие решать как задачи обнаружения ошибок, так и задачи их исправления. Часто кодирование применяют при организации надежных дискретных систем, при этом широко распространены коды с обнаружением ошибок – они позволяют организовывать системы с обнаружением дефектов при небольшой структурной избыточности [6, 7]. Наиболее распространенными кодами, применяемыми для этих целей, являются равновесные коды и коды Бергера [8–10]. Эти же коды часто используют при организации систем функционального контроля комбинационных логических схем [11–15].

Равновесные коды и коды Бергера имеют важную особенность – ими идентифицируются любые однонаправленные (монотонные) ошибки [16, 17]. Подобное свойство определяет возможности их применения при построении

контролепригодных дискретных устройств. Однако кодами Бергера не обнаруживается большое количество необнаруживаемых ошибок малых кратностей, а использование их при технимческой реализации приводит к существенному увеличению сложности схем [18–20].

В работе [21] показано, что кодами Бергера не обнаруживается следующее количество ошибок в информационных векторах:

$$N_m = \sum_{d=2}^l \left( \sum_{r=\frac{d}{2}}^{\frac{m-d}{2}} C_m^r C_m^{\frac{d}{2}} C_{m-r}^{\frac{d}{2}} \right), \quad (1)$$

где  $m$  – длина информационного вектора;  $d$  – кратность необнаруживаемой ошибки ( $d$  – четное число);  $r$  – вес информационного вектора;  $l$  – верхний предел суммирования:  $l = m$ , если  $m$  – четное число, и  $l = m - 1$ , если  $m$  – нечетное число.

Применяя формулу (1) для кода Бергера с  $m = 6$  определяем, что им не обнаруживается 860 ошибок в информационных векторах.

Коды Бергера обладают интересной особенностью – ими не обнаруживается постоянная доля ошибок четной кратностью  $d$  от общего количества ошибок данной кратностью вне зависимости от длины информационного вектора [21, 22]:

$$\sigma_d = 100 \cdot 2^{-d} C_m^d, \quad \% \quad (2)$$

В табл. 1 приводятся значения величин  $\sigma_d$  для некоторых значений  $d$ .

**Таблица 1.** Значение величины  $\sigma_d$

d	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	...	100
$\sigma_d$	50	37,5	31,25	27,344	24,609	22,559	20,947	19,638	18,547	17,62	...	7,959

Из табл. 1 следует, что коды Бергера имеют сравнительно большое количество необнаруживаемых ошибок, в особенности малых кратностей – ими не обнаруживается половина двукратных искажений в информационных векторах и более трети четырехкратных искажений в информационных векторах.

Поскольку в коде Бергера одному контрольному вектору соответствуют все информационные векторы с весом  $r$ , частный случай формулы (1) может быть использован для подсчета необнаруживаемых ошибок и в равновесных кодах « $r$  из  $m$ »:

$$N_m = \sum_{d=2}^l C_m^r C_m^{\frac{d}{2}} C_{m-r}^{\frac{d}{2}}. \quad (3)$$

Здесь  $r = \text{const}$ .

Использование равновесных кодов [23–25] и кодов Бергера [26], например, при организации систем функционального контроля, требует анализа выходов контролируемых устройств. Использование данных кодов для контроля логических устройств подразумевает, что выходы будут монотонно независимыми (т. е. допускать либо только ошибки типа  $0 \rightarrow 1$ , либо только ошибки типа  $1 \rightarrow 0$  при возникновении во внутренней структуре любых одиночных ошибок выходов логических элементов) или же будут образованы группы монотонно независимых выходов. Если же данное условие не соблюдается, требуется реконфигурация элементов и связей в структуре контролируемого логического устройства [27–32].

Улучшить свойства обнаружения ошибок кодами Бергера можно за счет модификации правил их построения [33–40]. Данная работа посвящена анализу характеристик необнаруживаемых ошибок модифицированными кодами Бергера, которые описаны в [41].

## 1 Модифицированный код Бергера

Как отмечалось выше, при организации систем функционального контроля устройств автоматики и вычислительной техники полезными могут оказаться модифицированные коды Бергера. Данные коды получают по следующему алгоритму [41].

**Алгоритм 1.** *Получение значений разрядов контрольных векторов модифицированных кодов Бергера:*

1. Фиксируется модуль  $M = 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil - 1}$ .
2. Подсчитывается вес информационного вектора  $r$ .
3. Число  $r$  представляется по модулю  $M$  (другими словами, определяется наименьший неотрицательный вычет числа  $r$  по заданному модулю):  $V = r(\text{mod } M)$ .
4. Определяется поправочный коэффициент  $\alpha$ , равный сумме по модулю два  $t$  произвольных установленных заранее информационных разрядов.
5. Формируется число  $W = V + \alpha M$ .
6. Полученное число  $W$  представляется в двоичном виде и записывается в контрольный вектор.

Обозначим коды с суммированием, получаемые по алгоритму 1, как  $RS(m, k)$ -коды, где  $m$  – длина информационного, а  $k$  – длина контрольного векторов. Действие алгоритма иллюстрируется таблицей 2, где получены контрольные векторы для всех информационных векторов  $RS(4, 3)$ -кода, для которого поправочный коэффициент вычисляется по формуле:  $\alpha = f_1 \oplus f_2$ .

Таблица 2. Разряды векторов  $RS(4,3)$ -кода при  $\alpha = f_1 \oplus f_2$ 

№	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$r$	$V$	$\alpha$	$W$	$g_1$	$g_2$	$g_3$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1
2	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1
3	0	0	1	1	2	2	0	2	0	1	0
4	0	1	0	0	1	1	1	5	1	0	1
5	0	1	0	1	2	2	1	6	1	1	0
6	0	1	1	0	2	2	1	6	1	1	0
7	0	1	1	1	3	3	1	7	1	1	1
8	1	0	0	0	1	1	1	5	1	0	1
9	1	0	0	1	2	2	1	6	1	1	0
10	1	0	1	0	2	2	1	6	1	1	0
11	1	0	1	1	3	3	1	7	1	1	1
12	1	1	0	0	2	2	0	2	0	1	0
13	1	1	0	1	3	3	0	3	0	1	1
14	1	1	1	0	3	3	0	3	0	1	1
15	1	1	1	1	4	0	0	0	0	0	0

## 2 Подсчет количества необнаруживаемых ошибок в информационных векторах модифицированных кодов Бергера

### 2.1. Анализ контрольных групп

Определим, какое количество ошибок в информационных векторах  $RS(m,k)$ -кодов не будет обнаружено. Рассмотрим  $RS(4,3)$ -код при  $\alpha = f_1 \oplus f_2$ . Все его информационные векторы классифицируем по контрольным группам веса  $W$  информационного вектора (табл. 3). Ошибка не будет обнаружена только в том случае, если она переведет информационный вектор одной контрольной группы в информационный вектор той же контрольной группы. Общее количество необнаруживаемых ошибок равно сумме парных переходов всех информационных векторов внутри каждой контрольной группы. Таким образом, количество необнаруживаемых ошибок зависит от количества информационных векторов в контрольных группах таблицы распределения. Для рассматриваемого  $RS(4,3)$ -кода при  $\alpha = f_1 \oplus f_2$  в группах с  $W = 0, 1, 2, 3, 5$  и  $7$  расположено по 2 информационных вектора, в группе с  $W = 6 - 4$

**Таблица 3.** Распределение информационных векторов  $RS(4,3)$ -кода при  $\alpha = f_1 \oplus f_2$  на контрольные группы

Контрольные группы веса вектора $W$							
0	1	2	3	4	5	6	7
0000	0001	0011	1101		0100	0101	0111
1111	0010	1100	1110		1000	0110	1011
						1001	
						1010	
Количество информационных векторов в группе $W$							
2	2	2	2	0	2	4	2

информационных вектора, а группа с  $W = 4$  пуста. Количество необнаруживаемых ошибок соответственно равно  $1 \cdot 2 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 2 + 0 + 1 \cdot 2 + 3 \cdot 4 + 1 \cdot 2 = 24$ .

Формализуем процесс подсчета количества необнаруживаемых ошибок в информационных векторах модифицированных кодов Бергера. Для этого рассмотрим еще один частный случай  $RS(m,k)$ -кодов с большей длиной информационного вектора, чем в предыдущем примере –  $RS(6,3)$ -код при  $\alpha = f_1 \oplus f_2 \oplus f_3$ .

Представим информационный вектор рассматриваемого кода как два вектора с длинами  $t$  и  $m - t$  соответственно. Вектор с длиной  $t$  поставим в соответствие той части информационного вектора модифицированного кода Бергера, по которой рассчитывается поправочный коэффициент, а вектор с длиной  $m - t$  – оставшимся разрядам информационного вектора (рис. 1).

$$\langle \underbrace{f_1 \ f_2 \ f_3}_t \ \underbrace{f_4 \ f_5 \ f_6}_{m-t} \rangle$$

**Рис. 1.** Разбиение информационного вектора

Обозначим вес части информационного вектора с  $t$  разрядами как  $r_1$  ( $r_1 \in [0, 1, \dots, t]$ ), а информационного вектора с  $m - t$  информационными разрядами – как  $r_2$  ( $r_2 \in [0, 1, \dots, m - t]$ ). Общий вес информационного вектора, таким образом, будет  $r = r_1 + r_2$ .

Для примера рассмотрим все информационные векторы  $RS(6,3)$ -кода, в состав которых входит вектор  $\langle m-t \rangle = \langle 011 \rangle$ . Поскольку в данном случае  $t = 3$ , существует ровно  $2^t = 2^3 = 8$  различных информационных векторов, которые показаны на рис. 2. Информационные векторы  $\langle t \rangle$  имеют различный вес. Количество информационных векторов с весом  $r_1 \in [0, 1, \dots, t]$  определяется выражением  $\sum_{r_1=0}^t C_t^{r_1}$ .

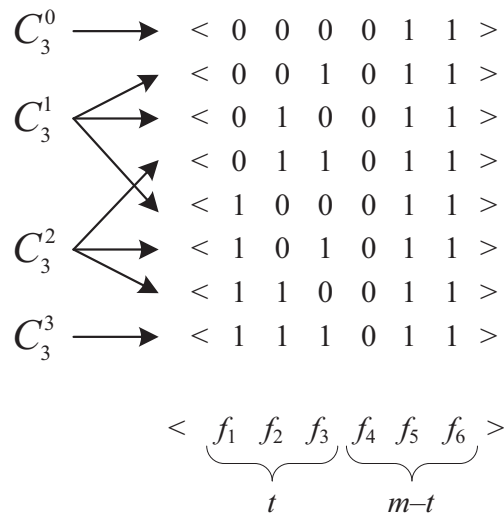


Рис. 2. Информационные векторы  $\langle \sim \sim \sim 0 1 1 \rangle$

Для подсчета количества необнаруживаемых  $RS(m,k)$ -кодом ошибок важным является число вариантов получения кодовых векторов с зафиксированным вектором  $\langle m - t \rangle$  и различными векторами  $\langle t \rangle$  с весом  $r_1$ . Коэффициент  $\alpha$  принимает либо значение 0, либо значение 1 в зависимости от значения веса вектора  $\langle t \rangle$ : если вес  $r_1$  является четным числом, то  $\alpha = 0$ , иначе  $\alpha = 1$ . При  $\alpha = 0$  модифицированный вес  $W = V$ , при  $\alpha = 1$  модифицированный вес  $W = V + M$ . К примеру, для всех информационных векторов, изображенных на рис. 2,  $V = (r_1 + r_2) \pmod{4} = (r_1 + 2) \pmod{4}$ . Для информационных векторов с четными значениями веса  $r_1$  имеем: для веса  $r_1 = 0 - W = V = 0 + 2 = 2$ ; для веса  $r_1 = 2 - W = V = 2 + 2 = 4 \pmod{4} = 0$ . Для информационных векторов с нечетными значениями веса  $r_1$  соответственно: для  $r_1 = 1 - W = V + 4 = 1 + 2 + 4 = 7 \pmod{4} = 3$ ; для  $r_1 = 3$  имеем  $W = V + 4 = 3 + 2 + 4 = 9 \pmod{4} = 1$ . Отсюда следует, что рассмотренные 8 информационных векторов пополняют контрольные группы  $W$  в следующих соотношениях (см. рис. 2): в группе  $W = 2$  есть  $C_3^0 = 1$  информационный вектор, в группе  $W = 0 - C_3^2 = 3$  информационных вектора, в группе  $W = 3 - C_3^1 = 3$  информационных вектора, в группе  $W = 1 - C_3^3 = 1$  информационный вектор.

Если продолжить рассуждения для вектора  $\langle m - t \rangle$ , нетрудно получить количество различных вариантов построения информационных векторов  $RS(m,k)$ -кодов и их расположения в контрольных группах  $W$  для всех значений веса  $r_2$ .

## 2.2 Последовательность подсчета количества необнаруживаемых ошибок в модифицированных кодах Бергера

Получив для каждой контрольной группы количество размещенных в ней информационных векторов, нетрудно определить и число необнару-

живаемых ошибок (табл. 4). Для каждой контрольной группы с весом  $W$  оно определяется по формуле:

$$N_W^N = N_W (N_W - 1). \quad (4)$$

**Таблица 4.** Подсчет суммарного веса информационных векторов групп  $W$

RS(6,3)-код						
$r_2$	Число кодовых векторов $\langle m-t \rangle$	$r_1$	Число кодовых векторов $\langle t \rangle$	Число векторов $\langle m \rangle$	$V = (r_1 + r_2) \bmod 4$	$W$
0	$C_3^0 = 1$	0	$C_3^0 = 1$	$C_3^0 C_3^0 = 1$	0	0
		1	$C_3^1 = 3$	$C_3^0 C_3^1 = 3$	1	5
		2	$C_3^2 = 3$	$C_3^0 C_3^2 = 3$	2	2
		3	$C_3^3 = 1$	$C_3^0 C_3^3 = 1$	3	7
1	$C_3^1 = 3$	0	$C_3^0 = 1$	$C_3^1 C_3^0 = 3$	1	1
		1	$C_3^1 = 3$	$C_3^1 C_3^1 = 9$	2	6
		2	$C_3^2 = 3$	$C_3^1 C_3^2 = 9$	3	3
		3	$C_3^3 = 1$	$C_3^1 C_3^3 = 3$	(4) 0	4
2	$C_3^2 = 3$	0	$C_3^0 = 1$	$C_3^2 C_3^0 = 3$	2	2
		1	$C_3^1 = 3$	$C_3^2 C_3^1 = 9$	3	7
		2	$C_3^2 = 3$	$C_3^2 C_3^2 = 9$	(4) 0	0
		3	$C_3^3 = 1$	$C_3^2 C_3^3 = 3$	(5) 1	5
3	$C_3^3 = 1$	0	$C_3^0 = 1$	$C_3^3 C_3^0 = 1$	3	3
		1	$C_3^1 = 3$	$C_3^3 C_3^1 = 3$	(4) 0	4
		2	$C_3^2 = 3$	$C_3^3 C_3^2 = 3$	(5) 1	1
		3	$C_3^3 = 1$	$C_3^3 C_3^3 = 1$	(6) 2	6

Суммируя числа по всем одноименным группам  $W$  из таблицы 4 получаем таблицу 5. Отметим, что этот же результат приведен в [39, табл. 5].

Общее количество необнаруживаемых ошибок в  $RS(m,k)$ -коде является суммой количества необнаруживаемых ошибок в каждой контрольной группе:

$$N_m = \sum_{W=0}^{2^k-1} N_W^N. \quad (5)$$



Например, для рассмотренного в предыдущем пункте  $RS(6,3)$ -кода имеем:  $N = 10 \cdot 9 + 6 \cdot 5 + 6 \cdot 5 + 10 \cdot 9 + 6 \cdot 5 + 6 \cdot 5 + 10 \cdot 9 + 10 \cdot 9 = 480$ .

Полученная величина почти вдвое меньше, чем для аналогичного по параметрам кода Бергера.

Для определения числа  $N$  необходимо подсчитать только количество информационных векторов в каждой контрольной группе. Обобщая приведенные ранее рассуждения, можно предложить следующий алгоритм подсчета количества информационных векторов в контрольных группах  $RS(m, k)$ -кода.

**Таблица 5.** Число информационных векторов в каждой группе  $W$

$W$	Число информационных векторов
0	10
1	6
2	6
3	10
4	6
5	6
6	10
7	10

**Алгоритм 2.** *Определение количества информационных векторов в контрольных группах:*

1. Устанавливается число информационных разрядов, входящих в линейную сумму поправочного коэффициента  $\alpha$  – число  $t$ .

2. Для каждого вектора  $\langle m-t \rangle$  определяются все возможные векторы  $\langle t \rangle$  с весом  $r_1$ , другими словами, для всех  $C_{m-t}^{r_2}$  векторов  $\langle m-t \rangle$  устанавливается соответствие  $C_t^{r_1}$  векторам  $\langle t \rangle$ .

3. Определяется мощность множества информационных векторов, входящих в группу  $r_1, r_2$ :

$$N_{r_1, r_2} = C_t^{r_1} C_{m-t}^{r_2}. \quad (6)$$

4. Определяется наименьший неотрицательный вычет веса информационного вектора  $r = r_1 + r_2$  – число  $V$ .

5. Определяется значение поправочного коэффициента  $\alpha$  для каждого информационного вектора: если  $r_1$  является четным числом, то  $\alpha = 0$ , иначе  $\alpha = 1$ .

6. Определяется результирующее значение модифицированного веса  $W$ , для чего для каждого вектора  $\langle t \rangle$  с нечетным значением веса  $r_1$  к величине  $V$  прибавляется значение модуля  $M$ , а для каждого четного  $r_1$   $V = W$ .

7. Подсчитывается сумма чисел  $N_{r_1, r_2}$  при одинаковых  $W$ .

Таким образом, можно предложить следующую формулу подсчета количества необнаруживаемых ошибок в модифицированных кодах Бергера [42]:

$$N_m = \sum_{W=0}^{2^k-1} N_W = \sum_{W=0}^{2^k-1} \left( \sum_{r_1, r_2 \in \langle W \rangle} C_t^{r_1} C_{m-t}^{r_2} \left( \sum_{r_1, r_2 \in \langle W \rangle} C_t^{r_1} C_{m-t}^{r_2} - 1 \right) \right), \quad (7)$$

где  $m$  – общая длина информационного вектора;  $t$  – длина вектора, по которому определяется поправочный коэффициент  $\alpha$ ;  $r_1$  и  $r_2$  – значения веса векторов  $\langle t \rangle$  и  $\langle m-t \rangle$ :  $r_1 \in [0, 1, \dots, t]$ , а  $r_2 \in [0, 1, \dots, m-t]$ ;  $W$  – модифицированный вес информационного вектора (номер контрольной группы информационных векторов);  $\langle W \rangle$  – множество значений модифицированного веса информационного вектора;  $N_W$  – количество необнаруживаемых ошибок в информационных векторах контрольной группы с весом  $W$ .

Формула (7) объясняет некоторые свойства  $RS(m, k)$ -кодов, изложенные в [40, 41], например, то, что общее количество необнаруживаемых ошибок в информационных векторах  $RS(m, k)$ -кодов не зависит от того, какие разряды информационного вектора суммируются в поправочном коэффициенте  $\alpha$ , а зависят только от количества суммируемых разрядов. Из формулы (7) также следует, что при различном значении длины вектора  $\langle t \rangle$  (различном количестве информационных разрядов в линейной сумме коэффициента  $\alpha$ ) может быть различное количество необнаруживаемых ошибок в самом коде.

### 3 Характеристики обнаружения ошибок модифицированными кодами Бергера

С использованием формул (1) и (7) было рассчитано общее количество необнаруживаемых ошибок в информационных векторах  $S(m, k)$  и  $RS(m, k)$  кодов (табл. 6), а также проведено сравнение данных кодов (взяв  $RS(m, k)$ -код с минимальным общим количеством необнаруживаемых ошибок, для которого поправочный коэффициент содержит сумму по модулю два  $\left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor$  информационных разрядов [41]). В среднем модифицированные коды Бергера обнаруживают вдвое большее количество ошибок в информационных векторах, чем классические коды Бергера, о чем говорит значение величины

$$\kappa = \frac{N_m^{RS(m, k)}}{N_m^{S(m, k)}} \cdot 100 \%, \quad (8)$$

где  $N_m^{S(m,k)}$  и  $N_m^{RS(m,k)}$  – общее количество необнаруживаемых ошибок в классических и модифицированных кодах Бергера.

**Таблица 6.** Общее количество необнаруживаемых ошибок в кодах Бергера

$m$	Общее количество необнаруживаемых ошибок в кодах с суммированием		$k, \%$
	$S(m,k)$	$RS(m,k)$	
2	2	0	0
3	12	8	66,667
4	54	24	44,444
5	220	112	50,909
6	860	480	55,814
7	3304	1984	60,048
8	12 614	6216	49,279
9	48 108	23 888	49,655
10	183 732	91 680	49,899
11	703 384	352 480	50,112
12	2700 060	1359 136	50,337
13	10 392 408	5258 944	50,604
14	40 100 216	20 420 736	50,924
15	155 084 752	79 565 952	51,305
16	601 014 854	300 481 096	49,996
17	2333 475 148	1166 684 944	49,998
18	9074 873 156	4537 330 464	49,999
19	35 344 739 512	17 672 164 704	49,999
20	137 845 480 244	68 922 399 792	50

Рисунок 3 иллюстрирует зависимость величины  $k$  от  $m$  и наглядно демонстрирует долю необнаруживаемых модифицированными кодами Бергера ошибок от аналогичного показателя для классического кода Бергера.

С увеличением длины информационного вектора значение величины  $k$  приближается к 50%, что объясняется характером модификации кода Бергера: сначала, согласно алгоритму 1, все информационные векторы, вес которых превосходит число  $M$ , перемещаются в контрольные группы, соответствующие меньшему весу, а затем осуществляется сдвиг половины векторов в группы с большими номерами. Этой процедурой фактически осуществляется более сбалансированное, по сравнению с кодами Бергера, перераспределение информационных векторов между контрольными группами.

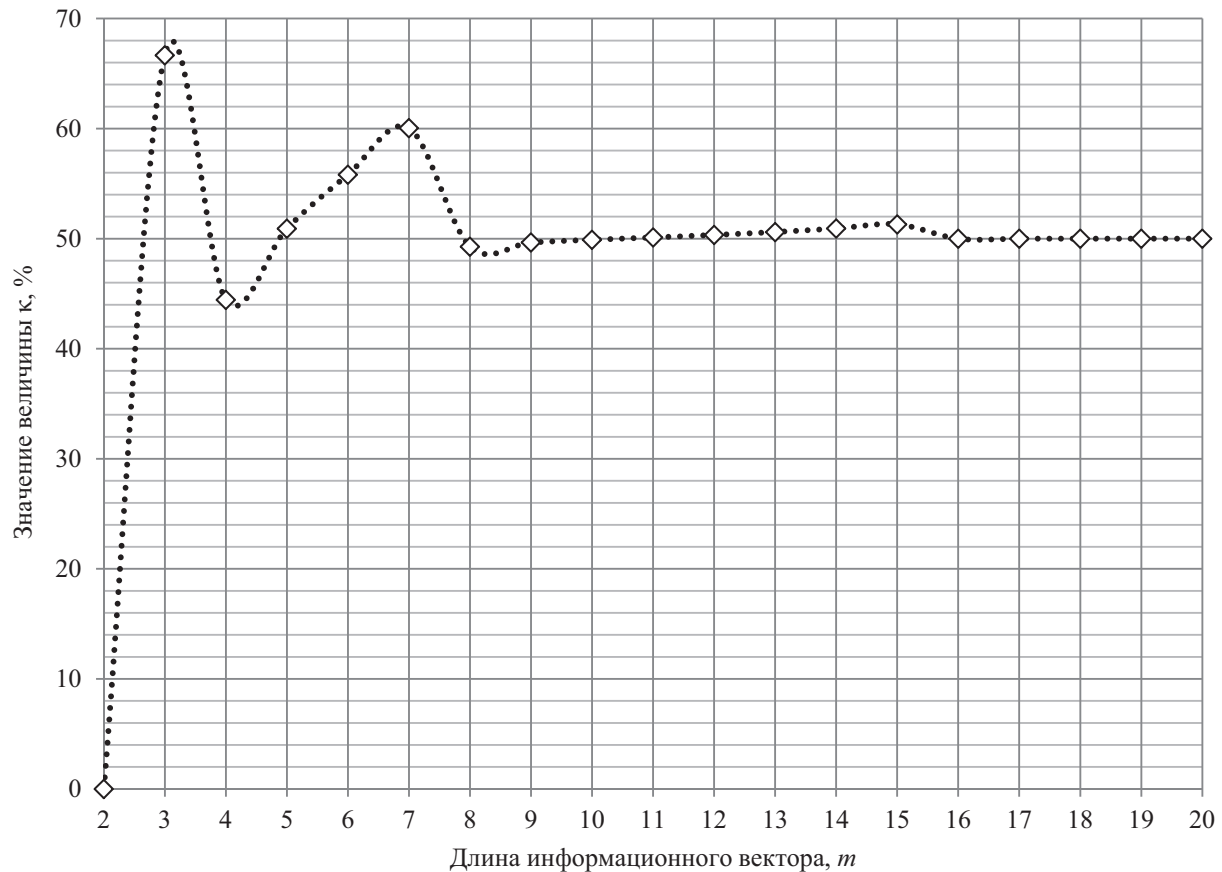


Рис. 3. Зависимость величины  $k$  от  $m$

К сожалению, формула (7) не дает возможности анализа необнаруживаемых ошибок в информационных векторах по их видам и не позволяет классифицировать их на монотонные, симметричные и асимметричные ошибки [43].

С целью более детального анализа характеристик  $RS(m,k)$ -кодов в ходе исследований был разработан специализированный программный модуль подсчета необнаруживаемых ошибок по видам и кратностям для модифицированных кодов Бергера, что позволило подтвердить установленные ранее результаты и сформулировать новые свойства, учет которых полезен при решении задач технической диагностики.

В [41], где представлен анализ характеристик обнаружения ошибок  $RS(m,k)$ -кодами только с позиции их кратности, утверждается, что при использовании всех  $2^m$  информационных векторов свойства кода не зависят от того, какие именно информационные разряды были использованы при вычислении поправочного коэффициента  $\alpha$ , а определяются только их количеством, причем  $(m,k)$ -коды с  $q$  и  $m - q$  информационными разрядами в  $\alpha$  характеризуются одинаковыми свойствами обнаружения ошибок. В ходе исследований для  $RS(m,k)$ -кодов с различной длиной информационных векторов был проведен подробный анализ характеристик обнаружения ошибок в информационных векторах и были получены специальные характеристические

таблицы. Примеры таких таблиц для модифицированных кодов Бергера с длиной информационного вектора  $m = 10$  приведены ниже (табл. 7–11).

В этих таблицах представлены абсолютные и относительные характеристики модифицированных кодов Бергера (для кодов в обозначение в виде третьей цифры в скобках введено количество информационных разрядов в поправочном коэффициенте  $\alpha$ ). Следует отметить, что все характеристические таблицы при различных длинах информационных векторов позволяют выявить следующие общие свойства модифицированных кодов Бергера:

1.  $RS(m,k)$ -коды обнаруживают любые ошибки с нечетными кратностями.

2.  $RS(m,k)$ -коды не обнаруживают примерно половину возможных симметричных ошибок в информационных векторах, имея в классе необнаруживаемых симметричные ошибки с любыми четными кратностями.

3.  $RS(m,k)$ -коды обнаруживают монотонные ошибки любых кратностей за исключением некоторых монотонных ошибок с кратностями  $d = M$ .

4. Наибольший вклад во множество необнаруживаемых  $RS(m,k)$ -кодами ошибок вносят ошибки с кратностями  $d < M$ , каждая из которых относится к виду симметричных ошибок.

5.  $RS(m,k)$ -коды обнаруживают асимметричные ошибки любых кратностей  $d \leq M$  и не обнаруживают часть асимметричных ошибок с кратностями

$$d = M + 2j, \quad j = 1, 2, \dots, q, \quad q \leq \left\lfloor \frac{m - M}{2} \right\rfloor.$$

Детально анализируя свойства  $RS(m,k)$ -кодов, можно сделать вывод о том, что данные коды имеют приемлемые характеристики для использования их в задачах технической диагностики: ими обнаруживаются любые монотонные ошибки кратностью  $d < M$  и асимметричные ошибки кратностью  $d < M + 2$ . Другими словами, данные коды относятся к типам  $M$ -UEDC( $m,k$ )-кодов\* и  $(M+2)$ -AEDC( $m,k$ )-кодов\*\*.

## Заключение

Классические коды с суммированием обнаруживают 100% монотонных ошибок в информационных векторах, однако при этом они имеют сравнительно большое количество необнаруживаемых ошибок. Для уменьшения их числа требуется модификация кода, например, по алгоритму 1. В работе приводится вывод формулы расчета количества необнаруживаемых ошибок в информационных векторах модифицированных кодов Бергера. Данная формула

\* UEDC – unidirectional error-detecting code.

\*\* AEDC – asymmetric error-detecting code.

Таблица 7. Характеристики ошибок, не обнаруживаемых  $RS(10,4,1)$ -кодами

Необнаруживаемые ошибки кратностью $d$			Всего необнаруживаемых ошибок	Доля необнаруживаемых ошибок кратностью $d$ от количества ошибок данной кратностью данного вида			Доля от общего количества ошибок данного вида
2	4	6		8	10		
Монотонные							
0	0	0	72	0	0	0	0,06
Симметричные							
18432	48384	26880	2520	0	60	40	20
Асимметричные							
–	0	0	0	0	0	0	0
Всех видов							
18432	48384	26880	2592	0	22,5	12,5	5,63
				40			0
				Всех видов, %			9,19

Таблица 8. Характеристики ошибок, не обнаруживаемых  $RS(10,4,2)$ -кодами

Необнаруживаемые ошибки кратностью $d$			Всего необнаруживаемых ошибок	Доля необнаруживаемых ошибок кратностью $d$ от количества ошибок данной кратностью данного вида			Доля от общего количества ошибок данного вида
2	4	6		8	10		
Монотонные							
0	0	0	232	0	0	0	0,2
Симметричные							
14848	37632	31360	8120	252	64,44	64,44	50,19
Асимметричные							
–	0	0	0	20	0	0	0,01
Всех видов							
14848	37632	31360	8352	272	17,5	14,58	18,13
				32,22			26,56
				Всех видов, %			8,83

**Таблица 9.** Характеристики ошибок, не обнаруживаемых  $RS(10,4,3)$ -кодами

Необнаруживаемые ошибки кратностью $d$			Всего необнаруживаемых ошибок	Доля необнаруживаемых ошибок кратностью $d$ от количества ошибок данной кратностью данного вида			Доля от общего количества ошибок данного вида				
2	4	6		8	10						
Монотонные											
0	0	0	168	0	0	0	46,67	0	0,15		
Симметричные											
12288	37632	35840	5880	0	91640	53,33	46,67	46,67	0	49,88	
Асимметричные											
–	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0	
Всех видов											
12288	37632	35840	6048	0	91808	26,67	17,5	16,67	13,13	0	8,76

**Таблица 10.** Характеристики ошибок, не обнаруживаемых  $RS(10,4,4)$ -кодами

Необнаруживаемые ошибки кратностью $d$			Всего необнаруживаемых ошибок	Доля необнаруживаемых ошибок кратностью $d$ от количества ошибок данной кратностью данного вида			Доля от общего количества ошибок данного вида				
2	4	6		8	10						
Монотонные											
0	0	0	168	0	168	0	46,67	0	0,15		
Симметричные											
10752	40704	33920	5880	252	91508	46,67	50,48	46,67	100	49,81	
Асимметричные											
–	0	0	0	20	20	–	0	0	2,60	0,01	
Всех видов											
10752	40704	33920	6048	272	91696	23,33	18,93	15,77	13,13	26,56	8,75

Таблица 11. Характеристики ошибки, не обнаруживаемых RS(10,4,5)-кодами

Необнаруживаемые ошибки кратностью $d$		Всего обнаруживаемых ошибок			Доля необнаруживаемых ошибок кратностью $d$ от количества ошибок данного вида				Доля от общего количества ошибок данного вида		
					2	4	6	8		10	
		Моногонные				Моногонные, %					
0	0	0	200	0	200	0	0	55,56	0	0,17	
		Симметричные				Симметричные, %					
10 240	42 240	32 000	7000	0	91 480	44,44	52,38	47,62	55,56	0	49,79
		Асимметричные				Асимметричные, %					
-	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0
		Всех видов				Всех видов, %					
10 240	42 240	32 000	7200	0	91 680	22,22	19,64	14,88	15,63	0	8,75



позволяет рассчитать количество необнаруживаемых ошибок в любых вариантах построения модифицированных кодов Бергера, определенных алгоритмом 1. Это, в свою очередь, дает возможность определения свойств данных кодов по обнаружению ошибок в информационных векторах и соответственно выработать рекомендации по их применению в задачах технической диагностики.

Полученная в работе формула расчета количества необнаруживаемых модифицированными кодами Бергера ошибок в информационных векторах может быть использована и для подсчета количества необнаруживаемых ошибок в классических кодах Бергера. Тогда следует положить  $W = r$ ,  $t = m$ ,  $r_1 = r_2 = r$ :

$$N = \sum_{r=0}^{2^k-1} N_r = \sum_{r=0}^{2^k-1} C_m^r (C_m^r - 1). \quad (9)$$

Формула (9), например, приведена в работе [44].

Следует также отметить, что формула (7), выведенная в данной работе, может быть применена и для подсчета общего количества необнаруживаемых ошибок в модульно модифицированных кодах с суммированием единичных разрядов при  $M \in \{2; 4; \dots; 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil - 2}\}$  [44, 45].

Более детальный анализ на основе разделения ошибок на различные виды позволяет установить для модифицированных кодов с суммированием критерии применимости при решении задач технической диагностики – например, возможности применения  $RS(m, k)$ -кодов для контроля логических схем с монотонно независимыми выходами [27–32].

Результаты работы расширяют теорию функционального контроля логических схем автоматики и вычислительной техники по кодам с суммированием единичных информационных разрядов.

## Библиографический список

1. Сапожников Вал. В. Основы технической диагностики / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – М. : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2004. – 316 с.
2. Системы управления движением поездов на перегонах. Ч. 1 : Функциональные схемы систем / В. М. Лисенков, П. Ф. Бестемьянов, В. Б. Леушин, В. А. Лисенков, А. Е. Ваньшин ; под ред. В. М. Лисенкова. – М. : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. – 160 с.
3. Шаманов В. И. Электромагнитная совместимость систем железнодорожной автоматики и телемеханики / В. И. Шаманов. – М. : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. – 244 с.

4. Кравцов Ю. А. Перспективные способы кодирования рельсовых цепей тональной частоты / Ю. А. Кравцов, Е. В. Архипов, М. Е. Бакин // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 2. – С. 119–126.
5. Сапожников Вал. В. Способ построения кода с суммированием с улучшенными показателями обнаружения ошибок в информационных векторах / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, В. В. Дмитриев, М. Р. Черепанова // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2. – № 1. – С. 95–123.
6. Pradhan D. K. Fault-tolerant computer system design / D. K. Pradhan. – N.Y : Prentice Hall, 1996. – 560 p.
7. Abramovici M. Digital system testing and testable design / M. Abramovici, M. A. Breuer, A. D. Friedman. – Computer science press, 1998. – 652 p.
8. Пархоменко П. П. Основы технической диагностики (оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратурные средства) / П. П. Пархоменко, Е. С. Согомоян. – М. : Энергоатомиздат, 1981. – 320 с.
9. Сапожников Вал. В. Самопроверяемые дискретные устройства / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 224 с.
10. Piestrak S. J. Design of self-testing checkers for unidirectional error detecting codes / S. J. Piestrak. – Wrocław : Oficyna wydawnicza politechniki wrocławskiej, 1995. – 111 p.
11. Touba N. A. Logic synthesis of multilevel circuits with concurrent error detection / N. A. Touba, E. J. McCluskey // IEEE transactions on computer-aided design of integrated circuits and systems. – 1997. – Vol. 16, Jul. 1997. – Pp. 783–789.
12. Nicolaidis M. On-line testing for VLSI – a compendium of approaches / M. Nicolaidis, Y. Zorian // Journal of electronic testing : Theory and applications. – 1998. – Issue 12. – Pp. 7–20.
13. Mitra S. Which concurrent error detection scheme to choose? / S. Mitra, E. J. McCluskey // Proceedings of International test conference, 2000, USA, Atlantic City, NJ, 03–05 October 2000. – Pp. 985–994.
14. Matrosova A. Survivable self-checking sequential circuits / A. Matrosova, I. Levin, S. Ostanin // Proceedings of 2001 IEEE International symposium on defect and fault tolerance in VLSI systems (DFT 2001), Oct. 24–26, San Francisco, CA, 2001. – Pp. 395–402.
15. Fujiwara E. Code design for dependable systems : Theory and practical applications / E. Fujiwara. – John Wiley & Sons, 2006. – 720 p.
16. Согомоян Е. С. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы / Е. С. Согомоян, Е. В. Слабаков. – М. : Радио и связь, 1989. – 208 с.
17. Сапожников Вал. В. Обнаружение опасных ошибок на рабочих выходах комбинационных логических схем / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 2. – С. 195–211.
18. Blyudov A. Properties of code with summation for logical circuit test organization / A. Blyudov, D. Efanov, Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov // Proceedings of 10th IEEE east-west design & test symposium (EWDTS'2012), Kharkov, Ukraine, September 14–17, 2012. – Pp.114–117.
19. Sapozhnikov Val. Modular sum code in building testable discrete systems / Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov, D. Efanov // Proceedings of 13th IEEE east-west de-

- sign & test symposium (EWDTS'2015), Batumi, Georgia, September 26–29, 2015. – Pp. 181–187.
20. Ефанов Д. В. Применение модульных кодов с суммированием для построения систем функционального контроля комбинационных логических схем / Д. В. Ефанов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2015. – № 10. – С. 152–169.
  21. 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.
  22. Сапожников Вал. В. Предельные свойства кода с суммированием / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2010. – № 3. – С. 290–299.
  23. Smith D. H. A new table of constant weight codes of length greater than 28 / D. H. Smith, L. A. Hughes, S. Perkins // The Electronic journal of combinatorics [electronic only]. – 2006. – Vol. 13. – Issue 1. – Page research paper A2, 18 p. – URL : <https://eudml.org/doc/130372>.
  24. Tarnik S. Design of embedded constant weight code checkers based on averaging operations / S. Tarnik // The 16th IEEE International on-line testing symposium (IOLTS), 5–7 July 2010, Corfu, Greece. – Pp. 255–260.
  25. Lala P. K. Principles of modern digital design / P. K. Lala. – New Jersey : John Wiley & Sons, 2007. – 419 p.
  26. Berger J. M. A Note on error detecting codes for asymmetric channels / J. M. Berger // Information and control. – 1961. – Vol. 4. – № 1. – Pp. 68–73.
  27. Слабаков Е. В. Самопроверяемые вычислительные устройства и системы (обзор) / Е. В. Слабаков, Е. С. Согомоян // Автоматика и телемеханика. – 1981. – № 11. – С. 147–167.
  28. Busaba F. Y. Self-checking combinational circuit design for single and unidirectional multibit errors / F. Y. Busaba, P. K. Lala // Journal of electronic testing : Theory and applications. – 1994. – Issue 5. – Pp. 19–28.
  29. Гессель М. Исследование комбинационных самопроверяемых устройств с независимыми и монотонно независимыми выходами / М. Гессель, А. А. Морозов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 1997. – № 2. – С. 180–193.
  30. Saposhnikov Val. V. A new design method for self-checking unidirectional combinational circuits / Val. V. Saposhnikov, A. Morosov, Vl. V. Saposhnikov, M. Göessel // Journal of electronic testing: Theory and applications. – 1998. – Vol. 12. – Issue 1–2. – Pp. 41–53.
  31. Morosow A. Self-checking combinational circuits with unidirectionally independent outputs / A. Morosow, Val. V. Saposhnikov, Vl. V. Saposhnikov, M. Goessel // VLSI Design. – 1998. – Vol. 5. – Issue 4. – Pp. 333–345.
  32. Сапожников Вал. В. Метод построения комбинационных самопроверяемых устройств с обнаружением всех одиночных неисправностей / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, М. Гёссель, А. А. Морозов // Электронное моделирование. – 1998. – Т. 20. – № 6. – С. 70–80.

33. Dong H. Modified berger codes for detection of unidirectional errors / H. Dong // IEEE trans. comput., vol. C-33, June 1984. – Pp. 572–575.
34. Jha N. K. A Systematic code for detecting t-unidirectional errors / N. K. Jha, M. B. Vora // Proceedings of International symposium fault-tolerant comput., Pittsburg, PA, Jun. 1987. – Pp. 96–101.
35. Das D. Weight-based codes and their application to concurrent error detection of multilevel circuits / D. Das, N. A. Touba // Proceedings of 17th IEEE test symposium, USA, California, 1999. – Pp. 370–376.
36. Das D. Low cost concurrent error detection based on modulo weight-based codes / D. Das, N. A. Touba, M. Seuring, M. Gossel // Proceedings of IEEE 6th International on-line testing workshop (IOLTW), Spain, Palma de Mallorca, July 3–5, 2000. – Pp. 171–176.
37. 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.
38. Сапожников Вал. В. Экспериментальные исследования двоичных кодов с суммированием / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, А. А. Блюдов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2011. – № 2. – С. 145–152.
39. Блюдов А. А. Модифицированный код с суммированием для организации контроля комбинационных схем / А. А. Блюдов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2012. – № 1. – С. 169–177.
40. Блюдов А. А. Коды с суммированием для организации контроля комбинационных схем / А. А. Блюдов, Д. В. Ефанов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2013. – № 6. – С. 153–164.
41. 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.
42. 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.
43. Сапожников Вал. В. Классификация ошибок в информационных векторах систематических кодов / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Известия вузов. Приборостроение. – 2015. – Т. 58. – № 5. – С. 333–343.
44. 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.
45. Efanov D. On the problem of selection of code with summation for combinational circuit test organization / D. Efanov, Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov, A. Blyudov // Proceedings of 11th IEEE east-west design & test symposium (EWDTS'2013), Rostov-on-Don, Russia, September 27–30, 2013. – Pp. 261–266.

*Dmitry V. Efanov,*  
«Automation and remote control on railways» department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university

### **The peculiarities of error detection in data vectors of modified Berger codes**

Summation codes or Berger codes are often applied in the tasks of technical diagnostics. However, the codes in question detect quite a few errors in data vectors, and a relatively high redundancy is injected in a unit under test or check-out equipment. In order to improve the properties of error detection in data vectors of summation codes, the modification of rules for determination of values of check vectors' bits was applied. Modified Berger codes, the building rules of which were described in the given study, detect twice as more errors in data vectors, compared to classical Berger codes. The development of a formula for calculating the number of undetected errors in data vectors of modified Berger codes was originally given in the article, which makes it possible to validate some properties of modified Berger codes of error detection in data vectors.

technical diagnostics; Berger code; modified Berger code; undetected error; data vector; formula for calculating the amount of undetected errors.

#### **References**

1. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V. (2004). Basics of technical diagnostics [Osnovy tekhnicheskoy diagnostiki]. Moscow, FSBEI «Study and methodical railway transport education center» [UMC ZHDT]. – 316 p.
2. Vanshyn A. E., Lisenkov V. M., Bestem'yanov P. F., Leushin V. B. (2009). Control systems of traffic trains on block lines. – Part 1: Functional schemas of systems [Sistemy upravleniya dvizheniem poezdov na peregonah. – CHast' 1: Funkcional'nye skhemy sistem], ed. V. M. Lisenkov, Moscow, FSBEI «Study and methodical railway transport education center» [GOU «Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte»]. – 160 p.
3. Shamanov V. I. (2013). Electromagnetic compatibility of railway automation and remote control systems [Ehlektromagnitnaya sovmestimost' sistem zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki]. Moscow, FSBEI «Study and methodical railway transport education center» [UMC ZHDT]. – 244 p.
4. Kravcov Yu. A., Arhipov E. V., Bakin M. E. (2015). Advanced methods of voice-frequency track circuits coding [Perspektivnye sposoby kodirovaniya rel'sovyh cepej tonal'noj chastoty], Automation on Transport [Avtomatika na transporte], vol. 1, issue 2. – Pp. 119–126.
5. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V., Efanov D. V., Dmitriev V. V., Cherepanova M. R. (2016). Method of formation of sum code with improved efficiency of error detection in data vectors [Sposob postroeniya koda s summirovaniem s uluchshen-

- nymi pokazatelyami obnaruzheniya oshibok v informacionnyh vektorah], *Automation on transport* [Avtomatika na transporte], vol. 2, issue 1. – Pp. 95–123.
6. Pradhan D. K. (1996). *Fault-tolerant computer system design*. New York, Prentice hall. – 560 p.
  7. Abramovici M., Breuer M. A., Friedman A. D. (1998). *Digital system testing and testable design*. – Computer science press. – 652 p.
  8. Parhomenko P. P., Sogomonyan E. S. (1981). *Basics of technical diagnostics (optimization of diagnostic algorithms and equipment)* [Osnovy tekhnicheskoy diagnostiki (optimizaciya algoritmov diagnostirovaniya, apparaturnye sredstva)]. Moscow, Energoatomizdat [Ehnergoatomizdat]. – 320 p.
  9. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V. (1992). *Self-checking discrete devices* [Samoproveryaemye diskretnye ustrojstva]. St. Petersburg, Energoatomizdat [Ehnergoatomizdat]. – 224 p.
  10. Piestrak S. J. (1995). *Design of self-testing checkers for unidirectional error detecting codes*. Wrocław, Oficyna wydawnicza politechniki wrocławskiej. – 111 p.
  11. Toubia N. A., McCluskey E. J. (1997). *Logic synthesis of multilevel circuits with concurrent error detection*, *IEEE transactions on computer-aided design of integrated circuits and systems*, vol. 16, Jul. 1997. – Pp. 783–789.
  12. Nicolaidis M., Zorian Y. (1998). *On-line testing for VLSI – a compendium of approaches*, *journal of electronic testing, theory and applications*, issue 12. – Pp. 7–20.
  13. Mitra S., McCluskey E. J. (2000). *Which concurrent error detection scheme to choose?* *Proceedings of International test conference, 2000, USA, Atlantic City, NJ, 03–05 October 2000*. – Pp. 985–994.
  14. Matrosova A., Levin I., Ostanin S. (2001). *Survivable self-checking sequential circuits*, *Proceedings of 2001 IEEE International symposium on defect and fault tolerance in VLSI systems (DFT 2001)*, Oct. 24–26, San Francisco, CA, 2001. – Pp. 395–402.
  15. Fujiwara E. (2006). *Code design for dependable systems, theory and practical applications*. John Wiley & Sons. – 720 p.
  16. Sogomonyan E. S., Slabakov E. V. (1989). *Self-checking devices and fault-tolerant systems* [Samoproveryaemye ustrojstva i otkazoustojchivye sistemy]. Moscow, Radio & Communication [Radio i svyaz'], 208 p.
  17. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V., Efanov D. V. (2015). *Detection of hazardous errors at the operative outputs of combinational logic circuits* [Obnaruzhenie opasnyh oshibok na rabochih vyhodah kombinacionnyh logicheskikh skhem], *Automation on Transport* [Avtomatika na transporte], vol. 1, issue 2. – Pp. 195–211.
  18. Blyudov A., Efanov D., Sapozhnikov Val., Sapozhnikov Vl. (2012). *Properties of code with summation for logical circuit test organization*, *Proceedings of 10th IEEE east-west design & test symposium (EWDTS'2012)*, Kharkov, Ukraine, September 14–17. – Pp. 114–117.
  19. Sapozhnikov Val., Sapozhnikov Vl., Efanov D. (2015). *Modular sum code in building testable discrete systems*, *Proceedings of 13th IEEE east-west design & test symposium (EWDTS'2015)*, Batumi, Georgia, September 26–29. – Pp. 181–187.
  20. Efanov D. V., Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V. (2015). *Applications of modular summation codes to concurrent error detection systems for combinational boolean*

- circuits [Primenenie modul'nyh kodov s summirovaniem dlya postroeniya sistem funktsional'nogo kontrolya kombinatsionnyh logicheskikh skhem], Automation and Remote Control [Avtomatika i telemekhanika], issue 10. – Pp. 152–169.
21. Efanov D. V., Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V. (2010). On summation code properties in functional control circuits [O svoystvakh koda s summirovaniem v skhemah funktsional'nogo kontrolya], Automation and remote control [Avtomatika i telemekhanika], issue 6. – Pp. 155–162.
  22. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V., Efanov D. V. (2010). Berger code limit properties [Predel'nye svoystva koda s summirovaniem], Proceedings of Petersburg transport university [Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya], issue 3. – Pp. 290–299.
  23. Smith D. H., Hughes L. A., Perkins S. (2006). A new table of constant weight codes of length greater than 28, the electronic journal of combinatorics [electronic only], vol. 13, issue 1. – Page Research paper A2, 18 p. URL: <https://eudml.org/doc/130372>.
  24. Tarnik S. (2010). Design of embedded constant weight code checkers based on averaging operations, The 16th IEEE International on-line testing symposium (IOLTS), 5–7 July 2010, Corfu, Greece. – Pp. 255–260.
  25. Lala P. K. (2007). Principles of modern digital design. – New Jersey, John Wiley & Sons. – 419 p.
  26. Berger J. M. (1961). A note on error detecting codes for asymmetric channels, information and control, vol. 4, issue 1. – Pp. 68–73.
  27. Slabakov E. V., Sogomonyan E. S. (1981). Self-checking digital devices and systems (review) [Samoproveryaemye vychislitel'nye ustrojstva i sistemy (obzor)], Automation and Remote Control [Avtomatika i telemekhanika], issue 11. – Pp. 147–167.
  28. Busaba F. Y., Lala P. K. (1994). Self-checking combinational circuit design for single and unidirectional multibit errors, journal of electronic testing: theory and applications, issue 5. – Pp. 19–28.
  29. Gessel' M., Morozov A. A., Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V. (1997). Investigation of combination self-testing devices having independent and unidirectional independent outputs [Issledovanie kombinatsionnyh samoproveryaemykh ustrojstv s nezavisimymi i monotonno nezavisimymi vyhodami], Automation and remote control [Avtomatika i telemekhanika], issue 2. – Pp. 180–193.
  30. Saposhnikov Val. V., Morosov A., Saposhnikov Vl. V., Göessel M. (1998). A new design method for self-checking unidirectional combinational circuits, Journal of electronic testing: theory and applications, vol. 12, issue 1–2. – Pp. 41–53.
  31. Morosow A., Saposhnikov Val. V., Saposhnikov Vl. V., Goessel M. (1998). Self-checking combinational circuits with unidirectionally independent outputs, VLSI Design, vol. 5, issue 4. – Pp. 333–345.
  32. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V., Gyossel' M., Morozov A. A. (1998). A method for synthesis of combinational self-checking devices with detection all stuck-at faults [Metod postroeniya kombinatsionnyh samoproveryaemykh ustrojstv s obnaruzheniem vsekh odinochnykh neispravnostej], Electronic Modeling [Ehlektronnoe modelirovanie], vol. 20, issue 6. – Pp. 70–80.
  33. Dong H. (1984). Modified berger codes for detection of unidirectional errors, IEEE trans. comput., vol. C-33, June 1984. – Pp. 572–575.

34. Jha N. K., Vora M. B. (1987). A systematic code for detecting t-unidirectional errors, Proceedings of international symposium fault-tolerant comput., Pittsburg, PA, Jun. 1987. – Pp. 96–101.
35. Das D., Touba N. A. (1999). Weight-based codes and their application to concurrent error detection of multilevel circuits, Proc. 17th IEEE test symposium, USA, California. – Pp. 370–376.
36. Das D., Touba N. A., Seuring M., Gossel M. (2000). Low cost concurrent error detection based on modulo weight-based codes, Proceedings of IEEE 6th International on-line testing workshop (IOLTW), Spain, Palma de Mallorca, July 3–5, 2000. – Pp. 171–176.
37. Mekhov V. B., Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V. (2008). Checking of combinational circuits basing on modification sum codes [Kontrol' kombinacionnyh skhem na osnove modifitsirovannyh kodov s summirovaniem], Automation and Remote Control [Avtomatika i telemekhanika], issue 8. – Pp. 153–165.
38. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V., Blyudov A. A. (2011). Experimental research of summation binary codes [Ehksperimental'nye issledovaniya dvoichnyh kodov s summirovaniem], Proceedings of Petersburg transport university [Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya], issue 2. – Pp. 145–152.
39. Blyudov A. A., Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V. (2012). A modified summation code for organizing control of combinatorial circuits [Modifitsirovannyj kod s summirovaniem dlya organizacii kontrolya kombinacionnyh skhem], Automation and remote control [Avtomatika i telemekhanika], issue 1. – Pp. 169–177.
40. Blyudov A. A., Efanov D. V., Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V. (2013). Summation codes for organization of control of combinational circuits [Kody s summirovaniem dlya organizacii kontrolya kombinacionnyh skhem], Automation and remote control [Avtomatika i telemekhanika], issue 6. – Pp. 153–164.
41. Blyudov A. A., Efanov D. V., Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V. (2012). Formation Berger modified code with minimum total number of undetectable errors in data bits [Postroenie modifitsirovannogo koda Bergera s minimal'nym chislom neobnaruzhivaemyh oshibok informacionnyh razryadov], Electronic modeling [Elektronnoe modelirovanie], vol. 34, issue 6. – Pp. 17–29.
42. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V., Efanov D. V. (2015). Application of sum codes for synthesis of railway automation and remote control at programmable logic integrated circuits [Primenenie kodov s summirovaniem pri sinteze sistem zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki na programmiruemyh logicheskikh integral'nyh skhemah], Automation on transport [Avtomatika na transporte], vol. 1, issue 1. – Pp. 84–107.
43. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V., Efanov D. V. (2015). Errors classification in information vectors of systematic codes [Klassifikaciya oshibok v informacionnyh vektorah sistemicheskikh kodov], Journal of instrument engineering [Izvestiya vuzov. Priborostroenie], vol. 58, issue 5. – Pp. 333–343.
44. Blyudov A. A., Efanov D. V., Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V. (2014). On codes with summation of data bits in concurrent error detection systems [O kodah s summirovaniem edinichnyh razryadov v sistemah funkcional'nogo kon-



- trolya], Automation and remote control [Avtomatika i telemekhanika], issue 8. – Pp. 131–145.
45. Efanov D., Sapozhnikov Val., Sapozhnikov Vl., Blyudov A. (2013). On the problem of selection of code with summation for combinational circuit test organization, Proceedings of 11th IEEE east-west design & test symposium (EWDTS`2013), Rostov-on-Don, Russia, September 27–30, 2013. – Pp. 261–266.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Р. Убаром  
Поступила в редакцию 09.09.2016, принята к публикации 22.02.2017*

*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

© Ефанов Д. В., 2017

## *Из истории автоматике*

УДК 656.25

**Н.В. Лупал, канд. техн. наук**

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»,  
Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта

### **РАЗВИТИЕ УСТРОЙСТВ СЦБ В ПЕРИОД ИМПЕРИАЛИЗМА (1906–1917 гг.). ЧАСТЬ 3: МЕХАНИЧЕСКАЯ ЦЕНТРАЛИЗАЦИЯ СТРЕЛОК И СИГНАЛОВ**

Данная работа содержит материалы третьего раздела неизданной монографии первого заведующего кафедрой «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта Николая Васильевича Лупала «Развитие устройств сигнализации, централизации и блокировки на железных дорогах России». Затрагиваются проблемы обеспечения безопасности движения поездов на станциях, оборудованных механической централизацией.

безопасность движения; железнодорожные станции; ручные стрелки; централизация стрелок и сигналов; замыкатель

#### **1 Устройства для обеспечения безопасности движения поездов на станциях с ручными стрелками**

Устройства подобного рода применялись либо в виде комплекта указателей положения стрелок и сигналов, либо в виде ключевой станционной блокировки.

К устройствам первого вида принадлежала, например, система «фоноиндикаторов» начальника службы телеграфа Полесских железных дорог Ф. Ф. Фидлера. При этой системе у дежурного по станции устанавливалось табло с переставными стрелочными и семафорными повторителями (индикатор), а также звонки. Семафоры имели крыловые контакты, на стрелках устанавливались контрольные контакты. Стрелочный контакт состоял из чугунной коробки, внутри которой помещался подвижный поршень, связанный со стрелочной тягой посредством стального штока. Пружина служила для образования контакта с винтами при крайних положениях стрелки. Пружина

способствовала контакту с заземленным корпусом прибора. Дежурный связывался со стрелочными постами по телефону, причем иногда эта связь осуществлялась по семафорному проводу. При неплотном прижатии остряка звонили звонки у дежурного по станции и у стрелочника.

Система Фидлера применялась на Полесской железной дороге с 1903 г. На этой дороге было оборудовано свыше 20 малых станций, контролировалось по 2 стрелки с каждого конца станции, а на части станций – по одной входной стрелке на каждом конце станции.

Системы ключевой зависимости, которых было предложено довольно много, применялись также, главным образом, на промежуточных малых станциях. При этих системах стрелки, переводимые вручную, снабжались двумя контрольными замками с ключами. Один замок служил для запираания стрелки в нормальном, плюсовом, другой – в переведенном, минусовом, положении. Это запираание осуществлялось лишь при плотном прижатии замыкаемого остряка к рамному рельсу. Конструкция замков допускала извлечение ключа из замка лишь при запертом его состоянии. Подобные же замки служили для запираания семафорных рычагов.

На русских железных дорогах был распространен стрелочный замок с двумя языками (ригельями) и двумя ключами разного типа. Стрелка могла переводиться лишь при условии, что оба замка отперты, а следовательно, ключи ущемлены в них. По номеру доставленного стрелочником ключа дежурному по станции последний убеждался, в каком положении заперта данная стрелка. Во избежание ошибок ключи от стрелочных и семафорных замков блокировались тем или иным способом.

В системе инженера А. П. Руднева, начальника службы телеграфа Рязано-Уральской железной дороги, применялись электрические замыкания. Ключи от стрелочных замков после установки и запираания стрелок приносились на стрелочный пост и вставлялись в соответствующие замки аппарата, установленного на посту. При повороте ключа последний ущемлялся и, кроме того, производил замыкание на контакте электрической цепи, в которую был включен маршрутный указатель у дежурного по станции. Стрелка этого указателя замыкала контакт в цепи электросцепляющего механизма семафора, который окончательно включался при повороте дежурным по станции сигнальной рукояткой. При неправильном положении стрелки цепь сцепляющего механизма оставалась разомкнутой. Для освобождения ущемленных в аппарате стрелочного поста стрелочных ключей дежурный по станции посылал от индуктора переменный ток в электромагниты постового аппарата. Свою систему Руднев не захотел патентовать по принципиальным соображениям.

Устройства работали успешно на Рязано-Уральской дороге с 1904 г. и были допущены Центральным управлением железных дорог к применению при условии, что число стрелок на один пост не более трех, а густота движения не превышает 10 пар.

Ключевая зависимость системы инженера В. С. Мелентьева была основана на механической связи между ключами. В. С. Мелентьевым были изобретены замки, отличающиеся от других замков: а) отсутствием каких-либо пружин, б) возможностью весьма просто изменять тип замка. Замки системы Мелентьева широко применяются на наших железных дорогах в настоящее время и хорошо известны. В 1912 г. они были установлены на немецких железных дорогах в количестве около 700 штук.

При системе Мелентьева каждый стрелочный замок имел дублера в аппарате поста и оба эти замка имели один общий ключ. Стрелочные замки в аппарате нормально запирают маршрутную линейку. Это исключает возможность запираения семафорных аппаратных замков, а следовательно, и извлечение из них ключей. Семафорным замкам аппарата соответствуют имеющие с ним общие ключи замки на семафорных рычагах.

По установке и запираии стрелок ключи от стрелочных замков на стрелках могут быть извлечены, принесены на пост, вложены в аппарат и повернуты для отпираия линейки.

При запираии семафорного замка в аппарате линейка сдвигается и препятствует запираию стрелочных аппаратных замков, а семафорный ключ может быть извлечен для отпираия замка семафорного рычага.

Для осуществления зависимости установки маршрута от распоряжения дежурного по станции в аппарате стрелочного поста устанавливается линейка, связанная с другой линейкой так, что передвижение последней зависит от передвижения первой, которая нормально заперта защелками. Для отпираия линейек необходимо послать со станции ток в один из электромагнитов для разрешения установки одного или другого маршрута.

Станционный аппарат содержал один блок-механизм постоянного тока и маршрутную рукоятку на несколько положений. При задании маршрута рукоятка ставилась в соответствующее положение и зажималась блок-клавиша (блок-контакт, по терминологии автора), отчего запиралась рукоятка.

В постовом аппарате показывался белый щиток с номером маршрута, звонил звонок и возбуждался защелочный электромагнит. Стрелочник получал возможность установки маршрута и открытия семафора. По приеме поезда и закрытии семафора дежурный опять нажимал блок-клавишу, благодаря чему вновь посылался ток в электромагнит защелки, после чего на посту можно было вернуть линейки в нормальное положение, повернув семафорный ключ. На станции тем временем отблокировался блок и освобождал рукоятку.

В таком виде ключевая блокировка была установлена в 1909 г. на станции Павловск Московско-Виндаво-Рыбинской железной дороги, она проработала свыше 15 лет.

Мелентьев выступал с докладом о своей системе на XXVII съезде инженеров службы пути в 1909 г., причем съезд рекомендовал широко поставить опыты с этой системой.

Подобная же система с заданием маршрута по телефону была предложена Василевским, но применения не получила.

При ключевых зависимостях системы инженера П. П. Дмитренко связь между стрелочными и семафорными рычагами осуществлялась при помощи ящиков замыкания. Система применялась на Либаво-Роменской, Московско-Казанской и Сибирской железной дорогах.

В постовых аппаратах ниже ящика замыканий устанавливались стрелочные и семафорные замки, иногда вместо семафорных замков ставились непосредственно рычаги. Замки системы Дмитриенко двойные и применялись на многих русских дорогах. Иногда эти замки устраивались взрезными, причем при взрезе в замке размыкалась электрическая контрольная цепь. Связь между станционным распорядительным и постовым аппаратом могла осуществляться по любому виду станционной блокировки, с заданием маршрута по блоку, или по телефону, или с применением индикаторов маршрутов. Система Дмитриенко подробно описана в нашей специальной литературе.

Стрелочные контрольные замки применялись у других русских изобретателей, например, В. Федотова, Петухова и др.

Для запираения ручных стрелок предлагались различного рода другие устройства, кроме контрольных ключевых замков. Сюда относятся приводные замки (шкивы-замкатель), замкатель различных конструкций и, наконец, приспособления для замыкания стрелок с поезда.

П. А. Гиммельрейх предложил замкатель, отпираемый электрическим током, а замыкающийся автоматически. Работник Самаро-Златоустовской дороги Тахеев предложил стрелочный замкатель с электрическим контролем. Неоднократно предлагались устройства для перевода или замыкания стрелок с поезда (И. Мартынов, Ф. Новоженев и др.). По предложению Ф. Новоженева, пошерстные по движению поезда стрелки могли переводиться посредством механического устройства на паровозе и возвращались в нормальное положение подобным же устройством на последнем вагоне.

Техник И. Желязко предложил устанавливать у стрелок электромагнитные замки, запирающие стрелки при наезде поезда на педаль перед входным семафором. Одновременно должна была замыкаться цепь электроколокола. Отмыкание стрелок могло происходить либо автоматически от прохода поезда по другой педали, либо стрелочником посредством специальных ключей.

## 2 Централизация стрелок и сигналов

В начале 1900-х гг. появилась еще одна система механической централизации стрелок и сигналов русского изобретателя П. Запольского-Довнара. В предложенной им системе вместо ящика механических замкателей применялся для замыкания стрелочных и семафорных рычагов маршрутный вал.

Этот вал имел специальную рукоятку для установки на тот или иной маршрут и для перемещения его поступательно. Поворот вала на данный маршрут был возможен только при правильной установке стрелочных рычагов. Последующее поступательное перемещение вала на данный маршрут было возможно только при правильно установке стрелочных рычагов и освобождении семафорного рычага. Маршрутный вал мог блокироваться дежурным по станции. Передача от рычагов к стрелочным приводам с замыкателями могла быть выполнена как жесткими трубчатыми тягами, так и гибкими проволочными.

Система Запольского-Довнара допускала два способа станционной блокировки. Первый заключался в механической блокировке с электрической сигнализацией. Задание маршрута осуществлялось посылкой тока в индикатор поста. По установке постом маршрута нажатием кнопки посылался ток в индикатор станции, указывая, что заданный маршрут выполнен. Рычаг у дежурного по станции связывался двойной проволочной передачей с аппаратом исполнительного поста, при переводе дежурным рычага на посту замыкался маршрутный вал в соответственном положении и деблокировался семафорный рычаг.

Второй способ электрической блокировки также был предвестником задания маршрута по индикатору. На посту устраивалась зависимость между кнопками задания маршрута и сигнальной, вследствие чего являлось возможным обойтись на станции всего лишь одним блок-механизмом для группы маршрутов и семафоров.

Приборы централизации системы П. Запольского-Довнара изготовлялись Путиловским заводом. Имелась установка его системы на ст. Гатчина Балтийской железной дороги, произведенная в 1920 г. Управление Балтийской дороги дало через год удовлетворительный отзыв о работе установки, но заключение технического отдела управления железных дорог министерства было неблагоприятным. Централизация Запольского-Довнара на ст. Гатчина простояла до 1920-х гг. и за это время изнашивалась довольно значительно. Надо отметить большую сложность конструкций приборов этой системы.

В значительном количестве применялись и другие русские системы централизации, например, система Д. С. Зенеца на Северо-Западной и Риго-Орловской железных дорогах (1914–1916 гг.).

Продолжали развиваться системы механической централизации Вурцеля и Гордеенко. В обеих системах начали применяться гибкая передача для управления стрелками и станционная электрическая блокировка переменного тока.

Для своей системы станционной блокировки Л. Д. Вурцель предложил автоматический блок-механизм оригинальной конструкции, блокируемый механически и разблокируемый переменным током.

При станционной блокировке системы Вурцеля маршрут задавался на исполнительные посты по телефону, причем дежурный по станции должен был

установить в своем аппарате в надлежащее положение маршрутную рукоятку, которая при этом повороте автоматически блокировалась. Посты устанавливали стрелки и запирали стрелочные рычаги поворотом своих маршрутных рукояток, которые при этом также автоматически блокировались и замыкали контакты в цепи сигнальных блоков. При условии, что положение всех маршрутных приборов, как на постах, так и у дежурного по станции, совпадают, цепь сигнальных блоков оказывалась замкнутой. Посылкой из аппарата дежурного по станции переменного тока можно было разблокировать сигнальный блок на посту, запирающий соответственный рычаг семафора. По проследовании поезда по маршруту и закрытии семафора дежурный по станции посылкой тока по специальному блокировочному проводу разблокировал маршрутные блоки на постах и тем позволял произвести разделку маршрута.

К 1903 г. централизионные установки системы Л. Д. Вурцеля имелись на четырех железных дорогах с общим количеством централизованных стрелок 272, расположенных на девяти станциях. На ст. Брянск в централизацию было включено 87 стрелок. Отзывы железных дорог о централизации системы Вурцеля были положительные.

В 1900 г. старший инспектор при министре путей сообщения Кетриц докладывал министру, что, обследуя ряд железнодорожных станций, он познакомился с установками централизации стрелок и сигналов по системе инж. Вурцеля. Последняя система на Привислинских дорогах была выбрана по конкурсу, вследствие чего, удовлетворяя требованиям безопасности, стоила много дешевле иностранных.

К достоинствам системы Вурцеля Кетриц относил: а) полную связь между действиями всех постов и конторой начальника станции, б) быстроту выполнения всех манипуляций по установке маршрутов (менее минуты), в) упрощение сигнализации благодаря уменьшению числа семафоров, г) прочность устройств. Далее Кетриц указывал, что «следовало бы, казалось, ожидать быстрого и обширного распространения этой системы, как русской и весьма совершенной», однако этого не случилось и почти везде получают заказы иностранцы. Объяснял это Кетриц наличием у всех иностранных фирм комиссионеров, каковых не имели русские заводы, выпускавшие приборы Вурцеля и Гордеенко. Кетриц указывал нежелательность оказать поддержку русским системам централизации путем предпочтительного их применения. По распоряжению министра были собраны сведения об имеющихся установках централизации с жесткими тягами и качестве их работы, чем дело и ограничилось.

По данным, собранным управлением железных дорог министерства, системы централизации с жесткими тягами были распространены к 1903 г. на русской сети так, как это показано в табл. 1. Примерно к этому же времени имелось 869 стрелок гидравлической централизации на 85 станциях девяти дорог.

Таблица 1. Системы централизации с жесткими тягами

Система	Число дорог	Число станций	Число стрелок
Я. Н. Гордеенко	6	31 + малые ст.	1655
Л. Д. Вурцеля	4	9	272
Сайкса	3	18 + малые ст.	881
«Саксби–Фармер»	2	10 + малые ст.	334

В 1900-х гг. проф. Я. Н. Гордеенко разработал оригинальные конструкции централизационных приборов для гибкой (проволочной) передачи.

В сигнальном рычаге Гордеенко шкив и рукоятка рычага в нормальном положении были сцеплены. Сцепление осуществлялось посредством добавочной небольшой рукоятки, причем это сцепление могло происходить как при верхнем, так и при нижнем положении основной рукоятки рычага. Благодаря этому рычаг являлся как бы двойным и мог служить для перевода двухкрылого семафора, так как осуществлял перевод тяг в одну и другую сторону. Рычаг делал в обоих случаях поворот, близкий к  $180^\circ$ , что позволяло производить управление на большом расстоянии.

Стрелочный рычаг Гордеенко был устроен так, что в случае обрыва проволочной тяги во время перевода рычаг останавливался вследствие спуска переднего рычажка в зубчатый венец станины рычага. Это приспособление предохраняло сигналиста, переводящего рычаг, от ударов рычагом, которые могли произойти при обрыве тяги вследствие толчка.

Я. Н. Гордеенко были также разработаны конструкции семафорного привода, электросцепляющего механизма, стрелочного привода-замыкателя, гидравлической рельсовой педали, достаточно подробно описанные в нашей технической литературе. Я. Н. Гордеенко первый ввел в употребление штампованные ролики для гибких тяг. Оригинальными являются также конструкция ящика замыканий и система станционной блокировки. При последней маршрутный блок на исполнительном посту нормально разблокирован, а маршрутный блок на станции заблокирован. Маршрут задавался по телефону и одновременно поворачивалась соответствующая маршрутная рукоятка.

На посту маршрутный блок может быть заблокирован после установки стрелочных рычагов и их запираения маршрутной рукояткой, при условии, что маршрутные рукоятки как на станции, так и на посту установлены соответствующим образом. При таком способе на постах не требуется устанавливать маршрутные блоки для каждого маршрута, достаточно их установить по числу могущих быть одновременно задаваемыми на пост маршрутов.

На больших станциях с густым движением поездов применялся тип станционной блокировки, разработанный Я. Н. Гордеенко, сводивший к минимуму число операций дежурного по станции при установке маршрута.



Маршрут при этой системе задавался по телефону. Кроме того, дежурный поворачивал свою маршрутную рукоятку, на чем его операции по установке маршрута заканчивалась. Промежуточный пост № 1 по установке маршрута блокировал свой маршрутно-затворный блок. По установке маршрута постом № 2 последний блокировал свой маршрутно-затворный блок и через его нажимной контакт разблокировался сигнальный блок. По проследовании поезда и закрытии семафора пост № 2 блокировал сигнальный блок и через его нажимной контакт (посылка тока третья) на станции разблокировался затворный блок. После этого дежурный давал распоряжение о разделке маршрута заблокированием своего блока и далее, как обычно.

Ящик замыканий Гордеенко имел ряд верхних поперечных стрелочных линеек, ниже – ряд продольных маршрутно-затворных, а еще ниже располагались поперечные маршрутно-ведущие, маршрутно-блокировочные линейки. Линейки имели наклейки нескольких простых форм.

Проф. Я. Н. Гордеенко докладывал о своих системах станционной блокировки на X съезде представителей службы телеграфа, и съезд вынес следующее постановление: «Блокировка... с уменьшением количества манипуляций дежурного заслуживает полного внимания как представляющая, по сравнению со станционной блокировкой нормального типа, значительное преимущество для больших станций с густым и сложным движением».

Гидравлическая система централизации, появившаяся у нас в 1892 г., продолжала развиваться.

Одесский завод инж. Э. Г. Гарриса, являвшегося представителем итальянской фирмы «Бианки и Серветт», выпускал аппаратуру этой системы гидравлической централизации. Э. Г. Гаррисом была получена привилегия на предложенный им в 1898 г. способ электрического контроля централизованных стрелок. Применив этот способ к гидравлической централизации, Гаррис выпускал уже под своим именем электрогидравлическую централизацию. Эта система описана в нашей литературе.

В 1910-х гг. XX в. Б. Н. Акимов разработал электропневматическую централизацию. На станции предполагалось иметь резервуар, в который накачивался бы сжатый воздух маневровым паровозом. Изобретатель считал, что для создания суточного запаса сжатого воздуха на небольшой установке достаточно работы паровоза в течение 15–20 минут. Перевод стрелок и семафоров должен был осуществляться сжатым воздухом от батареи 15 В. На ст. Сосыка Владикавказской железной дороги строилась опытная установка этой системы на 6 стрелок и 5 семафоров, но осуществлению установки помешала начавшаяся война.

Первая установка электрической централизации стрелок и сигналов была произведена у нас в 1909 г. на ст. Витебск Риго-Орловской железной дороги, а следующая – в 1914 г. на ст. Петербург Московско-Виндаво-Рыбинской железной дороги. Обе эти установки были импортными. Аппарат имел от-

дельные маршрутные и отдельные сигнальные рукоятки. Сигнальные приводы были соленоидного типа.

Кроме этих установок, намечалось оборудовать электрической централизацией ряд станций: Москва Курской железной дороги, Харьков, Люблино.

Централизационные устройства были распространены на железных дорогах весьма неравномерно. Так, например, по сведениям Министерства путей сообщения, общее число централизованных стрелок на 1 января 1914 г. составляло: на Юго-Западных дорогах – 1410, на Николаевской – 1384, на Северо-Западных – 1020. Затем на 9 дорогах общее число централизованных стрелок составляло 5234, еще на 14 дорогах – 1859 стрелок и на 12 дорогах не имелось ни одной централизованной стрелки.

Таблица 2 характеризует насыщенность отдельных дорог устройствами централизации.

**Таблица 2.** Системы централизации с жесткими тягами

Название железных дорог	Число централизованных стрелок на 100 верст
Николаевская	85
Риго-Орловская	64
Варшаво-Венская	60
Северо-Западные	40
Юго-Западные	36
Закавказская	27
Привислинские	25
Полесские	22
Рязано-Уральская	21
Южная, Екатерининская, Юго-Восточная	17
Среднее по сети	17,4

В 1913 г. техник В. П. Сухарников со станции Тихорецкая Владикавказской железной дороги предложил изобретенную им систему электрической централизации маршрутного типа. Это была тщательно разработанная система электрической централизации с некоторыми оригинальными особенностями.

В централизиационном аппарате предусматривался ящик механических замыканий. При переводе какой-либо маршрутной рукоятки передвигалась соответственная маршрутная линейка. Для каждой стрелки в ящике имелась линейка, расположенная под прямым углом к маршрутным линейкам.

Маршрутные линейки имели выступы у стрелочных линеек тех стрелок, которые входили в данный маршрут. Стрелочные линейки были снабжены

в необходимых случаях наклейками или штифтами. При передвижении маршрутной линейки ее выступы воздействовали на штифты стрелочных линеек, передвигая последние. Поскольку каждая стрелочная линейка соединялась поводком с соответственной стрелочной осью, передвижение стрелочных линеек вызывало поворот стрелочных осей, входящих в маршрут, что влекло за собой перевод этих стрелок. Маршрутные рукоятки на оси снабжались поводками для перемещения линеек и эксцентриками для воздействия на добавочную линейку. На этой линейке осуществлялось исключение враждебных маршрутов, а также связь с семафорной рукояткой. Открытие семафора было возможно только после поворота маршрутной рукоятки и запираения стрелочных осей. Поворот сигнальной рукоятки вызывал запираение линейки, а следовательно, и маршрутной рукоятки. Таким образом, маршрут устанавливался поворотом двух рукояток – маршрутной и сигнальной.

Вместе с тем изобретатель снабжал каждую стрелочную ось отдельной рукояткой, что давало возможность перевода отдельно каждой стрелки. На стрелочную ось были надеты трубка и сектор, причем ось имела в валике некоторый свободный ход. Трубка имела контактные выступы, а ось – один выступ, замыкающие при повороте оси на известный угол контактные пружины, укрепленные на изолированной колодке. Сектор в крайних положениях удерживался якорем контрольного электромагнита. При повороте оси на угол  $45^\circ$ , что еще не вызывало поворота трубки и сектора, выступ замыкал рабочую цепь для перевода стрелки. После ее перевода замыкался автоматически стрелочный контакт, что вело к возбуждению контрольного электромагнита и освобождению сектора. При дальнейшем повороте оси поворачивалась и трубка, а на выступе размыкалась рабочая цепь. Контакты, замыкаемые выступами, участвовали в контрольной цепи.

В. П. Сухарников предложил стрелочный привод, основанный на принципе, аналогичном принципу действия семафорного электрозаводного механизма. При посылке тока в стрелочный электромагнит якорь последнего освобождал вал, который, вращаясь под влиянием тяжести груза, подвешенного на проволоке, обвивающей вал, переводил стрелку. При повороте вала на  $180^\circ$  последний вновь задерживался якорем электромагнита.

Таким образом, стрелочный привод можно было реверсировать лишь при крайних положениях стрелки. Для обеспечения соответствия положения стрелки и рукоятки на оси наглухо насаживался зубчатый сектор с двумя выступами. В крайних положениях сектора эти выступы упирались во вспомогательный задерживающий рычажок, отклоняя его в другую сторону при переводе рукоятки. Вследствие этого рукоятку можно поворачивать только в какую-либо одну сторону, а в обратную сторону можно повернуть лишь после доведения рукоятки до крайнего положения. При неполучении контроля рукоятка остается запертой в среднем положении.

Стрелочный привод, предложенный В. П. Сухарниковым, был довольно сложен по своей конструкции, что объяснялось тем, что в нем осуществлялся автоматический подъем рабочего груза проходящим поездом. Для этого у одного из рамных рельсов устанавливалась нажимная механическая педаль. Один конец стальной полосы закреплялся, как на оси, а верхнее ребро полосы дугообразно возвышалось на  $\frac{1}{2}$  (12,5 мм) над головкой рельса. Перпендикулярно к рельсу располагался вал, имеющий под полосой кривошип. Другой конец вала входил в привод и соединялся с устройством для подъема груза. При проходе каждого поезда нажимался свободный конец полосы и посредством кривошипа вал поворачивался на некоторый угол. Входящий в привод конец вала имел кривошип, воздействующий на рычаг. Длинное плечо этого рычага давило на собачку, сцепленную с храповиком, поворачивая его по часовой стрелке. Сидящее на той же оси цепное колесо производило подъем груза. По проходе колеса по педали противовес задерживал храповик. Рядом нажатий колес гиря поднималась до верха. Полученный запас энергии расходовался на перевод стрелки.

В июле 1913 г. В. П. Сухарников просил министра путей сообщения о разрешении произвести на одной из станций железных дорог пробную установку его системы. Однако заключение эксперта, рассматривавшего изобретение Сухарникова, было неблагоприятно. Эксперт признал систему весьма остроумной, но считал, что применение ее на практике может встретить большие затруднения.

Возражения эксперта относились, главным образом, к механическим конструкциям стрелочного привода и педали. Эксперт считал, что кривошип быстро износится и педаль перестанет работать и что при большом количестве пружин, шарниров и передач трудно осуществить точную и согласованную работу всех частей. Что же касается электрической части и устройства центразационного аппарата, то здесь эксперт не мог сделать каких-либо основательных возражений и привел только свое мнение, заключавшееся в том, что «согласованность действий отдельных частей (электрической и механической) между собой, основанных на электромагнитах с якорями и стрелочных контактах, не может считаться обеспеченной».

В опытной установке Сухарникову было отказано. Между тем, при надлежащей помощи изобретателю в осуществлении опытной модели, необходимых расчетах и более глубокой конструктивной разработке отдельных узлов, предложение Сухарникова могло быть проверено на практике.

Сделанное позднее аналогичное предложение другого русского изобретателя, Шереметьева, было использовано иностранной фирмой и доведено до производственных образцов и установок на железных дорогах.

Имелись также предложения отдельных изобретателей по борьбе с приемом поездов на занятые пути. Так, например, на Сибирской железной дороге в 1914 г. станционную блокировку осуществляли таким образом, что после

установки маршрута приема на один из путей нельзя было установить второй раз маршрут приема на этот путь ранее, чем не будет использован маршрут отправления с него. Это, конечно, было не полное решение вопроса, так как не решался вопрос контроля пути, занятого вагонами, поданными на этот путь маневровым порядком, и т. п.

В 1914 г. изобретатель Г. Цебоев предлагал для борьбы с приемом поездов на занятые пути устройство на станциях рельсовых цепей. Им предлагалась нормально разомкнутая однопутная рельсовая цепь с общей батареей для нескольких путей и переключением ее в ту или иную рельсовую цепь в зависимости от положения стрелок. Реле, включаемые в рельсовые цепи, имели контакты в проводе, идущем к электросцепляющему механизму семафора.

Nicolay V. Lupal

*«Automation and telemechanics on railroads» department,  
Leningrad institute of railway engineers*

**Signals and interlocking development during imperialism (1906–1917).**

**Part 3: Mechanical interlocking of points and signals**

The study in question contains materials of the third part of a monography manuscript «The development of signaling arrangement on Russian railroads» written by Nikolay Vasiliyevich Lupal, the first head of «Automatics and telemechanics on railroads» department at Leningrad institute of railway engineers. The issues of train safe control at the stations, equipped with mechanical interlocking were touched upon in the given study.

safety of operation; railway stations; hand throw switch; interlocking control; control lock

*ЛУПАЛ Николай Васильевич (1887–1966) – кандидат технических наук, основатель и первый заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта (годы руководства – 1930–1960). Сорок два года жизни Н. В. Лупал посвятил педагогической работе в высших учебных заведениях. В 1934 г. на станции Гудермес Северо-Кавказской железной дороги была построена первая установка релейной централизации, реализованная по его идеям и схемам. В сферу занятий Н. В. Лупала входили также принципы построения кодовых систем управления. Результаты этой работы были положены впоследствии в основу систем диспетчерской централизации.*

© Лупал Н. В., 2017

Подписано в печать с оригинал-макета 15.09.2017. Формат 60×84/9,5. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 16,1. Уч.-изд. л. 9,5625. Установочный тираж 500 экз. Заказ . Цена свободная.  
Отпечатано в типографии ФГБОУ ВО ПГУПС. 190031, СПб., Московский пр., 9.