

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

---

# **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ**

Сборник материалов секции  
«Информационные технологии на транспорте»  
юбилейной XV Санкт-Петербургской международной конференции  
«Региональная информатика – 2016»,  
Санкт-Петербург, 26–28 октября 2016 г.

Санкт-Петербург  
2016

УДК 656.25+681.518.22  
ББК 32.965  
И74

**И74 Информационные технологии на транспорте : сб. материалов секции «Информационные технологии на транспорте» юбилейной XV Санкт-Петербург. междунар. конф. «Региональная информатика – 2016», Санкт-Петербург, 26–28 окт. 2016 г. ; под. ред. Вал. В. Сапожникова.– СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016.– 150 с.**

ISBN 978-5-7641-0951-0

**Information technologies at transport** : proc. section “Information technologies at transport” of Anniversary XV St. Petersburg int. conf. “Regional informatics–2016”, St. Petersburg, 26–28 of Oct. 2016 ; ed. Val. V. Sapozhnikov.– St.Petersburg : PSTU, 2016.– 150 p.

Развитие информационных технологий на транспорте – объективная тенденция современности. Данный сборник содержит работы, охватывающие проблематику совершенствования информационно-управляющих систем на транспорте, развития методов проектирования и конструирования элементов систем управления, их технического диагностирования и непрерывного мониторинга, а также энергоэффективного строительства объектов транспорта.

Предназначен для специалистов в предметной области информационных технологий, может быть полезен инженерам и проектировщикам систем автоматики и телемеханики на транспорте, а также студентам высших транспортных учебных заведений.

УДК 656.25+681.518.22  
ББК 32.965

ISBN 978-5-7641-0951-0

© ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016

## **Редакционная коллегия**

Ефанов Дмитрий Викторович	канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВО ПГУПС, Санкт-Петербург, РФ
Канаев Андрей Константинович	докт. техн. наук, заведующий кафедрой «Электрическая связь» ФГБОУ ВО ПГУПС, доцент, Санкт-Петербург, РФ
Марков Дмитрий Спиридонович	канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВО ПГУПС, доцент, Санкт-Петербург, РФ
Никитин Александр Борисович	докт. техн. наук, заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВО ПГУПС, профессор, Санкт-Петербург, РФ
Никищенков Сергей Алексеевич	докт. техн. наук, проректор по науке и инновациям ФГБОУ ВО СамГУПС, доцент, Самара, РФ
Сапожников Валерий Владимирович	докт. техн. наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВО ПГУПС, профессор, Санкт-Петербург, РФ
Сапожников Владимир Владимирович	докт. техн. наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВО ПГУПС, профессор, Санкт-Петербург, РФ
Убар Раймунд	докт. техн. наук, академик Эстонской Академии наук, Таллин, Эстония
Шаманов Виктор Иннокентьевич	докт. техн. наук, профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» ФГБОУ ВО МГУПС (МИИТ), профессор, Москва, РФ

## **Редакция сборника**

*Ефанов Дмитрий Викторович – ответственный за выпуск*

*Блюдов Антон Александрович – переводчик*

*Зинченко Светлана Анатольевна – литературный редактор и корректор*

*Стуканова Анна Александровна – верстка*

## **Editorial Team**

Efanov Dmitry V.	Ph. D., associate professor at «Automation and remote control on railways» department of Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university, St. Petersburg, Russia
Kanaev Andrey K.	D. Sc., head of «Electric communication» department of Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university, associate professor, St. Petersburg, Russia
Markov Dmitry S.	Ph. D., associate professor at «Automation and remote control on railways» department of Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university, associate professor, St. Petersburg, Russia
Nikitin Alexander B.	D. Sc., head of «Automation and remote control on railways» department of Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university, professor, St. Petersburg, Russia
Nikischenkov Sergey A.	D. Sc., vice-rector for science and innovation of Samara state transport university, associate professor, Samara, Russia
Sapozhnikov Valery V.	D. Sc., professor at «Automation and remote control on railways» department of Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university, professor, St. Petersburg, Russia
Sapozhnikov Vladimir V.	D. Sc., professor at «Automation and remote control on railways» department of Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university, professor, St. Petersburg, Russia
Ubar Raimund	D. Sc., Academician of the Estonian Academy of Sciences, Tallinn, Estonia
Shamanov Victor I.	D. Sc., professor at «Automation, remote control and communication on railway transport» department of Moscow state transport university of Emperor Nickolas II (MIIT), professor, Moscow, Russia

## **Staff**

*Efanov Dmitry V* – executive secretary  
*Bliudov Anton A.* – translator  
*Zinchenko Svetlana A.* – editing and proofreading  
*Stukanova Anna A.* – layout

## **СОДЕРЖАНИЕ**

### **Теория систем функционального контроля**

<i>Сапожников Вал. В., Сапожников Вл. В., Ефанов Д. В., Щагина В. А.</i>	9
Двухмодульный код с суммированием единичных информационных разрядов по модулю «четыре» в системах функционального контроля	
<i>Пивоваров Д. В.</i>	17
Один способ построения полностью самопроверяемых структур систем функционального контроля на основе равновесного кода «1 из 4»	
<i>Никитин Д. А.</i>	28
Модульно-взвешенный код с суммированием с прямой последовательностью весов в сравнении с модульным кодом Хэмминга	
<i>Ефанов Д. В., Правдухина А. А., Тимошенков М. В.</i>	38
Повышение эффективности обнаружения ошибок в информационных векторах кодов Бергера за счет взвешивания одного разряда	

### **Минимизация автоматов**

<i>Тришин Н. А.</i>	47
Сравнение алгоритмов минимизации конечных автоматов	

### **Надежностный синтез дискретных устройств**

<i>Чухонин В. М., Осадчий Г. В., Фомин Д. В.</i>	57
Парафазные функции в дискретных автоматах	

### **Системы диагностирования и непрерывного мониторинга**

<i>Белоусов С. В.</i>	67
Обработка нейронной сетью графика тока перевода стрелочного переводного устройства с электродвигателем постоянного тока	
<i>Порошин А. А.</i>	72
Диагностика и мониторинг устройств электропитания железнодорожной автоматики и телемеханики	

### **Информационные технологии в управлении**

<i>Грошев Г. М., Сугоровский А. В., Сугоровский Ан. В.</i>	76
Использование информационных технологий для описания приёмов диспетчерского регулирования	

<i>Яшин М.Г., Иванов Р.И.</i>	82
RFID-технология и ее применение на железных дорогах	
<b>Телекоммуникационные системы</b>	
<i>Канаев А.К., Тукмачев В.Ф.</i>	89
Сеть со спектральным разделением каналов как объект управления в телекоммуникационной системе	
<i>Бенета Э.В., Канаев А.К.</i>	95
Формирование алгоритма управления отказами в телекоммуникационной сети связи, построенной по технологии Carrier Ethernet	
<i>Плеханов П.А.</i>	102
Внедрение и развитие интеллектуальных транспортных систем применительно к железнодорожному транспорту на основе возможностей беспроводной связи пятого поколения (5G)	
<b>Военно-технические системы</b>	
<i>Хижавский О.А.</i>	113
Методика определения оптимальных параметров главных балок пролетных строений железнодорожных мостов средствами MS Excel	
<b>Системы автоматизированного проектирования</b>	
<i>Седых Д.В.</i>	125
Сверка чертежей напольного технологического оборудования на основе отраслевого формата	
<i>Матушев А.А., Седых Д.В., Ушаков И.С.</i>	131
Обобщенная модель принципиальных электрических и монтажных схем	
<b>Логистика</b>	
<i>Гончарова Н.А., Черненко Ю.Д.</i>	137
Роль сети информационно-вычислительных центров в повышении эффективности процессов грузовой и коммерческой работы	
<b>Архитектура и строительство</b>	
<i>Смирнова Е.О.</i>	145
Энергоэффективные решения при проектировании и реконструкции вокзалов	
<i>Авторы</i>	150

## **CONTENTS**

### **Theory of concurrent error detection systems**

<i>Val. V. Sapozhnikov, Vl. V. Sapozhnikov, D. V. Efanov, V.A. Shchagina</i>	9
Two-modulus code with summation of ones in data bits by modulo „four“ in concurrent error detection systems	
<i>D. V. Pivovarov</i>	17
One way of formation of totally self-checking structures of concurrent error detection systems based on “1-out-of-4” code	
<i>D. A. Nikitin</i>	28
Modulo-weighted code with summation with direct sequence of weights comparing with modulo Hamming code	
<i>D. V. Efanov, A. A. Pravduhina, M. V. Timoshenkov</i>	38
Improvement of efficiency of error detection in Berger code data vectors by weighing of one bit	

### **Finite state machines minimization**

<i>N. A. Trishin</i>	47
Comparison of finite state machines minimization algorithms	

### **Reliable synthesis of discrete devices**

<i>V. M. Chuhonin, G. V. Osadchy, D. V. Fomin</i>	57
Two-rail functions in discrete finite state machines	

### **Means of diagnosis and health monitoring**

<i>S. V. Belousov</i>	67
Processing of DC motor point machine operation current graph with neural network	
<i>A. A. Poroshin</i>	72
Diagnostics and monitoring of railway automation and remote control power supply devices	

### **Information technologies in control**

<i>G. M. Groshev, A. V. Sugorovsky, An. V. Sugorovsky</i>	76
Use of information technologies for centralized traffic control methods description	
<i>M. G. Iashin, R. I. Ivanov</i>	82
RFID-technology and its applications of railways	

<b>Telecommunication systems</b>	
<i>A. K. Kanaev, V. F. Tukmachev</i>	89
Net with spectral channel distribution as a control object in perspective telecommunication system control system	
<i>E. V. Beneta, A. K. Kanaev</i>	95
Formation of fault control algorithm in telecommunication network based on Carrier Ethernet technology	
<i>P. A. Plekhanov</i>	102
Implementation and development of intelligence transport systems applied to railway transport based on potential of fifth generation (5G) wireless communication	
<b>Military-technical systems</b>	
<i>O. A. Hizhavsky</i>	113
The method of evaluation of optimum parameters of railway bridges flying structures main beams by MS Excel means	
<b>CAD systems</b>	
<i>D. V. Sedykh</i>	125
Revise of outdoor equipment drawings based on branch format	
<i>A. A. Matushev, D. V. Sedykh, I. S. Ushakov</i>	131
Summarized model of principal electric and assembly diagrams	
<b>Logistics</b>	
<i>N. A. Goncharova, Yu. D. Chernenko</i>	137
Role of data processing center net in improvement of cargo and commercial work efficiency	
<b>Architecture and Construction</b>	
<i>E. O. Smirnova</i>	145
Energy efficient solutions in design and reconstruction of station buildings	
Authors	150

# *Теория систем функционального контроля*

УДК 681.518.5:004.052.32

## **ДВУХМОДУЛЬНЫЙ КОД С СУММИРОВАНИЕМ ЕДИНИЧНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РАЗРЯДОВ ПО МОДУЛЮ «ЧЕТЫРЕ» В СИСТЕМАХ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ**

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

Анализируются свойства двухмодульных кодов с суммированием единичных информационных разрядов с установленными значениями модулей  $M = 4$  в системах функционального контроля комбинационных логических схем. Приводятся результаты сравнения двухмодульных кодов с известными классическими и модифицированными кодами Бергера, часто применяемыми при организации систем функционального контроля.

**Ключевые слова:** система функционального контроля; обнаружение ошибок; код Бергера; модифицированный код Бергера; двухмодульный код с суммированием; свойства обнаружения ошибок; структурная избыточность.

## **Введение**

При организации надежных дискретных устройств автоматики и вычислительной техники часто используют самопроверяемые схемы встроенного контроля, или системы функционального контроля [1–3]. Одним из способов их реализации является использование помехоустойчивых кодов с небольшой избыточностью и простыми правилами построения, как правило, реализующими принципы обнаружения отказов [4, 5]. Часто при решении таких задач используются классические и модифицированные коды с суммированием [6–9].

Классические коды с суммированием, или коды Бергера [10], строятся путем записи в разряды контрольного вектора двоичного эквивалента десятичного числа, равного сумме единичных разрядов в информационном векторе (равного весу  $r$  информационного вектора). Обозначим их как  $S(m,k)$ -коды, где  $m$  и  $k$  – длины информационных и контрольных векторов, соответ-

ственno. Такие правила построения кода предполагают наличие одного и того же контрольного вектора у  $C_m^r$  информационных векторов ( $m$  – длина информационного вектора). В зависимости от значения  $r$  количество информационных векторов с одинаковыми контрольными векторами варьируется и является минимальным при  $r = 0$  или  $r = m$  и максимальным – для значений  $r$ , близких к величине  $m/2$ . Неравномерность распределения информационных векторов между контрольными определяет высокое количество необнаруживаемых кодом Бергера ошибок, в том числе в области ошибок малых кратностей: к примеру, он не обнаруживает 50 % двукратных и 37,5 % четырехкратных ошибок в информационных векторах [11]. Кроме того, поскольку  $r \in [0; m]$ , для всех кодов Бергера с длиной информационных векторов  $m \neq 2^i - 1$ ,  $i = 1, 2, \dots$  невозможно формировать полное множество контрольных векторов. Это является проблемой при решении задачи обеспечения свойства полной самопроверяемости структуры генератора тестера кода в системах функционального контроля [12].

Для повышения эффективности обнаружения ошибок в системах функционального контроля разработаны модифицированные коды Бергера ( $RS(m, k)$ -коды), принципы построения которых описаны в [13]. Данные коды обнаруживают гораздо большее количество ошибок, чем коды Бергера, но, к сожалению, не являются кодами с суммированием, максимально близкими к кодам с наименьшим значением общего числа необнаруживаемых ошибок при своих значениях длины информационных и контрольных векторов.

В данной работе мы покажем, что может быть построен код с суммированием единичных информационных разрядов с улучшенными по сравнению с классическими и модифицированными кодами Бергера свойствами [14].

## 1. Двухмодульный код с суммированием

Способ построения кода основывается на использовании следующего алгоритма:

1. Для данной длины информационного вектора выделяются два подмножества разрядов информационных векторов  $D_1$  и  $D_2$ :

$$D_1 = \left\{ f_{\left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor + 1}; f_{\left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor + 2}; \dots; f_m \right\} \text{ и } D_2 = \left\{ f_1; f_2; \dots; f_{\left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor} \right\},$$

где запись  $\lfloor \dots \rfloor$  обозначает целое снизу от вычисляемого значения;

2. Каждому из подмножеств  $D_1$  и  $D_2$  ставится в соответствие свой информационный вектор  $\langle D_1 \rangle$  и  $\langle D_2 \rangle$ ;

3. Для каждого из векторов  $\langle D_1 \rangle$  и  $\langle D_2 \rangle$  определяются значения наименьших неотрицательных вычетов их веса по модулю  $M = 4$  – числа  $r_1(\text{mod}4)$  и  $r_2(\text{mod}4)$ ;

4. Числа  $r_1(\text{mod}4)$  и  $r_2(\text{mod}4)$  представляются в двоичном виде и записываются в младшие и старшие разряды контрольных векторов, соответственно.

Обозначим код, строящийся по данному алгоритму, как  $TM(m,k)$ -код (*two-modulus code*). Правила его построения представлены на рис. 1.

$TM(m,k)$ -код всегда будет иметь 4 контрольных разряда, его можно сравнить с классическим и модифицированным кодами Бергера при длине информационных векторов  $m = 8-15$ . На данной длине информационных векторов описываемый код будет иметь существенное преимущество в обнаруживающей способности перед классическими и модифицированными кодами Бергера (рис. 2).

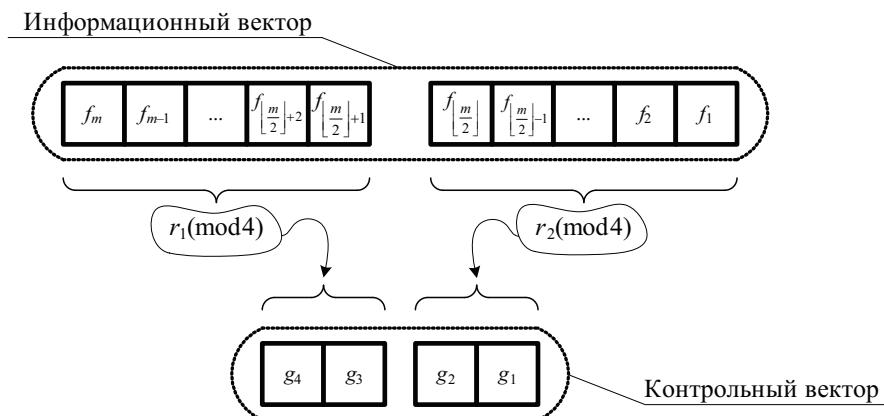


Рис. 1. Принцип построения двухмодульного кода с суммированием

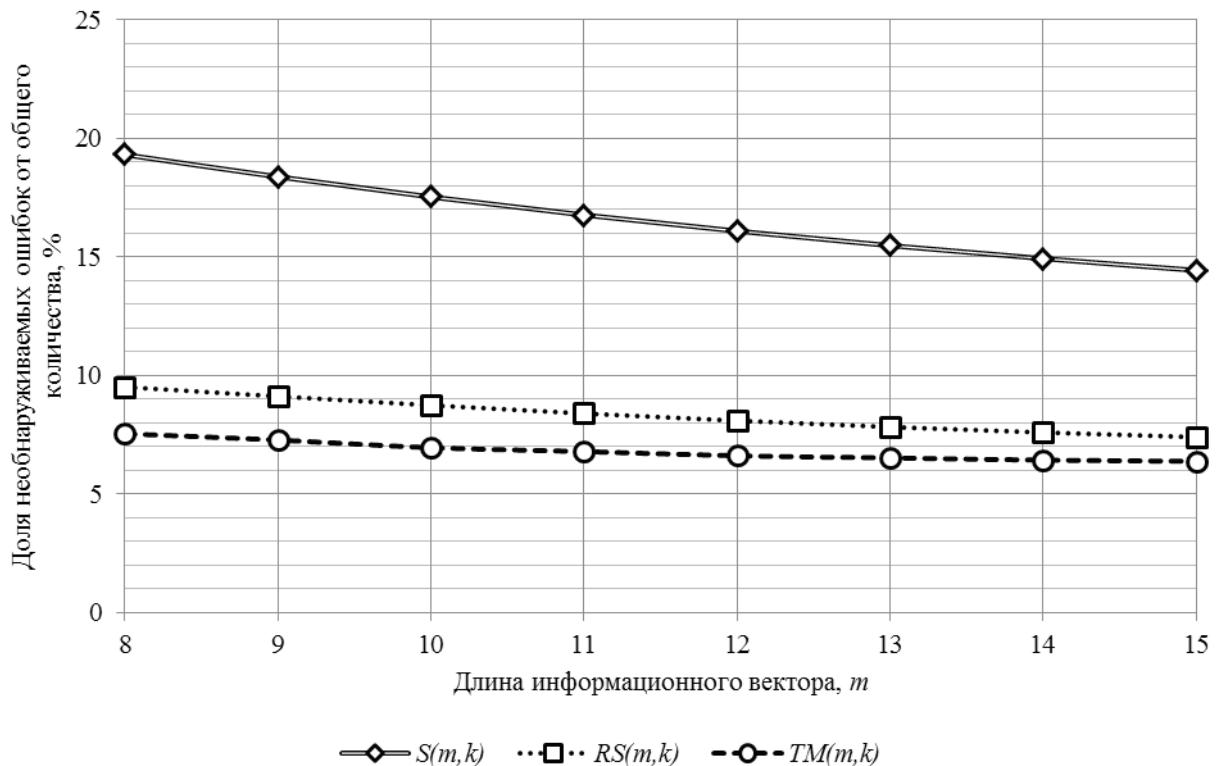


Рис. 2. Значения доли необнаруживаемых ошибок от их общего количества в зависимости от длины информационного вектора

## 2. Эксперименты с системой контрольных комбинационных схем

Для оценки эффективности применения  $TM(m,k)$ -кодов в системах функционального контроля авторы использовали набор контрольных комбинационных схем LGSynth'89 [15], предназначенных для тестирования вновь разрабатываемых методов технической диагностики.

Экспериментальные исследования состояли в сравнительном анализе характеристик обнаружения ошибок на выходах контрольных комбинационных схем  $S(m,k)$ - $, RS(m,k)$ - и  $TM(m,k)$ -кодами, а также в оценке сложности технической реализации структур систем функционального контроля, построенных на основе данных кодов. Для эксперимента было выбрано 8 контрольных комбинационных схем с количеством выходов  $m \in \{8 - 15\}$ . Результаты экспериментов занесены в таблицу.

В эксперименте с контрольными комбинационными схемами проделывались следующие операции: моделирование одиночных константных неисправностей на выходах логических элементов их внутренней структуры, подача всех входных комбинаций и определение количества необнаруженных каждым кодом ошибок по видам и кратностям. В таблице представлено общее количество необнаруженных ошибок различными кодами с суммированием, а также записаны доли необнаруженных каждым кодом ошибок от их общего возможного количества. Для оценки эффективности  $TM(m,k)$ -кода по сравнению с классическими и модифицированными кодами Бергера в таблице приведены доли необнаруженных  $TM(m,k)$ -кодом ошибок от количества необнаруженных  $S(m,k)$ -кодом ошибок (коэффициент  $\Phi_{S(m,k)}$ , %) и аналогичный показатель по отношению к  $RS(m,k)$ -коду (коэффициент  $\Phi_{RS(m,k)}$ , %).  $TM(m,k)$ -коды гораздо эффективнее обнаруживают ошибки на выходах контрольных комбинационных схем, чем известные коды с суммированием единичных разрядов.

С использованием специально разработанного программного модуля были получены файлы – описания всех блоков структуры системы функционального контроля, синтезированной для каждого контрольного примера по  $S(m,k)$ - $, RS(m,k)$ - и  $TM(m,k)$ -кодам. Это позволило оценить площадь, занимаемую системами функционального контроля на кристалле (см. таблицу), в условных единицах SIS при использовании стандартной библиотеки функциональных элементов *stdcell2\_2.genlib* [16]. Для оценки уменьшения площади системы контроля на основе  $TM(m,k)$ -кода по сравнению с известными кодами были рассчитаны показатели структурной избыточности – доля площади, занимаемой системой функционального контроля при использовании  $TM(m,k)$ -кода, от площади, занимаемой системами контроля по кодам  $S(m,k)$  и  $RS(m,k)$  (показатели  $\delta_{S(m,k)}$  и  $\delta_{RS(m,k)}$ , %). По сравнению с данными структурами использование  $TM(m,k)$ -кода позволяет существенно уменьшить площадь системы функционального контроля.

Показатели применения кодов с суммированием в системах функционального контроля

Кон-троль-ная схема	Коли-чество выходов	Площади систем функционального контроля, организованых по кодам с суммированием, усл. ед.		Показатель структурной избыточности, %	Число не обнаруживаемых ошибок в схеме ошибок	Доля необнаруживаемых ошибок от их общего количества на выходах схемы, %		Характеристика обнаружения ошибок, %		
		$S(m,k)$	$RS(m,k)$			$S(m,k)$	$RS(m,k)$	$TM(m,k)$	$\Phi_{S(m,k)}$	$\Phi_{RS(m,k)}$
alu4	8	137 192	151 744	101 008	73,625	66,565	187 276	154 964	9,457	7,825
cm42a	10	8640	9896	3320	38,426	33,549	8	8	2	2,878
cm138a	8	4224	4760	2248	53,22	47,227	0	0	0	0,719
cu	11	20 512	18 312	5592	27,262	30,537	34 048	34 048	24,675	24,675
f51m	8	128 24	120 72	7704	60,075	63,817	123	123	39	0,927
pcl	9	18 624	15 832	6000	32,216	37,898	188 416	192 777	179 387	1,075
pm1	13	16 192	12 808	9016	55,682	70,394	27 392	27 392	7920	3,615
sct	15	286 552	264 296	20 096	7,013	7,604	240 096	240 096	140 700	1,448
<b>Средние значения</b>		63 095	61 215	19 373	43,44	44,699	84 670	85 215	64 633	5,509
										4,554
										52,772
										52,503

## **Выводы**

Анализируя свойства  $TM(m,k)$ -кода, можно сделать вывод, что данный код гораздо эффективнее обнаруживает ошибки в системах функционального контроля, чем известные классические и модульные коды Бергера. Кроме того, для данного кода будет намного проще обеспечить свойство полной самопроверяемости структуры генератора тестера в системе функционального контроля.

## **Библиографический список**

1. Сапожников Вал. В. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Х. А. Христов, Д. В. Гавзов. – М. : Транспорт, 1995. – 272 с.
2. Nicolaidis M. On-Line Testing for VLSI – A Compendium of Approaches / M. Nicolaidis, Y. Zorian // J. Electron. Test. : Theory and Applications. – 1998. – № 12. – P. 7–20.
3. Mitra S. Which Concurrent Error Detection Scheme to Choose? / S. Mitra, E. J. McClasskey // Proc. Int. Test Conf., USA, Atlantic City, NJ, 3–5 Oct. 2000. – NJ, 2000. – P. 985–994.
4. Piestrak S. J. Design of Self-Testing Checkers for Unidirectional Error Detecting Codes / S. J. Piestrak. – Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 1995. – 111 p.
5. Fujiwara E. Code Design for Dependable Systems : Theory and Practical Applications / E. Fujiwara. – John Wiley & Sons, 2006. – 720 p.
6. 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.
7. Сапожников Вал. В. Экспериментальные исследования двоичных кодов с суммированием / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, А. А. Блюдов // Изв. ПГУПС. – 2011. – Вып. 2. – С. 145–152.
8. Сапожников Вал. В. Двоичные коды с суммированием, имеющие минимальное число необнаруживаемых искажений информационных разрядов / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, А. А. Блюдов // Теоретические и практические аспекты развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. трудов ; ред. Вл. В. Сапожников. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2012. – С. 3–14.
9. 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.
10. Berger J. M. A Note on Error Detection Codes for Asymmetric Channels / J. M. Berger // Inf. Control. – 1961. – Vol. 4, Is. 1. – P. 68–73.
11. 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.
12. Согомонян Е. С. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы / Е. С. Согомонян, Е. В. Слабаков. – М. : Радио и связь, 1989. – 208 с.

13. 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.
14. Efanov D. Generic Two-Modulus Sum Codes for Technical Diagnostics of Discrete Systems Problems / D. Efanov, Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov // Proc. 14th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTs'2016), Yerevan, Armenia, 14–17 Oct. 2016.– Yerevan, 2016.– P. 256–260.
15. Collection of Digital Design Benchmarks.– URL : <http://ddd.fit.cvut.cz/prj/Benchmarks>.
16. Sentovich E. M. SIS : A System for Sequential Circuit Synthesis / E. M. Sentovich, K. J. Singh, L. Lavagno et al. // Electron. Res. Lab., Department of Electr. Eng. and Comput. Sci., Univ. of California, Berkeley, 4 May 1992.– Berkeley, 1992.– 45 p.

## **Two-modulus code with summation of ones in data bits by modulo „four“ in concurrent error detection systems**

Val. V. Sapozhnikov, Vl. V. Sapozhnikov,  
D. V. Efanov, V.A. Shchagina

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

Properties of two-modulus codes with summation of ones with given modulo  $M=4$  in concurrent error detection systems of combinational logical circuits are analyzed. Results of comparison of two-modulus codes with known classic and modified Berger codes widely used in concurrent error detection systems organization are adduced.

**Keywords:** concurrent error detection system; error detection; Berger code; modified Berger code; two-modulus code with summation; error detection properties; structural redundancy.

## **Сведения об авторах**

*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:* at.pgups@gmail.com

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

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

© Сапожников Вал. В., Сапожников Вл. В., 2016  
© Ефанов Д. В., Щагина В. А., 2016

# ОДИН СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ ПОЛНОСТЬЮ САМОПРОВЕРЯЕМЫХ СТРУКТУР СИСТЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ НА ОСНОВЕ РАВНОВЕСНОГО КОДА «1 ИЗ 4»

Д. В. Пивоваров

Предлагается способ организации системы функционального контроля по методу логического дополнения на основе равновесного кода «1 из 4». Приводятся функции дополнения, позволяющие сформировать множество тестовых комбинаций как для тестера, так и для всех элементов сложения по модулю «два» в структуре системы функционального контроля. Приводятся результаты сравнения предложенного варианта доопределения функций дополнения с известным ранее вариантом.

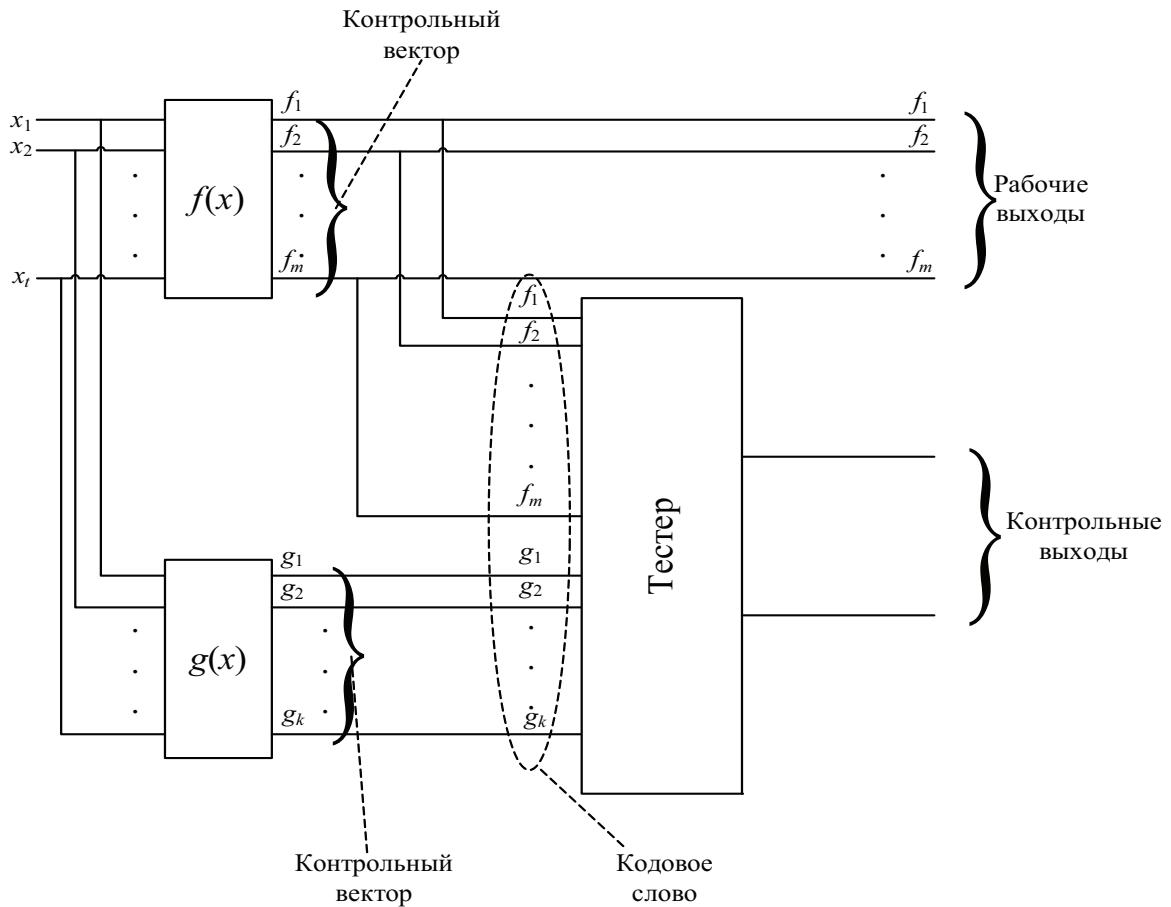
**Ключевые слова:** система функционального контроля; логическое дополнение; структурная избыточность; код «1 из 4»; полностью самопроверяемая структура; тестирование.

## Введение

При построении надежных систем автоматики возникает задача обнаружить неисправности в логических устройствах. Для этого используют системы функционального контроля [1]. Наиболее известны два подхода к построению систем функционального контроля: метод вычисления контрольных разрядов [2] и метод логического дополнения [3]. В первом методе на основании значений выходных функций комбинационной схемы вычисляют контрольные векторы по правилам построения некоторого заранее выбранного избыточного кода. Из контрольного и информационного векторов формируется кодовое слово и далее полученное слово проверяют тестером на принадлежность выбранному коду с обнаружением ошибок. Если вектор не принадлежит коду, то на выходе тестера появляется сигнал ошибки. Система функционального контроля на основе метода вычисления контрольных разрядов показана на рис. 1.

Существует множество методов построения таких систем функционального контроля – от использования кодов с повторением и кодов паритета до применения классических и модифицированных кодов с суммированием [4–11].

При использовании метода вычисления контрольных разрядов трудно решаются задачи обеспечения полной самопроверяемости системы функци-



**Рис. 1.** Система функционального контроля на основе метода вычисления контрольных разрядов

нального контроля, а также оптимизации показателей сложности технической реализации системы (для одного кода реализация блока контрольной логики в системе функционального контроля единственна) [12].

Описанных недостатков лишен метод логического дополнения, в котором вычисляют функции дополнения, преобразующие контрольный вектор при помощи элемента «сложение по модулю 2» в вектор выбранного кода с обнаружением ошибок [3, 13, 14]. В данном методе функции дополнения не определяются однозначно информационным вектором, вследствие чего в каждом коде имеется множество способов вычисления функций дополнения, и путем перебора этих функций можно обеспечить как полную самопроверяемость тестера и элементов «сложение по модулю 2», так и минимальную сложность структуры. Структура системы функционального контроля на основе метода логического дополнения показана на рис. 2.

## 1. Системы контроля на основе кодов «1 из 4»

При построении систем функционального контроля на основе метода логического дополнения удобно использовать равновесные коды с неболь-

шой длиной кодовых слов [3, 12–16]. Такие коды обладают рядом преимуществ перед другими равновесными и систематическими кодами в системах функционального контроля: их тестеры имеют максимально простые структуры и для полной самопроверяемости требуют минимального количества проверочных комбинаций. Перспективным является использование равновесного кода «1 из 4» (1/4-кода). Тестер данного кода для проверки требует поступления на входы всех четырех кодовых слов: 0001, 0010, 0100 и 1000 [17]. Из современных публикаций на тему приложения 1/4-кода в системах функционального контроля следует, что для обеспечения полной самопроверяемости структуры используется перебор вариантов доопределения функций дополнения [18–20]. Таких вариантов имеется большое количество.

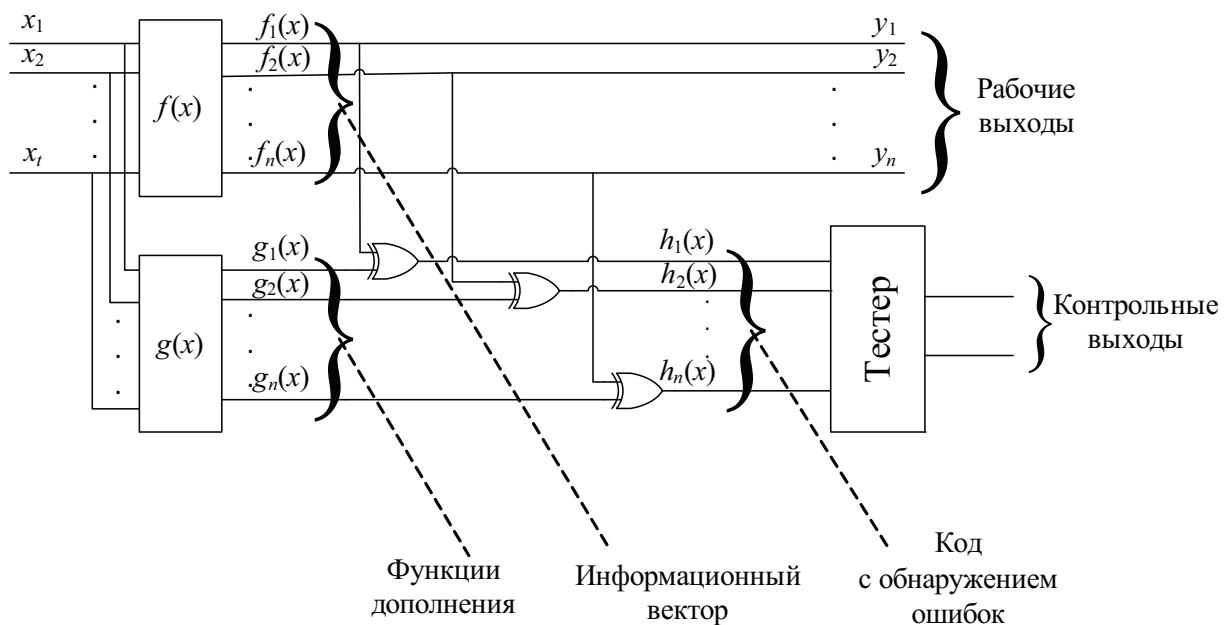


Рис. 2. Структура системы функционального контроля на основе метода логического дополнения

В [3] предложен способ дополнения информационного вектора по следующим функциям:

$$\begin{cases} g_1 = 0; \\ g_2 = f_1 f_2; \\ g_3 = (f_1 \vee f_2) f_3; \\ g_4 = (f_1 \vee f_2 \vee f_3) f_4 \vee \overline{f_1} \overline{f_2} \overline{f_3} \overline{f_4}. \end{cases}$$

Данный способ дополнения обеспечивает полную самопроверяемость тестера, однако не обеспечивает самопроверяемость всех элементов «сложение по модулю 2». В табл. 1 показаны значения функций дополнения для данного кода, а также представлены векторы 1/4-кода. Как видно из табл. 1,

на входах элементов сложения по модулю 2, необходимых для получения функций  $h_2$  и  $h_3$ , не формируется тестовая комбинация  $<01>$  [21].

В табл. 2 показан другой вариант доопределения функций дополнения. Он был получен путем подбора так, чтобы обеспечивалась полная самопроверка.

**Таблица 1.** Значения функций дополнения и все векторы 1/4-кода, предложенного в [3]

$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$g_1$	$g_2$	$g_3$	$g_4$	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_4$
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0
1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0
1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0
1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0

**Таблица 2.** Значения функций дополнения и все векторы предложенного в настоящей статье 1/4-кода

$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$g_1$	$g_2$	$g_3$	$g_4$	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_4$
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0
0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0
0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1
0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1
0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0
1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0
1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0
1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0
1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0

веряемость тестера и всех элементов «сложение по модулю 2». Как видно из табл. 2, на входе тестера каждая комбинация 1/4-кода появляется минимум по два раза. Это позволяет обеспечить свойство полной самопроверяемости структуры системы функционального контроля при ее построении. На выходах элементов «сложения по модулю 2» появляются все тестовые комбинации, как минимум, по одному разу. Таким образом, получаемая структура является полностью самопроверяемой.

В результате минимизации данной таблицы получены следующие функции дополнения:

$$\begin{cases} g_1 = 0 \\ g_2 = f_1 f_2 \vee f_2 \overline{f}_3 f_4 \vee \overline{f}_1 f_3 \overline{f}_4 \\ g_3 = f_3 \overline{f}_4 \vee f_2 f_3 \vee f_1 f_3 \vee \overline{f}_1 \overline{f}_2 \overline{f}_3 f_4 \\ g_4 = f_1 f_4 \vee f_3 f_4 \vee f_1 f_2 f_3 \vee \overline{f}_1 \overline{f}_2 \overline{f}_3. \end{cases}$$

## 2. Эксперимент с контрольными примерами

Для определения эффективности предложенного метода дополнения были поставлены эксперименты с контрольными комбинационными схемами системы LGSynth`89 [22]. В эксперименте оценивались методы по показателям структурной избыточности и обнаруживаемой способности. Данный метод сравнили с методом доопределения, предложенным в [3].

Результаты были получены с помощью специально разработанного программного обеспечения, позволяющего получить файлы – описания систем функционального контроля и смоделировать возникающие в них ошибки. Структурную избыточность посчитали с помощью программного комплекса SIS и библиотеки функциональных элементов stdcell2\_2.genlib [23]. В табл. 3–5 для примера приведены результаты исследований для схем b1, имеющей 3 входа и 4 выхода, cmb, имеющей 16 входов и 4 выхода и z4ml, имеющей 7 входов и 4 выхода.

Как видно из таблиц 3–5, новый вариант доопределения функций дополнения в основном даёт большие площади структур, чем вариант, предложенный в [3]. Однако в большинстве случаев новый способ контроля позволяет обнаружить большее количество ошибок на выходах контролируемых устройств.

## Выводы

В статье предложен вариант доопределения функций дополнения в системе функционального контроля, синтезируемой на основе равновесного 1/4-кода. В эксперименте показано, что предложенный вариант доопределения

**Таблица 3.** Результаты эксперимента с контрольной комбинационной схемой стб

Последова- тельность выходов контролиру- емой схемы cmb	Площадь контролиру- емой схемы cmb	Площадь системы функционального контроля				Количество необнаружи- ваемых неисправностей 1/4 Новый
		Дублирова- ние	1/4 Сапож- никовых	1/4 Новый	По сравнению с дублированием	
			1/4 Сапож- никовых	1/4 Новый	Новый/Са- пожниковых	
$f_1f_2f_3f_4$		1848	2224	75	90,26	120,346
$f_1f_2f_4f_3$		1944	1968	78,896	79,87	101,235
$f_1f_3f_2f_4$		1640	2096	66,558	85,065	127,805
$f_1f_3f_4f_2$		2088	1992	84,74	80,844	95,402
$f_1f_4f_2f_3$		1640	2312	66,558	93,831	140,976
$f_1f_4f_3f_2$		1640	1752	66,558	71,104	106,829
$f_2f_1f_3f_4$		1848	1992	75	80,844	107,792
$f_2f_1f_4f_3$		1944	1744	78,896	70,779	89,712
$f_2f_3f_1f_4$		1640	1848	66,558	75	112,683
$f_2f_3f_4f_1$		2088	1768	84,74	71,753	84,674
$f_2f_3f_4f_2$		1640	1848	66,558	75	112,683
$f_2f_4f_1f_3$		1640	2016	66,558	81,818	122,927
$f_2f_4f_3f_1$		1848	1944	75	78,896	105,195
$f_3f_1f_2f_4$	912	2464	1944	1984	78,896	102,058
$f_3f_1f_4f_2$		1848	1848	75	75	100
$f_3f_2f_1f_4$		1940	2080	78,734	84,416	107,216
$f_3f_2f_4f_1$		1640	2088	66,558	84,74	127,317
$f_3f_4f_1f_2$		1640	2088	66,558	84,74	127,317
$f_3f_4f_2f_1$		1848	2240	75	90,909	121,212
$f_4f_1f_2f_3$		1944	2104	78,896	85,39	108,23
$f_4f_1f_3f_2$		1848	1640	75	66,558	88,745
$f_4f_2f_1f_3$		1944	2376	78,896	96,429	122,222
$f_4f_2f_3f_1$		1848	1848	75	75	100
$f_4f_3f_1f_2$		1848	2200	75	89,286	119,048
$f_4f_3f_2f_1$					0	0

**Таблица 4.** Результаты эксперимента с контрольной комбинационной схемой b1

Последова- тельность выходов контролиру- емой схемы	Площадь контролиру- емой схемы b1	Площадь системы функционального контроля				Количество необнаружи- ваемых неисправностей 1/4 Новый
		Дублирова- ние	1/4 Сапож- никовых	1/4 Новый	По сравнению с дублированием	
		1/4 Сапож- никовых	1 / 4 Новый	Новый/Са- пожниковых	1/4 Сапож- никовых	
$f_1f_2f_3f_4$		776	816	71,324	75	105,155
$f_1f_2f_4f_3$		744	784	68,382	72,059	105,376
$f_1f_3f_2f_4$		776	704	71,324	64,706	90,722
$f_1f_3f_4f_2$		704	848	64,706	77,941	120,455
$f_1f_4f_2f_3$		840	816	77,206	75	97,143
$f_1f_4f_3f_2$		704	784	64,706	72,059	111,364
$f_2f_1f_3f_4$		776	808	71,324	74,265	104,124
$f_2f_1f_4f_3$		744	792	68,382	72,794	106,452
$f_2f_3f_1f_4$		776	720	71,324	66,176	92,784
$f_2f_3f_2f_4$		704	848	64,706	77,941	120,455
$f_2f_3f_4f_2$		840	800	77,206	73,529	95,238
$f_2f_4f_1f_3$		704	792	64,706	72,794	112,5
$f_2f_4f_3f_1$		688	808	63,235	74,265	117,442
$f_3f_1f_2f_4$		744	800	68,382	73,529	107,527
$f_3f_1f_4f_2$		688	760	63,235	69,853	110,465
$f_3f_2f_1f_4$		744	776	68,382	71,324	104,301
$f_3f_2f_4f_1$		840	784	77,206	72,059	93,333
$f_3f_4f_1f_2$		840	816	77,206	75	97,143
$f_3f_4f_2f_1$		688	808	63,235	74,265	117,442
$f_4f_1f_2f_3$		776	800	71,324	73,529	103,093
$f_4f_1f_3f_2$		688	760	63,235	69,853	110,465
$f_4f_2f_1f_3$		776	816	71,324	75	105,155
$f_4f_2f_3f_1$		776	720	71,324	66,176	92,784
$f_4f_3f_1f_2$		776	680	71,324	62,5	87,629
$f_4f_3f_2f_1$						2

**Таблица 5.** Результаты эксперимента с контрольной комбинированной схемой z4ml

Последова- тельность выходов контроли- руемой схемы	Площадь контроли- руемой схе- мы z4ml	Площадь системы функционального контроля						Количество необнаружи- ваемых неисправностей	
		Дублирова- ние	1/4 Сапож- никовых	1/4 Новый	По сравнению с дублированием		Новый/Са- пожнико- вых		
					1/4 Сапож- никовых	1/4 Новый			
$f_1 f_2 f_3 f_4$		2720	3968	90,426	131,915	145,882	66	0	
$f_1 f_2 f_4 f_3$		3024	4664	100,532	155,053	154,233	56	0	
$f_1 f_3 f_2 f_4$		3088	4744	102,66	157,713	153,627	66	0	
$f_1 f_3 f_4 f_2$		3472	4056	115,426	134,84	116,82	56	0	
$f_1 f_4 f_2 f_3$		3192	4416	106,117	146,809	138,346	62	0	
$f_1 f_4 f_3 f_2$		3408	4288	113,298	142,553	125,822	62	0	
$f_2 f_1 f_3 f_4$		2720	3976	90,426	132,181	146,176	66	18	
$f_2 f_1 f_4 f_3$		3024	4376	100,532	145,479	144,709	56	14	
$f_2 f_3 f_2 f_4$		3088	4104	102,66	136,436	132,902	66	36	
$f_2 f_3 f_4 f_2$		3472	4320	115,426	143,617	124,424	56	26	
$f_2 f_4 f_1 f_3$		3192	4736	106,117	157,447	148,371	62	20	
$f_2 f_4 f_3 f_1$		3408	3952	113,298	131,383	115,962	62	14	
$f_3 f_1 f_2 f_4$		3072	4592	102,128	152,66	149,479	82	30	
$f_3 f_1 f_4 f_2$		3392	4104	112,766	136,436	120,991	60	24	
$f_3 f_2 f_1 f_4$		3072	3920	102,128	130,319	127,604	82	36	
$f_3 f_2 f_4 f_1$		3392	4176	112,766	138,83	123,113	60	20	
$f_3 f_3 f_1 f_2$		2792	3664	92,819	121,809	131,232	86	48	
$f_3 f_4 f_1 f_2$		2792	3912	92,819	130,053	140,115	86	38	
$f_4 f_1 f_2 f_3$		2464	3952	81,915	131,383	160,39	104	26	
$f_4 f_1 f_3 f_2$		2680	4240	89,096	140,957	158,209	88	16	
$f_4 f_2 f_1 f_3$		2464	4552	81,915	151,33	184,74	104	44	
$f_4 f_2 f_3 f_1$		2680	4472	89,096	148,67	166,866	88	28	
$f_4 f_3 f_1 f_2$		2520	3624	83,777	120,479	143,81	96	40	
$f_4 f_3 f_2 f_1$		2520	4000	83,777	132,979	158,73	96	34	

функций дополнения уступает варианту, предложенному в [3] по показателям структурной избыточности. По показателям обнаруживающей способности новый вариант дополнения превосходит вариант, предложенный в [3]. Кроме того, описанный в настоящей статье вариант доопределения функций дополнения обеспечивает поступление всех тестовых комбинаций как на тестер, так и на элементы «сложение по модулю 2». Полученные результаты позволяют судить о хороших перспективах использования предложенного варианта дополнения функций до 1/4-кода для организации систем функционального контроля методом логического дополнения.

## Библиографический список

1. Mitra S. Which Concurrent Error Detection Scheme to Choose? / S. Mitra, E. J. McClasskey // Proc. Int. Test Conf., USA, Atlantic City, NJ, 3–5 Oct. 2000.– NJ, 2000.– P. 985–994.
2. 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.
3. Сапожников Вал. В. Организация функционального контроля комбинационных схем методом логического дополнения / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, А. В. Дмитриев, А. В. Морозов, М. Гессель // Электронное моделирование.– 2002.– Т. 24, № 6.– С. 52–66.
4. Blyudov A. Properties of Code with Summation for Logical Circuit Test Organization / A. Blyudov, D. Efanov, Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov // Proc. 10th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTS'2012), Kharkov, Ukraine, 14–17 Sept. 2012.– Kharkov, 2012.– P. 114–117. DOI 10.1109/EWDTS.2013.6673150.
5. Efanov D. On the Problem of Selection of Code with Summation for Combinational Circuit Test Organization / D. Efanov, Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov, A. Blyudov // Proc. 11th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTS'2013), Rostov-on-Don, Russia, 27–30 Sept. 2013.– Rostov-on-Don, 2013.– P. 261–266. DOI 10.1109/EWDTS.2013.6673133.
6. Сапожников Вал. В. Взвешенные коды с суммированием для организации контроля логических устройств / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Электронное моделирование.– 2014.– Т. 36, № 1.– С. 59–80.
7. Sapozhnikov Val. Combinational Circuits Checking on the Base of Sum Codes with One Weighted Data Bit / Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov, D. Efanov, D. Nikitin // Proc. 12th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTS'2014), Kyiv, Ukraine, 26–29 Sept. 2014.– Kyiv, 2014.– P. 126–136. DOI 10.1109/EWDTS.2014.7027064.
8. Efanov D. Sum Code Formation with Minimum Total Number of Undetectable Errors in Data Vectors / D. Efanov, Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov, D. Nikitin // Proc. 13th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTS'2015), Batumi, Georgia, 26–29 Sept. 2015.– Batumi, 2015.– P. 141–148. DOI 10.1109/EWDTS.2015.7493112.
9. Ефанов Д. В. Анализ способов построения кодов с суммированием с улучшенными характеристиками обнаружения симметричных ошибок в информационных векторах / Д. В. Ефанов // Вестн. Томск. гос. ун-та. Управление, вычислительная техника и информатика.– 2015.– № 4.– С. 69–81. DOI 10.17223/19988605/32/9.

10. Ефанов Д. В. Способы организации систем функционального диагностирования логических схем без памяти / Д. В. Ефанов, Г. М. Грошев, О. Б. Маликов // Электротехника. – 2016. – № 5. – С. 53–56.
11. Efanov D. Generic Two-Modulus Sum Codes for Technical Diagnostics of Discrete Systems Problems / D. Efanov, Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov // Proc. 14th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTs'2016), Yerevan, Armenia, 14–17 Oct. 2016.– Yerevan, 2016.– P. 256–260.
12. Sapozhnikov Val. Concurrent Error Detection of Combinational Circuits by the Method of Boolean Complement on the Base of «2-out-of-4» Code / Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov, D. Efanov // Proc. 14th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTs'2016), Yerevan, Armenia, 14–17 Oct. 2016.– Yerevan, 2016.– P. 126–133.
13. Goessel M. A New Method for Concurrent Checking by Use of a 1-out-of-4 Code / M. Goessel, Vl. Saposhnikov, Val. Saposhnikov, A. Dmitriev // Proc. 6th IEEE Int. Online Testing Workshop, 3–5 July 2000, Palma de Mallorca, Spain.– Palma de Mallorca, 2000.– P. 147–152.
14. Гессель М. Логическое дополнение – новый метод контроля комбинационных схем / М. Гессель, А. В. Морозов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика.– 2003.– № 1.– С. 167–176.
15. Ефанов Д. В. Применение равновесного кода «2 из 4» при организации систем функционального контроля / Д. В. Ефанов // Изв. ПГУПС.– 2016.– Т. 13, вып. 2.– С. 269–278.
16. Сапожников Вал. В. Метод функционального контроля комбинационных логических устройств на основе кода «2 из 4» / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Изв. вузов. Приборостроение.– 2016.– Т. 59, № 7.– С. 524–533. DOI 10.17586/0021-3454-2016-59-7-524-533.
17. Сапожников Вал. В. Самопроверяемые дискретные устройства / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников.– СПб. : Энергоатомиздат, 1992.– 224 с.
18. Saposhnikov Val. V. Design of Totally Self-Checking Combinational Circuits by Use of Complementary Circuits / Val. V. Saposhnikov, Vl. V. Saposhnikov, A. Morozov, G. Osadtchi, M. Gossel // Proc. East-West Design & Test Workshop, Yalta, Ukraine, 2004.– Yalta, 2004.– P. 83–87.
19. Гессель М. Контроль комбинационных схем методом логического дополнения / М. Гессель, А. В. Морозов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика.– 2005.– № 8.– С. 161–172.
20. Sen S. K. A Self-Checking Circuit for Concurrent Checking by 1-out-of-4 code with Design Optimization using Constraint Don't Cares / S. K. Sen // Nat. Conf. on Emerging trends and advances in Electrical Eng. and Renewable Energy (NCEEERE 2010), Sikkim Manipal Inst. of Technol., Sikkim, held during, 22–24 Dec. 2010.– Sikkim, 2010.
21. Аксёнова Г. П. Необходимые и достаточные условия построения полностью проверяемых схем свертки по модулю 2 / Г. П. Аксёнова // Автоматика и телемеханика.– 1979.– № 9.– С. 126–135.
22. Collection of Digital Design Benchmarks.– URL : <http://ddd.fit.cvut.cz/prj/Benchmarks>.
23. Sentovich E. M. SIS : A System for Sequential Circuit Synthesis / E. M. Sentovich, K. J. Singh, L. Lavagno et al. // Electron. Res. Lab., Department of Electr. Eng. and Comput. Sci., Univ. California, Berkeley, 4 May 1992.– Berkeley, 1992.– 45 p.

# **One way of formation of totally self-checking structures of concurrent error detection systems based on “1-out-of-4” code**

D. V. Pivovarov

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

The way of organization of concurrent error detection system by logical complement method based on constant-weight code “1-out-of-4” is offered. Complement functions that allow forming the variety of test combinations for the checker as well as for XORs in concurrent error detection system structure are adduced. Results of comparison of the given way of complement functions definition with the known one are adduced too.

**Keywords:** concurrent error detection system; logical complement; structural redundancy; code “1-out-of-4”; totally self-checking structure; testing.

## **Сведения об авторе**

*ПИВОВАРОВ Дмитрий Вячеславович – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;*  
*e-mail:* pivovarov.d.v.spb@gmail.com

© Пивоваров Д. В., 2016

# МОДУЛЬНО-ВЗВЕШЕННЫЙ КОД С СУММИРОВАНИЕМ С ПРЯМОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬЮ ВЕСОВ В СРАВНЕНИИ С МОДУЛЬНЫМ КОДОМ ХЭММИНГА

Д. А. Никитин

В работе анализируются характеристики классических кодов с суммированием, модульно-взвешенного кода с прямой последовательностью весов и модульного кода Хэмминга при построении систем функционального диагностирования. Представлены результаты сравнения обнаруживающей способности кодов, а также занимаемой площади на кристалле для реализации конкретных примеров.

**Ключевые слова:** система функционального контроля; эффективность кода; код Бергера; оптимальный код; взвешивание разрядов; модульный код; избыточность; обнаруживающая способность.

## Введение

При повышении надежности логических устройств, входящих в любую современную систему управления технологическими процессами, принято рассматривать аппаратную и программную избыточность [1, 2]. С развитием мощностей вычислительных устройств стало возможным сокращение аппаратной избыточности за счет увеличения программной. При проектировании систем функционального контроля это можно реализовать с помощью систематических кодов [3–5].

Система функционального контроля (рис. 1) состоит из блока основной логики, блока контрольной логики, а также самопроверяемого тестера. Блок  $f(x)$  – блок основной логики, который реализует на выходах систему булевых функций  $f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)$ . Блок дополнительной логики  $g(x)$  вычисляет значения функций  $g_1(x), g_2(x), \dots, g_k(x)$  по заранее определенному алгоритму на основе входных данных.

При возникновении искажений в блоках  $f(x)$  и  $g(x)$  изменяются значения разрядов выходного вектора  $\langle f_1 \dots f_m \ g_1 \dots g_k \rangle$ , эти изменения фиксируются с помощью самопроверяемого тестера. Такой подход получил название «метод вычисления контрольных разрядов», он может быть реализован с помощью помехоустойчивых кодов. При его использовании выходы контроли-

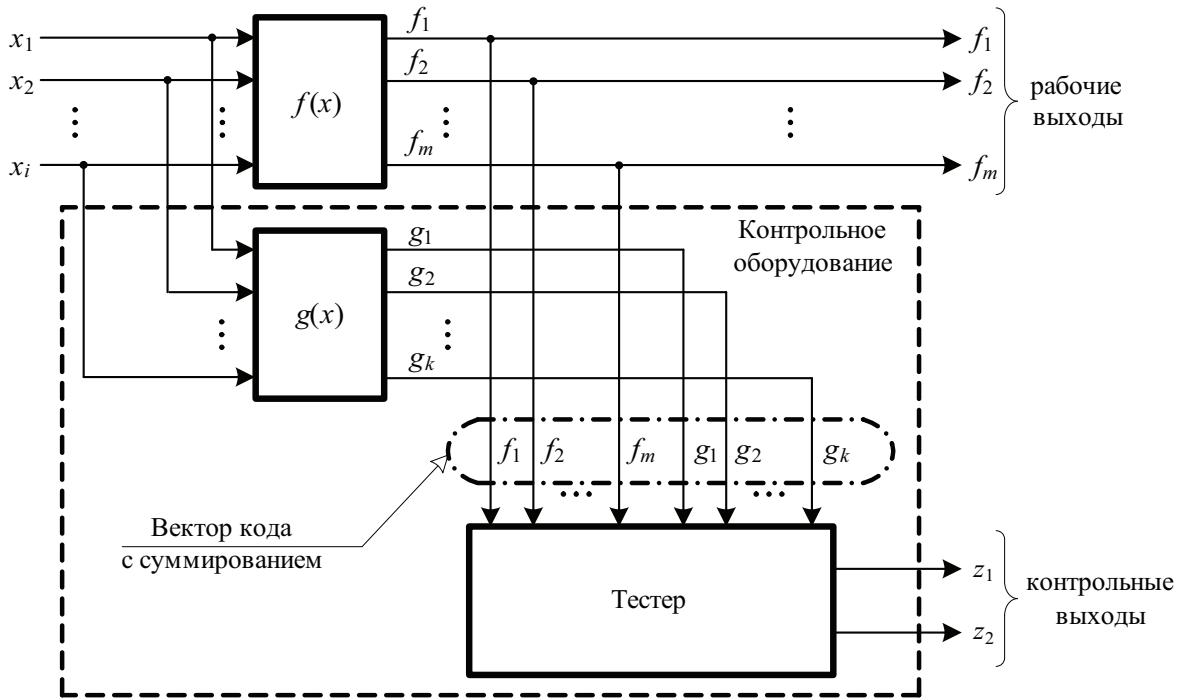


Рис. 1. Структурная схема системы функциональной диагностики

руемой схемы ставятся в соответствие информационным разрядам, а выходы блока контрольной логики – контрольным разрядам, при этом значения контрольных разрядов вычисляют на основе заранее установленных правил в зависимости от выбранного кода.

Например, для рассматриваемых задач эффективно применяют коды с суммированием. В классическом коде с суммированием (коде Бергера) проверочные биты рассчитывают путем суммирования единичных разрядов информационного вектора и представления полученного числа в двоичном виде. Код обозначается как  $S(m,k)$ , в котором  $m$  – число информационных разрядов,  $k$  – число контрольных разрядов.

Свойства классического кода с суммированием детально изучены в [6–10]. Код  $S(m,k)$  обладает низкими возможностями по обнаружению ошибок в информационных векторах в области малой кратности: не обнаруживает 50% двукратных искажений, 37,5% четырехкратных, 31,5% шестикратных [11]. Установлено, что для кодов с длиной информационных векторов  $m = 2–15$  доля необнаруживаемых искажений информационных векторов от общего числа искажений превышает значение  $\gamma = 14\%$ , а для кода с  $m = 4$  равна максимальной величине 22,5 % всех искажений [12].

Кроме коэффициента  $\gamma$  для оценки характеристик кодов по обнаружению ошибок в информационных векторах используют коэффициент эффективности кода при заданных значениях  $m$  и  $k$  [13, 14]. Коэффициент эффективности  $\xi$  показывает, насколько рассматриваемый разделимый код ближе к оптимальному по критерию общего количества необнаруживаемых искажений для за-

данных значений  $m$  и  $k$ . Оптимальный код имеет равномерное распределение всех  $2^m$  информационных векторов между всеми  $2^k$  контрольными векторами. Таким образом, коэффициент  $\xi$  определяется как отношение числа необнаруженных ошибок в оптимальном коде (величины  $N_{m,k}^{\min}$ ) к числу необнаруженных искажений в рассматриваемом коде (величине  $N_{m,k}$ )

$$\xi = \frac{N_{m,k}^{\min}}{N_{m,k}}.$$

## 1. Модульно-модифицированный код с суммированием с прямой последовательностью весов

Одним из способов повышения эффективности кода с суммированием является его модификация путем взвешивания разрядов прямой последовательностью весов и операциями по следующему алгоритму [15]:

1. Выбирается модуль  $M = 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil}$ ;
2. Вычисляется весовой коэффициент  $W$  как сумма единичных разрядов, помноженных на их вес;
3. Происходит модификация по правилу:  $W_m = W \bmod M$ ;
4.  $W_m$  записывается в контрольный вектор в двоичном виде.

Обозначим данный код как  $WSM(m,k)$ -код. Подобный способ модификации не увеличивает число контрольных разрядов по сравнению с  $S(m,k)$ -кодом, но при этом информационные векторы между контрольными группами распределяются более равномерно, что позволяет построить оптимальный код с точки зрения обнаружения ошибок при заданных  $m$  и  $k$ . В табл. 1, 2 представлены распределения информационных векторов в  $S(4,3)$ - и в  $WS8(4,3)$ -кодах.

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

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

**Таблица 2.** Распределение информационных векторов  $WS8(4,3)$ -кода

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

$WSM(m,k)$ -код можно сравнить с модификацией кода Хэмминга модульным способом, рассмотренным в [16], так как оба они имеют одинаковое количество контрольных разрядов для всех длин информационных векторов, а также схожи по правилам построения контрольного вектора, который вычисляется по одному модулю  $M = 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil}$ .

## 2. Код Хэмминга и его модификация

Классический код Хэмминга в качестве контрольной информации содержит в себе биты четности некоторых заранее определенных информационных разрядов [17]. При этом в информационной последовательности контрольные биты занимают позиции с номерами степеней двойки, т. е. для информационного слова  $<01000100>$  добавятся контрольные биты для  $2^0, 2^1, 2^2, 2^3$ . Итоговое сообщение будет выглядеть так:  $<XX0X100X0100>$ , где X – значение контрольного разряда, вычисляемое по определенному правилу. При этом контрольный бит с номером N контролирует все последующие N бит через каждые N бит. То есть для информационной последовательности  $<1011>$  итоговый вектор равен  $<g_1, g_2, 1, g_3, 0, 1, 1>$  ( $<g_1, g_2, f_1, g_3, f_2, f_3, f_4>$ ), следовательно, по правилу построения кода Хэмминга,

$$g_1 = f_1 \oplus f_2 \oplus f_4 = 0;$$

$$g_2 = f_2 \oplus f_3 \oplus f_4 = 1;$$

$$g_3 = f_1 \oplus f_3 \oplus f_4 = 0.$$

Итак, для информационного вектора  $<1011>$  кодовое слово будет выглядеть так:  $<0110011>$ .

Как известно, код Хэмминга позволяет не только обнаруживать, но и исправлять ошибки, однако для построения систем функционального контроля использует лишь свойство обнаружения ошибок.

В работе [16] доказано, что он является оптимальным с точки зрения обнаружения ошибок при фиксированных  $m$  и  $k$  (табл. 3).

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

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

Однако не для всех длин информационных разрядов избыточность кода Хэмминга будет такой же, как и для  $S(m,k)$ - $, WSM(m,k)$ -кодов. Например, код Хэмминга при  $m = 5$  будет иметь четыре контрольных разряда, а классический код с суммированием и модульный код с суммированием с прямой последовательностью весов – три избыточных разряда. Для уменьшения количества информационных разрядов можно построить модульный код Хэмминга с таким же модулем, который используется в  $WSM(m,k)$ -кодах, а именно  $M = 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil}$ . Такой подход примерно в два раза увеличивает число необнаруживаемых ошибок по сравнению с классическим кодом Хэмминга [16]. Модульным кодом Хэмминга не обнаруживается часть односторонних искажений, что приводит к наложению ограничений при проектировании систем функционального контроля с независимыми и монотонно независимыми выходами [18].

### 3. Сравнение кодов с суммированием и кодов Хэмминга

В табл. 4 представлены результаты расчетов общего количества ошибок в информационном векторе рассматриваемых кодов. Очевидно, что с точки зрения общего количества обнаруживаемых ошибок коды  $WSM(m,k)$  и  $HM(m,k)$  одинаковы, оба они являются оптимальными и обладают лучшими характеристиками по обнаружению ошибок по сравнению с классическими кодами Бергера. Рассмотрим применение данных кодов на практике при проектировании систем функционального контроля с использованием контрольных схем LGSynth89 [19] и специально разработанного программного обеспечения, позволяющего определить число необнаруживаемых искажений по кратностям в системе функционального контроля, а также вычислить площадь системы на кристалле с помощью интерпретатора SIS в условных единицах используемой программы [20].

Все схемы обработаны с помощью стандартных библиотек функциональных элементов nor.genlib и stdcell2\_2.genlib, также для сравнения кодов  $WSM(m,k)$  и  $HM(m,k)$  введен коэффициент  $\sigma$ :

$$\sigma = \frac{L^{WSM}}{L^{HM}}.$$

**Таблица 4.** Сравнение кодов с точки зрения обнаружения ошибок

$m$	$k$	$N_m$ для $S(m,k)$	$N_m$ для $WSM(m,k)$ и $HM(m,k)$	Общее число искажений $N_{sum}$
3	2	12	8	56
4	3	54	16	240
5	3	220	96	992
6	3	860	448	4032
7	3	3304	1920	16256
8	4	12614	3840	65280
9	4	48108	15872	261632
10	4	183732	64512	1047552
11	4	703384	260096	4192256
12	4	2700060	1044480	16773120
13	4	10392408	4186112	67100672
14	4	40100216	16760832	268419072
15	4	155084752	67076096	1073709056
16	5	601014854	134152192	4294901760
17	5	2333475148	536739840	17179738112
18	5	9074873156	2147221504	68719214592
19	5	35344739512	8589410304	274877382656
20	5	137845480244	34358689792	1099510579200

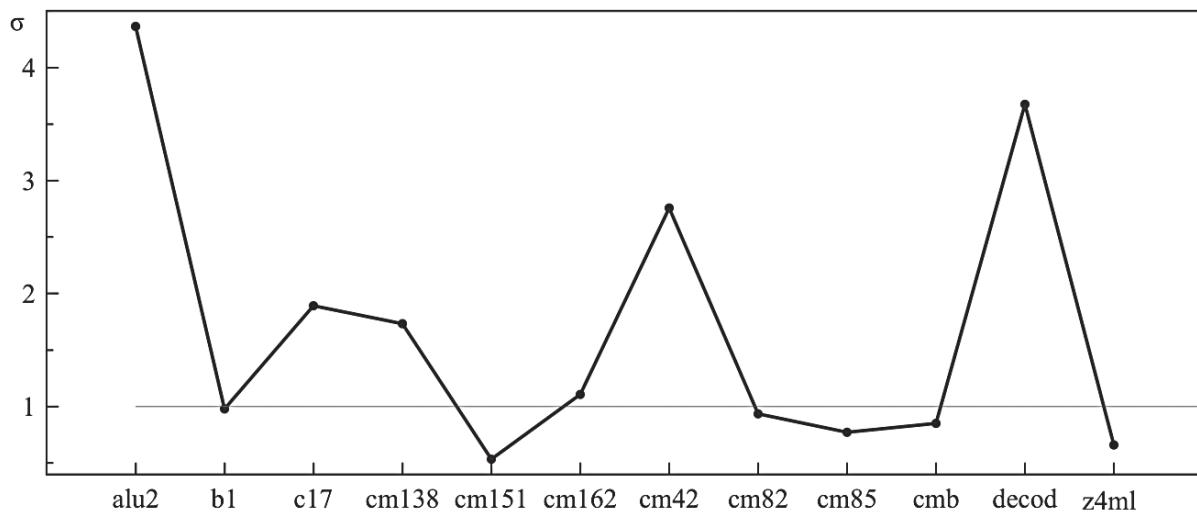
Данный показатель позволяет определить, во сколько раз занимаемая площадь при использовании взвешенного модульного кода с суммированием с прямой последовательностью весов отличается от площади при использовании  $HM(m,k)$ -кода. При  $\sigma < 1$  выгоднее применять  $WSM(m,k)$ -код, в случае  $\sigma > 1$  модульный код Хэмминга имеет преимущество при организации систем функционального контроля. В табл. 5 представлены результаты сравнения занимаемых площадей при проектировании систем функционального контроля для  $WSM(m,k)$ - и  $HM(m,k)$ -кодов.

Из графика на рис. 2 следует, что зачастую применение  $WSM(m,k)$ -кода дает выигрыш с точки зрения занимаемой площади, а именно для 6 из 12 рассмотренных тестовых схем, также для некоторых случаев характерно более выгодное использование кодирования Хэмминга с разницей в 2–4 раза.

Далее сравним обнаруживающие характеристики данных кодов с точки зрения общего количества необнаруживаемых искажений на том же самом наборе тестовых схем (табл. 6).

**Таблица 5.** Сравнение занимаемой площади на контрольных примерах

Контрольная схема	Площадь контрольной схемы, усл. ед.	Площадь системы функционального контроля в stdcell.genlib, усл. ед.		$\sigma$
		$WSM(m,k)$	$HM(m,k)$	
alu2	8856	11280	2584	4,365
b1	304	1144	1168	0,979
c17	256	560	296	1,892
cm138a	560	4576	2640	1,733
cm151a	760	312	584	0,534
cm162a	1176	4464	4032	1,107
cm42a	640	9352	3392	2,757
cm82a	656	1160	1240	0,935
cm85a	992	1568	2032	0,772
cmb	1248	1368	1608	0,851
decod	800	20552	5592	3,675
z4ml	1600	3024	4584	0,66



**Рис. 2.** Сравнение занимаемой площади для контрольных примеров

С точки зрения обнаружения ошибок модульно взвешенный код обладает лучшими обнаруживающими способностями для данных контрольных схем. Несмотря на то, что оба кода оптимальны, для каждого конкретного примера результаты использования того или иного способа кодирования могут быть различны вследствие того, что на выходах контрольных схем присутствуют не все возможные информационные слова, а только наборы информационных векторов, полученных в результате работы логических устройств.

**Таблица 6.** Сравнение обнаруживающей способности на контрольных примерах

Контрольная схема	Число выходов	Общее количество необнаруживаемых ошибок	
		$WSM(m,k)$	$HM(m,k)$
alu2	6	805	229
b1	4	0	0
c17	2	0	90
cm138a	8	0	0
cm151a	2	0	0
cm162a	5	6277	6583
cm42a	10	0	0
cm82a	3	4	4
cm85a	3	0	0
cmb	4	0	0
decod	16	0	0
z4ml	4	0	0

## Выводы

Исследование модульно взвешенных кодов дает показатели, сравнимые с модульным кодом Хэмминга с точки зрения общего количества необнаруживаемых искажений. Однако при проектировании систем функционального контроля на реальных комбинационных схемах результат исследований продемонстрировал, что зачастую при меньшей аппаратной избыточности  $WSM(m,k)$ -код дает лучший результат по обнаружению ошибок, чем  $HM(m,k)$ -код, и его использование более целесообразно для внедрения на практике.

## Библиографический список

- 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.
- Согомонян Е. С. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы / Е. С. Согомонян, Е. В. Слабаков. – М. : Радио и связь, 1989. – 208 с.
- Сапожников Вал. В. Сравнение структур систем функционального контроля, организованных по классическим и модифицированным кодам Бергера / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, М. Р. Черепанова // Изв. ПГУПС. – 2015. – Вып. 3. – С. 173–183.
- Sapozhnikov Val. Modular Sum Code in Building Testable Discrete Systems / Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov, D. Efanov // Proc. 13th IEEE East-West Design & Test Symp.

- (EWDTS'2015), Batumi, Georgia, 26–29 Sept. 2015.– Georgia, 2015.– P. 181–187. DOI 10.1109/EWDTS.2015.7493133.
5. Nicolaidis M. On-Line Testing for VLSI – A Compendium of Approaches / M. Nicolaidis, Y. Zorian // J. Electron. Test. : Theory Appl. – 1998.– Vol. 12, Is. 1–2 (Feb. / Apr.).– P. 7–20.
  6. 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.
  7. Сапожников Вал. В. Предельные свойства кода с суммированием / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Изв. ПГУПС.– 2010.– Вып. 3.– С. 290–299.
  8. Ефанов Д. В. Три теоремы о кодах Бергера в схемах встроенного контроля / Д. В. Ефанов // Информатика и системы управления – 2013.– № 1.– С. 77–86.
  9. Сапожников Вал. В. Классические и взвешенные коды Бергера в системах функционального контроля / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Развитие элементной базы и совершенствование методов построения устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. научн. трудов ; под. ред. Вл. В. Сапожникова.– СПб. : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2014.– С. 81–88.
  10. 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.
  11. Sapozhnikov Val. Analysis of Error-Detection Possibilities of CED Circuits Based on Hamming and Berger Codes / Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov, D. Efanov, A. Blyudov // Proc. 11th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTS'2013), Rostov-on-Don, Russia, 27–30 Sept. 2013.– Rostov-on-Don, 2013.– P. 200–207. DOI 10.1109/EWDTS.2013.6673097.
  12. Сапожников Вал. В. Модульные коды с суммированием в системах функционального контроля. I. Свойства обнаружения ошибок кодами в информационных векторах / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, М. Р. Черепанова // Электронное моделирование.– 2016.– Т. 38, № 2.– С. 27–48.
  13. 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.
  14. Efanov D. On the Problem of Selection of Code with Summation for Combinational Circuit Test Organization / D. Efanov, Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov, A. Blyudov // Proc. 11th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTS'2013), Rostov-on-Don, Russia, 27–30 Sept. 2013.– Rostov-on-Don, 2013.– P. 261–266. DOI 10.1109/EWDTS.2013.6673133.
  15. Сапожников Вал. В. Модульно взвешенный код с суммированием для систем технического диагностирования / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, Д. А. Никитин // Информатика и системы управления.– 2015.– № 3.– С. 53–62.
  16. Сапожников Вал. В. Исследование свойств кодов Хэмминга и их модификаций в системах функционального контроля / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Автоматика на транспорте.– 2015.– Т. 1, № 3.– С. 311–337.
  17. Hamming R. W. Error Detecting and Correcting Codes / R. W. Hamming // Bell Syst. Tech. J.– 1950.– № 29 (2).– P. 147–160.

18. Morosow A. Self-Checking Combinational Circuits with Unidirectionally Independent Outputs / A. Morosow, Val. V. Sapozhnikov, Vl. V. Sapozhnikov, M. Goessel // VLSI Des. – 1998. – Vol. 5, Is. 4. – P. 333–345.
19. Benchmarks : LGSynth89. – URL : <http://www.cbl.ncsu.edu:16080/benchmarks/LG-Synth89/mlexamples>.
20. Sentovich E. M. SIS : A System for Sequential Circuit Synthesis / E. M. Sentovich, K. J. Singh, L. Lavagno et al. // Electron. Res. Lab., Department of Electr. Eng. and Comput. Sci., Univ. California, Berkeley, 4 May 1992. – Berkeley, 1992. – 45 p.

## **Modulo-weighted code with summation with direct sequence of weights comparing with modulo Hamming code**

D.A. Nikitin

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

Author performs the analysis of characteristics of classic code with summation, modulo-weighted code with direct sequence of weights and modulo Hamming code for concurrent error detection systems formation. Error detection ability and area on the chip for some specific examples comparisons are adduced.

**Keywords:** concurrent error detection system; code efficiency; Berger code; optimal code; bit weighing; modulo code; redundancy; detection ability.

### **Сведения об авторе**

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

© Никитин Д. А., 2016

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ОШИБОК В ИНФОРМАЦИОННЫХ ВЕКТОРАХ КОДОВ БЕРГЕРА ЗА СЧЕТ ВЗВЕШИВАНИЯ ОДНОГО РАЗРЯДА

**Д. В. Ефанов, А. А. Правдухина, М. В. Тимошенков**

Предлагается способ повышения эффективности обнаружения ошибок в информационных векторах кодов с суммированием, основанный на взвешивании одного разряда и вычислении наименьшего неотрицательного вычета суммарного веса по модулю кода Бергера. Данный подход практически вдвое уменьшает вероятность возникновения необнаруживаемой ошибки по сравнению с кодом Бергера.

**Ключевые слова:** код Бергера; взвешенный разряд; код с суммированием с одним взвешенным разрядом; модуль кода Бергера; вероятность обнаружения ошибки.

## Введение

В задачах технической диагностики часто используют коды с суммированием [1–8]. Их особенность состоит в том, что значения разрядов контрольных векторов в них получаются по значениям разрядов информационных векторов благодаря операциям суммирования значений разрядов или весовых коэффициентов, приписанных им. Такие коды обладают небольшой избыточностью и способны обнаруживать ошибки различных кратностей и видов в информационных векторах, что и используется для создания систем с небольшой структурной избыточностью и приемлемыми диагностическими свойствами.

Одним из часто применяемых кодов с суммированием является код Бергера [9], получаемый следующим образом: в разряды контрольных векторов записывается двоичное число, равное числу единичных разрядов в информационных векторах. Такой способ построения кода позволяет ему идентифицировать любые монотонные и асимметричные искажения в информационных векторах, однако в классе необнаруживаемых остаются все 100 % симметричных искажений [10]. Свойства кодов Бергера в системах технического диагностирования дискретных систем изучены в [11].

Несмотря на популярность кодов Бергера в технической диагностике, они не лишены недостатков. Прежде всего, они крайне неэффективно используют разряды контрольных векторов: всем информационным векторам с одинаковым весом  $r \in [0; m]$  соответствует один и тот же контрольный век-

тор, а их количество при различных значениях  $r$ , естественно, различно (например, при  $m \neq 2^j, j = 1, 2, \dots$  часть контрольных векторов вообще не используется). Повысить эффективность обнаружения ошибок в информационных векторах можно за счет взвешивания одного из разрядов [12–16]. Взвешивание, однако, увеличивает количество разрядов в контрольных векторах кода и усложняет контрольную аппаратуру при нарушении соотношения

$$w < 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil} - m + 1,$$

где запись  $\lceil \dots \rceil$  обозначает целое сверху от вычисляемого значения.

Рассмотрим класс кодов, для которых применен принцип взвешивания одного из разрядов каким-либо натуральным числом, однако суммарный вес информационного вектора вычисляется как сумма по модулю  $M = 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil}$  всех весовых коэффициентов единичных разрядов информационного вектора.

## 1. Модульно взвешенный код с суммированием

Правила построения кода с суммированием следующие:

1. Одному из разрядов информационного вектора присваивается вес  $w$  – некоторое натуральное число; остальным разрядам присвоен вес, равный 1;
2. Устанавливается значение модуля  $M = 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil}$  (модуль кода Бергера);
3. Суммируются весовые коэффициенты единичных информационных разрядов;
4. Определяется наименьший неотрицательный вычет полученного числа по установленному модулю;
5. Полученное десятичное число представляется в двоичном виде и записывается в разряды контрольного вектора.

Код с суммированием, который строится по приведенным выше правилам, обозначим как  $WSM(m,k,w)$ -код, где  $m$  и  $k$  – длина информационных и контрольных векторов, соответственно.

На первый взгляд может показаться, что значение весового коэффициента  $w$  может быть любым. Однако это не так.

**Теорема.** Для данной длины информационного вектора могут быть построены  $mq$   $WSM(m,k,w)$ -кодов, обладающих различными характеристиками обнаружения ошибок в информационных векторах, где

$$q = 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil} - 1. \quad (1)$$

**Доказательство.** Определим с чем связано ограничение (1). Так как при построении кода определяется наименьший неотрицательный вычет суммар-

ного веса информационного вектора по модулю  $M = 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil}$ , все числа вида  $a + 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil}$ , где  $a = \{1; 2; \dots; 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil} - 1\}$ , будут иметь одинаковое значение вычетов. При  $a = 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil}$  вычет по модулю  $M = 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil}$  будет равен нулю и в сумму весовых коэффициентов не будет добавлено ничего. Другими словами, разряд с таким весом не будет контролироваться в контрольном векторе и код не будет принадлежать к классу помехоустойчивых. Таким образом, число  $a = \{1; 2; \dots; 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil} - 1\}$  можно выбрать из множества  $a = \{1; 2; \dots; 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil} - 1\}$ . Так как взвесить можно каждый разряд, общее количество вариантов построения кода и будет равно  $mq = m(2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil} - 1)$ .

В качестве примера: при  $m = 10$  можно построить  $10 \cdot (2^{\lceil \log_2(10+1) \rceil} - 1) = 10 \cdot 15 = 150$  различных  $WSM(m, k, w)$ -кодов.

Следует отметить, что если рассматривать свойства кода в общем, при формировании для него всех  $2^m$  информационных векторов, то можно говорить о равнозначности взвешиваемых разрядов и о том, что не столь важно, какой из разрядов взвешен, важно лишь, каким именно натуральным числом.

## 2. Характеристики модульно взвешенных кодов

Рассмотрим некоторые особенности обнаружения ошибок  $WSM(m, k, w)$ -кодами. С использованием специально разработанного программного обеспечения было рассчитано количество необнаруживаемых рассматриваемыми кодами ошибок различной кратностью и различных видов, а также составлены специальные характеристические таблицы  $WSM(m, k, w)$ -кодов при различных значениях  $m$  и  $w$ . Одна из таблиц представлена ниже. В ней даются распределения необнаруживаемых ошибок для  $WSM(10, 4, w)$ -кодов. Анализируя такие таблицы, можно сделать следующие важные выводы:

1. При взвешивании любого разряда значением  $w \geq 2$  количество двукратных необнаруживаемых ошибок в информационных векторах уменьшается по сравнению с кодами Бергера и является одинаковым для всех  $WSM(m, k, w)$ -кодов;

2. При любом значении весового коэффициента  $w \geq 2$  распределения симметричных ошибок в  $WSM(m, k, w)$ -кодах одинаковы;

3. При значении весового коэффициента  $w \leq 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil} - m + 1$   $WSM(m, k, w)$ -коды обнаруживают любые монотонные ошибки в информационных векторах;

4. С увеличением значения  $w$  ( $w \geq 2$ ) для данного семейства  $WSM(m, k, w)$ -кодов количество необнаруживаемых асимметричных ошибок сначала уменьшается, а затем постепенно увеличивается;

Характеристики необнаруживаемых ошибок в  $WS16(10,4,w)$ -кодах

Параметры кода		Необнаруживаемые ошибки кратностью $d$										Общее количество необнаруживаемых ошибок				
$m$	$k$	$w$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Монотон- ных	Симме- тричных	Асимме- тричных	Всех видов
10	4	1	0	23 040	0	80 640	0	67 200	0	12 600	0	252	0	183 732	0	183 732
10	4	2	0	18 432	9216	48 384	32 256	26 880	20 160	2520	2016	0	0	96216	63 648	159 864
10	4	3	0	18 432	0	59 136	0	47 040	0	85 68	0	168	0	96216	37 128	133 344
10	4	4	0	18 432	0	48 384	8064	26 880	8064	2520	1008	0	0	96216	17 136	113 352
10	4	5	0	18 432	0	48 384	0	30 912	0	4536	0	72	0	96216	6120	102 336
10	4	6	0	18 432	0	48 384	0	26 880	1344	2520	288	0	0	96216	1632	97 848
10	4	7	0	18 432	0	48 384	0	26 880	0	2808	0	20	2	96216	306	96 524
10	4	8	0	18 432	0	48 384	0	26 880	0	2520	72	0	36	96216	36	96 288
10	4	9	0	18 432	0	48 384	0	26 880	0	2808	0	20	288	96216	20	96 524
10	4	10	0	18 432	0	48 384	0	26 880	1344	2520	288	0	1344	96216	288	97 848
10	4	11	0	18 432	0	48 384	0	30 912	0	4536	0	72	4032	96216	2088	102 336
10	4	12	0	18 432	0	48 384	8064	26 880	8064	2520	1008	0	8064	96216	9072	113 352
10	4	13	0	18 432	0	59 136	0	47 040	0	8568	0	168	10 752	96216	26 376	133 344
10	4	14	0	18 432	9216	48 384	32 256	26 880	20 160	2520	2016	0	9216	96216	54 432	159 864
10	4	15	0	23 040	0	80 640	0	67 200	0	12 600	0	252	4608	96216	82 908	183 732
10	4	16	1024	18 432	18 432	48 384	48 384	26 880	26 880	2520	2520	0	1024	96216	96216	193 456
Всего ошибок в информационных векторах длины $m = 10$																
10 240	46 080	122 880	215 040	258 048	215 040	122 880	46 080	10 240	10 240	105 810	183 732	747 770	1047 552			

5.  $WSM(m,k,w)$ -коды имеют минимальное общее количество необнаруживаемых ошибок при данной длине информационного вектора в том случае, если  $w = \frac{M}{2}$ .

Указанные свойства помимо таблицы иллюстрируются графиками (рис. 1). Следует отметить, что существенную долю необнаруживаемых  $WSM(m,k,w)$ -кодами ошибок составляют симметричные ошибки, которых практически вдвое меньше, чем в кодах Бергера (сравните графики при  $w = 1$  и при других значениях  $w$ ).

Перераспределение необнаруживаемых ошибок в  $WSM(m,k,w)$ -кодах, возникающее при увеличении значения весового коэффициента, влияет на вероятность возникновения необнаруживаемых ошибок в информационных векторах.

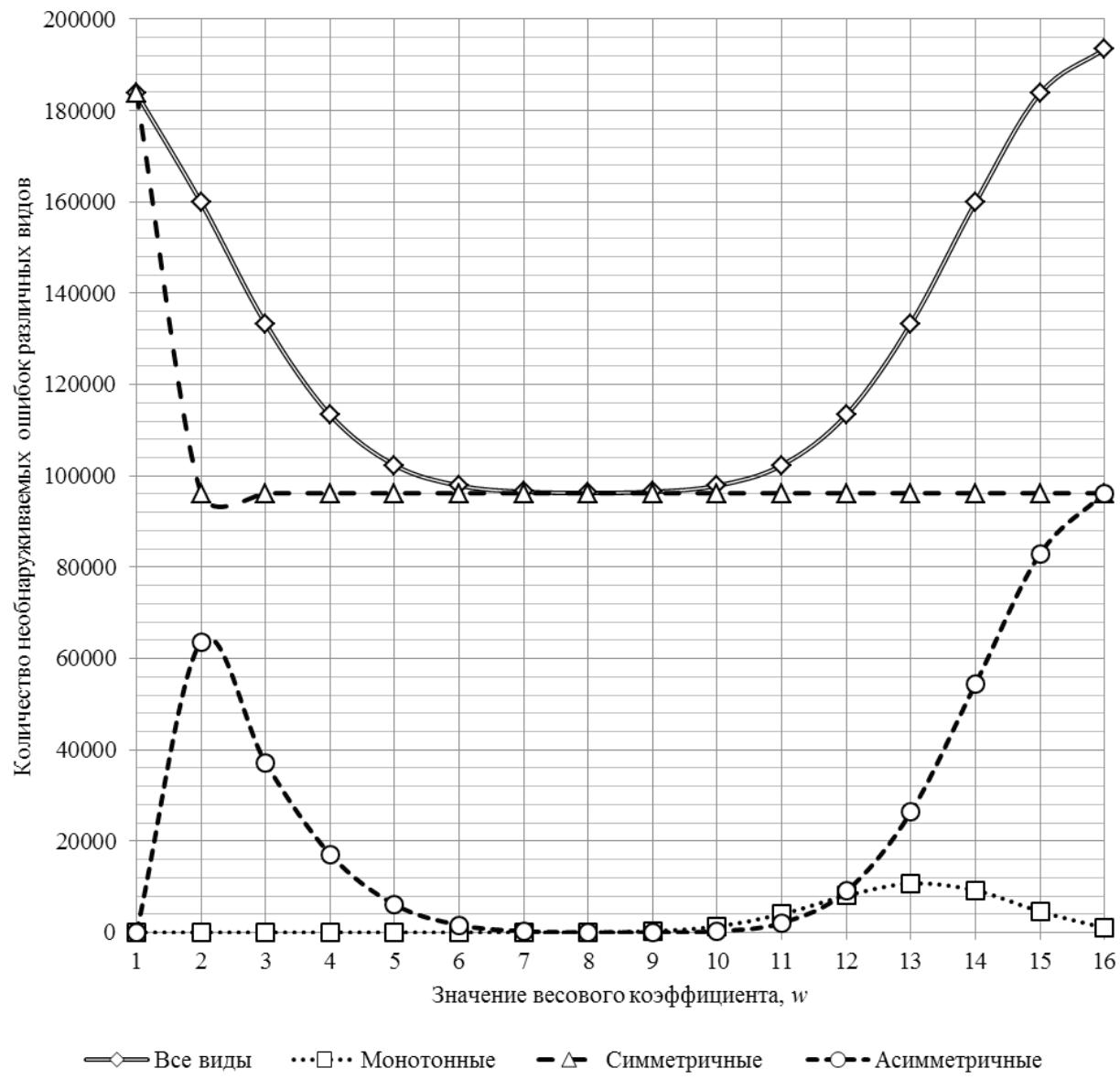


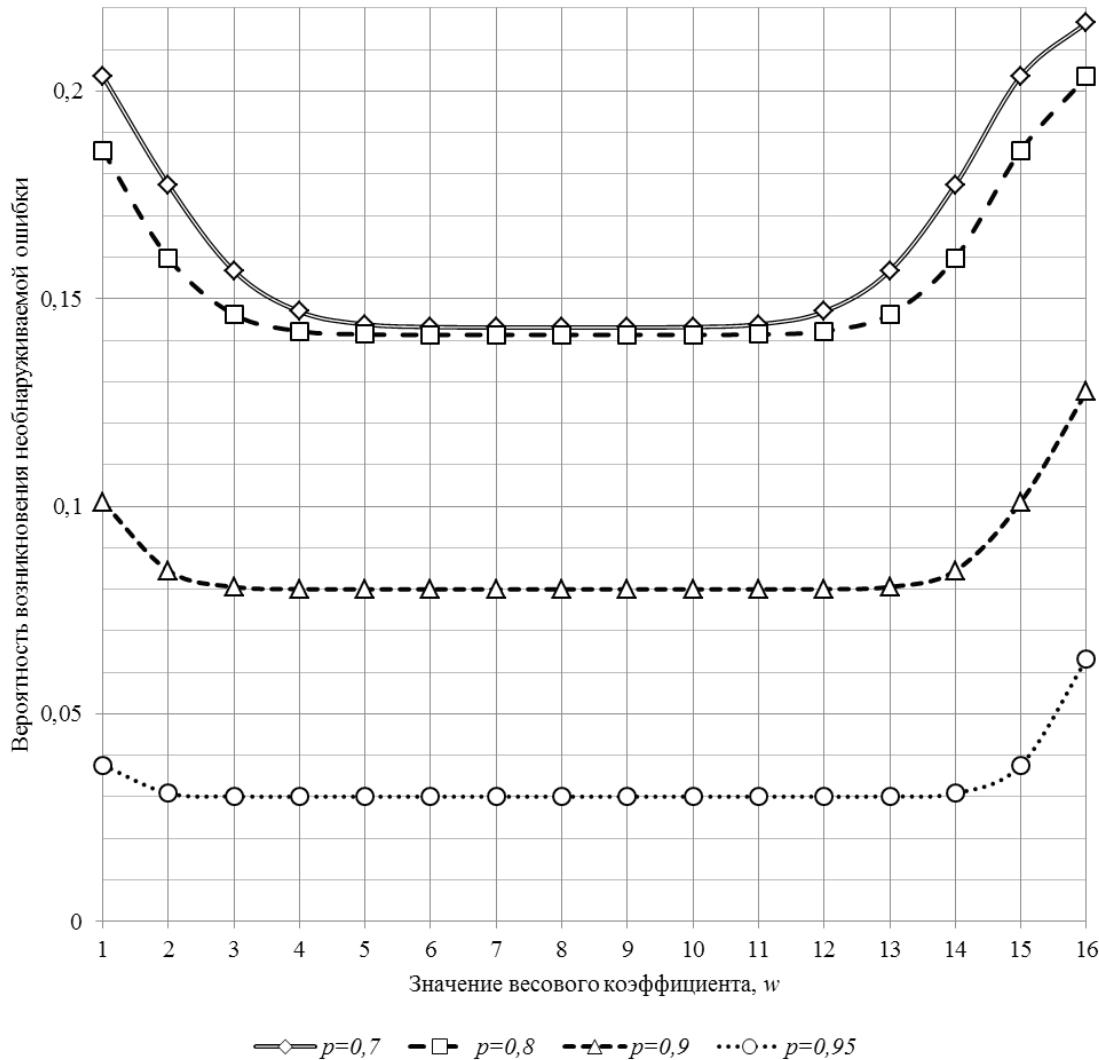
Рис. 1. Количество необнаруживаемых ошибок в информационных векторах  $WS16(10,4,w)$ -кодах при различных значениях  $w$

Пользуясь формулой [17]

$$Q_m = \sum_{d=0}^{d=m} \beta_m^d C_m^d (1-p)^d p^{m-d},$$

где  $\beta_m^d$  – доля необнаруживаемых ошибок кратностью  $d$  от общего количества ошибок данной кратности в информационных векторах длины  $m$ ;  $C_m^d$  – количество искажений кратностью  $d$  в информационных векторах;  $p$  – вероятность отсутствия искажения в одном разряде информационного вектора (при том, что ошибки в разрядах – независимые события);  $p^{m-d}$  – вероятность отсутствия ошибки в  $d$  разрядах;  $(1-p)^d$  – вероятность наличия ошибки в  $d$  разрядах,

можно рассчитать вероятность возникновения необнаруживаемой ошибки в информационных векторах  $WSM(m,k,w)$ -кодов. Для рассматриваемого примера  $WS16(10,4,w)$ -кодов получены результаты, представленные на рис. 2.



**Рис. 2.** Вероятность возникновения необнаруживаемой ошибки в информационных векторах  $WS16(10,4,w)$ -кодов при различных значениях  $w$  и вероятности отсутствия ошибки в одном бите, равной  $p$

Анализируя рис. 1 и 2, можно сделать вывод, что вероятность необнаружения ошибки полностью определяется общим количеством необнаруженных ошибок, значениями вероятности отсутствия искажений в одном разряде и веса взвешенного разряда. С увеличением значения весового коэффициента до значения  $w = \frac{M}{2}$  значение  $Q_m$  постепенно уменьшается. Вероятность возникновения необнаруживаемой ошибки в  $WSM(m,k,w)$ -кодах гораздо меньше вероятности возникновения необнаруживаемой ошибки в кодах Бергера.

## **Выводы**

Предложенный в работе подход к построению кода с суммированием высокоэффективен и позволяет не только сохранить количество контрольных разрядов в коде по сравнению с кодом Бергера, но и улучшить характеристики обнаружения ошибок в информационных векторах. Полученные модульно взвешенные коды с суммированием с учетом установленных свойств обнаружения ими ошибок могут быть использованы в задачах технической диагностики дискретных систем.

## **Библиографический список**

1. McCluskey E. J. Logic Design Principles : With Emphasis on Testable Semicustom Circuits / E. J. McCluskey. – NJ : Prentice Hall PTR, 1986. – 549 p.
2. Согомонян Е. С. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы / Е. С. Согомонян, Е. В. Слабаков. – М. : Радио и связь, 1989. – 208 с.
3. Rao T. R. Error Control Coding for Computer Systems / T. R. Rao, E. Fujiwara. – NY : Prentice Hall, 1989. – 584 p.
4. Сапожников Вал. В. Самопроверяемые дискретные устройства / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 224 с.
5. Goessel M. Error Detection Circuits / M. Goessel, S. Graf. – L : McGraw-Hill, 1994. – 261 p.
6. Das D. Weight-Based Codes and Their Application to Concurrent Error Detection of Multilevel Circuits / D. Das, N.A. Touba // Proc. 17th IEEE Test Symp., USA, California, 1999. – P. 370–376.
7. Das D. Low Cost Concurrent Error Detection Based on Modulo Weight-Based Codes / D. Das, N.A. Touba, M. Seuring, M. Gossel // Proc. 6th IEEE Int. On-Line Testing Workshop (IOLTW), Spain, Palma de Mallorca, 3–5 July 2000. – P. 171–176.
8. Lala P. K. Principles of Modern Digital Design / P. K. Lala. – NJ : John Wiley & Sons, 2007. – 419 p.
9. Berger J. M. A Note on Error Detection Codes for Asymmetric Channels / J. M. Berger // Inf. Control. – 1961. – Vol. 4, Is. 1. – Pp. 68–73.

10. Сапожников Вал. В. Классификация ошибок в информационных векторах систематических кодов / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Изв. вузов. Приборостроение. – 2015. – Т. 58, № 5. – С. 333–343. DOI 10.17586/0021-3454-2015-58-5-333-343.
11. 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.
12. Сапожников Вал. В. Метод построения кода Бергера с повышенной эффективностью обнаружения ошибок в информационных разрядах / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, Д. А. Никитин // Электронное моделирование. – 2013. – Т. 35, № 4. – С. 21–34.
13. Sapozhnikov Val. Combinational Circuits Checking on the Base of Sum Codes with One Weighted Data Bit / Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov, D. Efanov, D. Nikitin // Proc. 12th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTs'2014), Kyev, Ukraine, 26–29 Sept. 2014. – Kyev, 2014. – Р. 126–136. DOI 10.1109/EWDTs.2014.7027064.
14. Сапожников Вал. В. Построение кодов с суммированием с наименьшим количеством необнаруживаемых симметричных ошибок в информационных векторах / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Радиоэлектроника и информатика. – 2014. – № 4. – С. 46–55.
15. Сапожников Вал. В. Исследование свойств кодов с суммированием с одним взвешенным информационным разрядом в системах функционального контроля / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, Д. А. Никитин // Электронное моделирование. – 2015. – Т. 37, № 1. – С. 25–48.
16. Сапожников Вал. В. Контроль комбинационных схем на основе кодов с суммированием с одним взвешенным информационным разрядом / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 4. – С. 564–597.
17. Сапожников Вал. В. Вероятностные свойства кода с суммированием в схемах функционального контроля / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Автоматика и телемеханика железных дорог России. Техника, технология, сертификация : сб. науч. тр. – СПб. : ПГУПС, 2011. – С. 3–13.

## Improvement of efficiency of error detection in Berger code data vectors by weighing of one bit

D. V. Efanov\*, A. A. Pravduhina\*, M. V. Timoshenkov\*\*

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

\*\* Info-communications networks and systems faculty

The Bonch-Bruevich St. Petersburg State University of Telecommunications

The way of efficiency of error detection in Berger code data vectors improvement based on weighing of one bit and calculation of the smallest non-negative deduction of sum-

mary weight by Berger code module is offered. This approach reduces the probability of undetectable error appearance almost twice comparing with Berger code.

**Keywords:** *Berger code; weighted bit; code with summation with one weighted bit; Berger code module; error detection probability.*

## Сведения об авторах

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

*ПРАВДУХИНА Анна Андреевна* – студент факультета «Автоматизация и интеллектуальные технологии» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* 1pravdukhina@mail.ru

*ТИМОШЕНКОВ Максим Викторович* – студент факультета инфокоммуникационных сетей и систем Санкт-Петербургского университета телекоммуникаций им. Бонч-Бруевича  
*e-mail:* timych@pisem.net

© Ефанов Д. В., Правдухина А. А., Тимошенков М. В., 2016

# *Минимизация автоматов*

УДК 681.518.5:004.052.32

## **СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МИНИМИЗАЦИИ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ**

**Н. А. Тришин**

Проанализированы два основных способа минимизации конечных автоматов: алгоритм STAMINA и метод минимизации таблиц переходов, основанный на операции объединения совместимых строк по столбцам таблицы переходов (метод Сапожниковых). Сделаны некоторые сравнительные оценки их эффективности.

**Ключевые слова:** конечный автомат; многотактная схема; *Sequential Interactive System*; STAMINA; вершинная минимизация; дуговая минимизация.

### **Введение**

Автоматы с конечным числом состояний [1–3] представляют собой широкий класс устройств – от простейших релейных устройств типа пусковой кнопки до сложнейших цифровых схем. Модель автомата используется при решении разнообразных задач, связанных с информационными процессами, таких как проектирование систем технического диагностирования, узлов и блоков ЭВМ, устройств промышленной автоматики.

Сложность, а вместе с тем и стоимость конечного автомата, не считая затрат на его проектирование, определяются числом и стоимостью всех технических элементов, составляющих его схемы. Минимальное использование элементов памяти достигается решением задачи минимизации числа внутренних состояний конечного автомата [4–7], которая является одной из задач абстрактного синтеза [8, 9]. Однако не менее важна задача уменьшения числа переходов, что необходимо для сокращения объема памяти ЭВМ, требуемой для представления конечного автомата.

При калифорнийском университете в Беркли была создана система *Sequential Interactive System* (SIS) [10–14], которая представляет собой комплекс программ для логической оптимизации и синтеза как комбинационных, так и многотактных схем. Конечный автомат в данной системе минимизируется благодаря возможностям программы STAMINA [15, 16], в основу которой заложен метод А. Грасселли и Ф. Луччио [17, 18].

После знакомства с SIS перед автором стояла задача показать оптимальный подход к минимизации с помощью программы STAMINA по сравнению с алгоритмом минимизации, основанным на операции объединения совместимых строк по столбцам таблицы переходов. Ведь важную роль играют не просто многотактные схемы, обеспечивающие нужное поведение, эквивалентное поведению исходного описания проектируемой цифровой системы, а схемы, оптимизированные по тем или иным критериям. Вот почему нахождение эффективного алгоритма минимизации представляет интерес как в абстрактной теории автоматов, так и в проектировании схем.

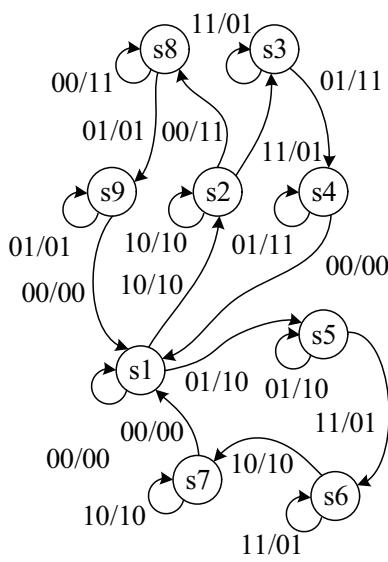
## 1. Основные понятия и исходные данные

При разработке логических устройств используются таблицы, в которых указывается последовательность смены состояний внутренних запоминающих элементов (таблица переходов) и определяются выходные сигналы для каждой комбинации внутренних состояний и состояний входов (таблица выходов). Пусть табл. 1 является совмещенной таблицей переходов и выходов конечного автомата, в котором число его внутренних состояний будет минимизировано. В дальнейшем такая совмещенная таблица будет называться просто таблицей переходов, поскольку она позволяет задавать работу схемы одной таблицей вместо двух.

Один из удобных способов задания конечного автомата – граф переходов. Он обладает большей, чем таблица переходов, наглядностью. Пусть рис. 1 является графиком переходов конечного автомата, в котором число его внутренних состояний будет минимизировано.

**Таблица 1.** Первичная совмещенная таблица переходов и выходов

S	$x_1x_2$			
	<00>	<01>	<10>	<11>
1	(1),00	5,10	2,10	~
2	8,11	~	(2),10	3,01
3	~	4,11	~	(3),01
4	1,00	(4),11	~	~
5	~	(5),10	~	6,01
6	~	~	7,10	(6),01
7	1,00	~	(7),10	~
8	(8),11	9,01	~	~
9	1,00	(9),01	~	~



**Рис. 1.** Исходный график переходов конечного автомата

Что касается исследовательского САПР, все входящие в пакет SIS программы запускаются с помощью строковых команд. Но прежде чем работать с программой STAMINA, необходимо в текстовом редакторе описать конечный автомат согласно синтаксису формата KISS2:

- .i 2 – число входных переменных;
- .o 2 – число выходных переменных;
- .r s1 – начальное состояние.

Последующие строки описываются следующим образом:

Входной алфавит	Текущее состояние	Следующее состояние	Выходной алфавит
	00	s1	s1 00
	01	s1	s5 10
	10	s1	s2 10
	00	s2	s8 11
	10	s2	s2 10
	11	s2	s3 01
	01	s3	s4 11
	11	s3	s3 01
	00	s4	s1 00
	01	s4	s4 11
	01	s5	s5 10
	11	s5	s6 01
	10	s6	s7 10
	11	s6	s6 01
	00	s7	s1 00
	10	s7	s7 10
	00	s8	s8 11
	01	s8	s9 01
	00	s9	s1 00
	01	s9	s9 01

Далее в среде SIS необходимо ввести команду `read_kiss` с указанием пути к файлу, имеющему расширение KISS2 (\*.kiss2). Последующий ввод команды `state_minimize` запустит программу STAMINA для минимизации и формирования результата. Чтобы вывести полученный конечный автомат в формате KISS2, используется команда `write_kiss`.

Стоит отметить, что минимизация конечного автомата по умолчанию происходит согласно точному алгоритму STAMINA, несмотря на наличие эвристик.

## 2. Минимизация конечного автомата методом Сапожниковых

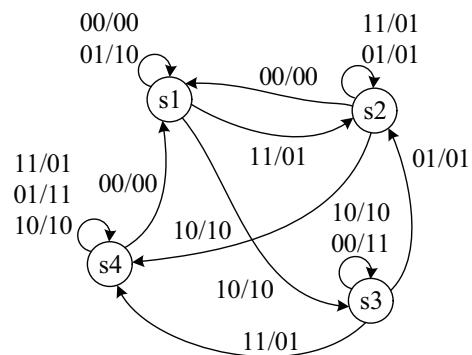
Метод Сапожниковых основан на операции объединения совместимых строк по столбцам таблицы переходов [1, 5, 19]. Такие строки при объединении заполняются одинаково, причем:

- если совмещаются строки, в соответствующих клетках которых указаны одинаковые состояния, одно из которых устойчивое, то в объединенной строке будет устойчивое состояние;
- если совмещаются строки, в соответствующих клетках которых имеются безразличное состояние и любое другое, то записывается последнее;
- если совмещаются строки, в клетках которых присутствуют только безразличные состояния, результатом объединения будет клетка с безразличным состоянием.

Согласно алгоритму, совмещаются строки 1 и 5, образуя состояние  $S_1$ ; 6 и 9 –  $S_2$ ; 2 и 8 –  $S_3$ ; 3, 4 и 7 –  $S_4$ . В результате минимизированная таблица переходов принимает вид табл. 2. Граф переходов изображен на рис. 2.

**Таблица 2.** Таблица переходов, минимизированная по методу Сапожниковых

S	$x_1x_2$			
	<00>	<01>	<10>	<11>
1	(1),00	(1),10	3,10	2,01
2	1,00	(2),01	4,10	(2),01
3	(3),11	2,01	(3),10	4,01
4	1,00	(4),11	(4),10	(4),01



**Рис. 2.** Граф переходов, построенный по табл. 2

### 3. Точное решение задачи минимизации по алгоритму STAMINA

Программа STAMINA предлагает другой вариант минимальной формы исходного конечного автомата (см. табл. 3). Необходимо обратить внимание, что полученные разными способами минимизации графы переходов (рис. 2, 3), на первый взгляд, отличаются друг от друга, поскольку присутствуют переброски дуг, однако поведение исходного конечного автомата с точки зрения циклической структуры графов остается неизменным в обоих случаях.

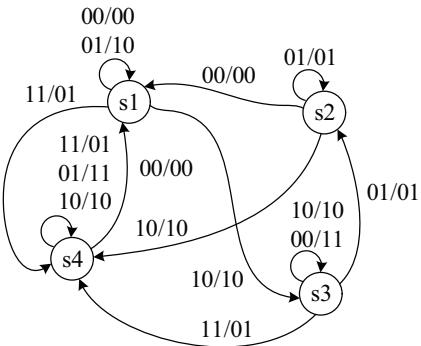
Иное объединение строк табл. 1 связано с тем, что программа учитывала не только входные воздействия, но и состояние конечного автомата на выходах. Другими словами, на втором шаге алгоритма минимизации, описанного в [19], из полученных множеств пересечений строк исключаются все те, которые полностью входят в другие подмножества, причем:

- пустые множества входят в любые множества;
- из одинаковых множеств выбирается любое;
- пересекающиеся множества проверяются на объединение.

Проверка на объединение представляет собой выполнение трех правил, представленных в разделе 2, и дополнительного: если совмещаются строки,

**Таблица 3.** Таблица переходов, минимизированная по алгоритму STAMINA

S	$x_1x_2$			
	<00>	<01>	<10>	<11>
1	(1),00	(1),10	3,10	4,01
2	1,00	(2),01	4,10	4,01
3	(3),11	2,01	(3),10	4,01
4	1,00	(4),11	(4),10	(4),01



**Рис. 3.** Граф переходов, построенный по табл. 3

в соответствующих клетках которых указаны состояния с одинаковыми выходами, то результатом объединения будет состояние, которое не нарушает алгоритм работы конечного автомата.

Ниже приведен пример таблицы переходов конечного автомата (табл. 4), минимизация по числу состояний которой благодаря STAMINA будет наиболее удачной в отличие от другого исследуемого алгоритма [5]. Минимальная форма конечного автомата будет иметь два состояния.

**Таблица 4.** Таблица переходов конечного автомата

S	$x_1x_2$			
	<00>	<01>	<10>	<11>
1	(1),00	3,10	4,10	2,11
2	1,00	~	~	(2),11
3	1,00	(3),10	5,10	(3),10
4	1,00	~	(4),10	5,10
5	1,00	(5),10	~	(5),10

#### 4. Вершинная и дуговая минимизация конечного автомата

Конечный автомат имеет существенный недостаток: при линейном повышении сложности задачи управления возникает экспоненциальный рост количества состояний автомата, что приводит к увеличению затрат памяти на реализацию автомата и времени поиска перехода.

При разных способах представления конечного автомата может быть более важно минимальное число либо состояний, либо переходов. Вершинная минимизация позволяет минимизировать состояния конечного автомата, что полезно для компактного представления этого автомата в памяти компьютера. Однако для сокращения объема требуемой памяти важно сократить не столько общее количество состояний, сколько количество переходов.

По сравнению с алгоритмом минимизации, основанном на методе Сапожниковых, вариант минимальной формы конечного автомата, предложенный STAMINA, отвечает сразу двум критериям минимальности [20]: числу внутренних состояний (вершинная минимизация) и числу переходов (дуговая минимизация).

В [21] даны результаты тестирования представлений автоматов на множестве автоматных моделей с различной насыщенностью. Под насыщенностью понимается отношение числа определенных переходов к числу всех возможных. Важно, что при использовании списка переходов в среднем экономия памяти на представление автоматной модели на ЭВМ составляет 32,8 %, рост производительности операции поиска перехода – 3,48 %.

Обратите внимание, что при минимизации программой STAMINA на шаге выбора оптимального варианта совмещения строк  $W = \{1,5\} \{3,4,6,7\} \{6,7,9\} \{2,8\}$ . Если из максимального подмножества  $\{6,7,9\}$  исключить повторяющиеся номера совместимых строк (в данном случае 6 и 7), то это стало бы причиной появления иной минимизированной таблицы переходов. Она представлена в виде табл. 5, по которой легко определить, что число переходов уменьшилось по сравнению с таблицей переходов, полученной по алгоритму STAMINA (см. табл. 3).

**Таблица 5.** Вариант минимизированной таблицы переходов

S	$x_1x_2$			
	<00>	<01>	<10>	<11>
1	(1),00	(1),10	3,10	4,01
2	1,00	(2),01	~	~
3	(3),11	2,01	(3),10	4,01
4	1,00	(4),11	(4),10	(4),01

Однако стоит учитывать, что на практике для повышения надежности функционирования цифровых схем разработчики обычно доопределяют неопределенные значения функций переходов переходами в дополнительное состояние, в котором формируется сигнал ошибки, и возвратом в начальное состояние.

## 5. Сравнительный анализ исследуемых алгоритмов минимизации

Анализ двух способов получения минимизированного конечного автомата, изложенных в разделах 2 и 3, основывался на результатах эксперимента. Для получения более полного и наглядного представления о возможностях метода Сапожниковых и алгоритма STAMINA результаты исследования сведены в табл. 6. Исходными данными приняты число состояний  $N_s$  и

**Таблица 6.** Сравнительная таблица алгоритмов минимизации

№ КА	$N_s$	$N_t$	$S$	Алгоритм Сапожниковых						Алгоритм STAMINA					
				$N_s$	%	$N_t$	%	$S$	%	$N_s$	%	$N_t$	%	$S$	%
1	9	20	1264	5	44	15	25	1040	18	5	44	17	15	864	32
2	8	19	992	4	50	13	32	528	47	4	50	14	26	672	32
3	9	20	992	5	44	16	20	888	10	5	44	17	15	832	16
4	9	20	1360	5	44	16	20	888	35	5	44	17	15	976	28
5	9	20	1280	5	44	16	20	944	26	5	44	19	5	1168	9
6	9	20	1208	6	33	18	10	1288	-7	6	33	21	-5	968	20
7	9	20	1064	5	44	16	20	904	15	5	44	17	15	928	13
8	9	20	1128	5	44	16	20	880	22	5	44	18	10	1008	11
9	9	20	1496	6	33	19	5	1296	13	6	33	23	-15	944	37
10	8	19	1232	5	38	16	16	800	35	5	38	20	-5	880	29
11	9	21	1232	5	44	19	10	1328	-8	5	44	21	0	1104	10
12	9	20	1136	5	44	16	20	960	15	5	44	16	20	960	15
13	8	19	1000	5	38	15	21	960	4	5	38	16	16	960	4
14	8	18	968	6	25	16	11	792	18	6	25	17	6	728	25
15	9	21	1536	6	33	19	10	1224	20	6	33	22	-5	1088	29
16	7	17	760	4	43	12	29	520	32	4	43	14	18	480	37
17	7	16	832	4	43	13	19	648	22	4	43	15	6	432	48
18	8	19	976	4	50	15	21	752	23	4	50	16	16	704	28
19	9	20	1296	5	44	16	20	984	24	4	56	16	20	672	48
20	8	19	1160	5	38	16	16	912	21	4	50	14	26	808	30
21	8	19	920	5	38	14	26	784	15	4	50	15	21	512	44
22	6	16	576	3	50	10	38	504	13	3	50	11	31	488	15
23	9	20	1072	5	44	16	20	736	31	5	44	18	10	1000	7
24	9	20	1512	5	44	18	10	1016	33	5	44	20	0	1048	31
25	7	17	928	4	43	12	29	536	42	4	43	14	18	576	38
26	7	16	912	4	43	13	19	576	37	3	57	11	31	512	44
27	9	20	1232	5	44	16	20	832	32	5	44	18	10	1032	16
28	7	17	856	4	43	14	18	592	31	4	43	16	6	512	40
29	8	19	1160	4	50	14	26	632	46	4	50	16	16	624	46
30	6	16	544	3	50	10	38	520	4	3	50	11	31	520	4
31	9	22	1336	4	56	15	32	744	44	4	56	15	32	744	44
Среднее значение				43	X	21	X	23	X	44	X	13	X	27	

переходов  $N_T$ , а также занимаемая площадь  $S$  исследуемых конечных автоматов. В зависимости от выбранного метода минимизации перечисленные величины изменили свои значения. Чтобы увидеть способность того или иного алгоритма осуществлять минимизацию по одному из уже упомянутых исходных критериев, был вычислен средний процент уменьшения этих величин.

Исследование проводилось в среде SIS для 31 частично определенного конечного автомата, которые заданы в виде циклической вход-выходной последовательности в пособии «Построение и минимизация таблиц переходов» [19]. В качестве библиотеки логических элементов, по которой строилась многотактная схема, использовалась стандартная библиотека stdcell2\_2.genlib.

По данным табл. 6 трудно однозначно выбрать оптимальный алгоритм минимизации. Алгоритм STAMINA эффективен в минимизации не только числа состояний, но и площади реализуемой схемы. Уменьшение количества состояний исходного конечного автомата в среднем составляет 44 %. Несмотря на это, алгоритм Сапожниковых совершает вершинную минимизацию на 43 %, что незначительно отличает его от STAMINA. Другими словами, метод минимизации конечных автоматов, предложенный Сапожниковыми, не всегда дает минимальный по числу состояний автомат. Однако благодаря ему уменьшается число переходов исходного конечного автомата во всех случаях. STAMINA делает это хуже в среднем приблизительно в два раза.

Стоит отметить, по результатам эксперимента видно, что в некоторых случаях возникают избыточность площади при минимизации методом Сапожниковых (конечный автомат № 6, 11) и увеличение числа переходов (конечный автомат № 6, 9, 10, 15) при использовании алгоритма STAMINA.

Такое положение вещей свидетельствует, что каждый алгоритм хорош по-своему и ни один из них не идеален.

## Выводы

Большое значение при проектировании многотактных схем имеет минимизация числа внутренних состояний конечного автомата с целью сокращения формы записи автомата и построения на минимальном количестве элементов памяти. Однако в некоторых случаях важную роль играет сокращение общего числа переходов.

Программа минимизации STAMINA дает возможность в ряде случаев более точно, чем это производится с помощью метода Сапожниковых, находить минимальные формы конечных автоматов по числу состояний и как следствие – оптимальные реализации автоматов по площади. Несмотря на это, алгоритм Сапожниковых очень удобен при дуговой минимизации. Это обосновано тем, что экономное представление автомата в памяти часто связано с ускорением работы алгоритмов, моделирующих функционирование автоматов.

Данный материал можно применить для минимизации конечного автомата не только для упрощения его формы записи, но и для получения оптимального решения в процессе его технической реализации.

## Библиографический список

1. Сапожников Вал. В. Теория дискретных устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов ; под ред. Вал. В. Сапожникова. – М. : УМЦ ЖДТ, 2016. – 339 с.
2. Шевелев Ю. П. Дискретная математика. Ч. 2 : Теория конечных автоматов. Комбинаторика. Теория графов (для автоматизированной технологии обучения «Символ») : учеб. пособие / Ю. П. Шевелев. – Томск : Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2003. – 130 с.
3. Теория автоматов в задачах. Ч. 1 : Методические указания к практическим занятиям / Рязан. гос. радиотехн. акад. ; сост. Н. И. Иопа. – Рязань, 2004. – 36 с.
4. Потtosин Ю. В. Методы минимизации числа состояний дискретного автомата (обзор) / Ю. В. Потtosин // Автоматика и телемеханика. – 1971. – № 8. – С. 78–93.
5. Сапожников Вал. В. Минимизация числа состояний частичного конечного автомата / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1976. – № 4.
6. Шишков Д. Б. Минимизация конечных автоматов / Д. Б. Шишков // Кибернетика. – 1972. – Т. 8, № 4. – С. 297–316.
7. Рабай Ж.-М. Цифровые интегральные схемы / Ж.-М. Рабай, А. Чандракасан, Б. Николич ; пер. с англ. – 2-е изд. – М. : И. Д. Вильямс, 2007. – 912 с.
8. Нестеров Л. А. Методы синтеза и анализа дискретных конечных автоматов / Л. А. Нестеров // Resour. Technol. – 2001. – № 3. – С. 66–68.
9. Береза А. Н. Эволюционный синтез конечных автоматов / А. Н. Береза, М. В. Ляшов // Изв. ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 7. – С. 210–217.
10. Бибило П. Н. Логическое проектирование дискретных устройств с использованием продукционно-фреймовой модели представления знаний / П. Н. Бибило, В. И. Романов. – Минск : Беларус. навука, 2011. – 279 с.
11. Bengtsson T. Logic optimization using SIS : lab. 1 in course „Logic synthesis“ / T. Bengtsson, S. Kumar. – 2001. – 42 p.
12. Misc. Reference Manual Pages : SIS (1CAD). – Borås (Sweden) : Sun Microsystems, 1994. – 51 p.
13. Moniot R. K. SIS Tutorial : Combinational Logic Circuit Design / R. K. Moniot. – 2011. – 17 p.
14. Sentovich E. M. SIS : a system for sequential circuit synthesis / E. M. Sentovich, K. J. Singh, L. Lavagno et al. // Proc. Int. Conf. Comput. Des. (ICCD 1992). – P. 328–333.
15. Abel A. MeMin : SAT-based Exact Minimization of Incompletely Specified Mealy Machines / A. Abel, J. Reineke // Proc. IEEE/ACM Int. Conf. Computer-Aided Design, 2015. – P. 94–101.
16. Rho J.-K. Exact and Heuristic Algorithms for the Minimization of Incompletely Specified State Machines / J.-K. Rho, G. Hachtel, F. Somenzi, R. Jacoby // IEEE Trans. Comput. Aided Des. Integr. Circuits Syst. – 1994. – Vol. 13, no. 2, Feb. – P. 167–177.
17. Grasselli A. A method for minimizing the number of internal states of incompletely specified sequential networks / A. Grasselli, F. Luccio // IEEE Trans. – 1965. – EC-14. № 3.

18. Грасселли А. Метод совместной минимизации строк и столбцов таблицы переходов / А. Грасселли, Ф. Луччио // Автоматика и телемеханика. – 1968. – № 8. – С. 100–115.
19. Построение и минимизация таблиц переходов : метод. указания к практическим занятиям № 4 по дисциплине «Теория дискретных устройств» / сост. Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2013. – 21 с.
20. Мельникова А. А. Применение свойств конечных автоматов в алгоритмах вершинной минимизации / А. А. Мельникова // Вестн. ТГУ. – 2009. – Т. 14, № 4. – С. 763–765.
21. Апраксин Ю. К. Исследование способов представления детерминированного конечного автомата / Ю. К. Апраксин, А. П. Зезюлинский, А. А. Сахнов // Вестн. СевНТУ. Сер. Информатика, электроника, связь : сб. науч. тр. – Севастополь : СевНТУ, 2010. – № 101. – С. 65–68.

## **Comparison of finite state machines minimization algorithms**

N.A. Trishin

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

Author analyzes two most common ways of finite state machines minimization: STAMINA algorithm and transition table minimization method based on combining of consistent strings by transition table columns (Sapozhnikov's method). Some comparative evaluations are done.

**Keywords:** *finite state machine; multi-cycle circuit; Sequential Interactive System; STAMINA; vertex minimization; arc minimization.*

## **Сведения об авторе**

*ТРИШИН Никита Алексеевич* – студент факультета «Автоматизация и интеллектуальные технологии» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* app.moxito@gmail.com

© Тришин Н. А., 2016

# **Надежностный синтез дискретных устройств**

УДК 004.223.2:004.223.2

## **ПАРАФАЗНЫЕ ФУНКЦИИ В ДИСКРЕТНЫХ АВТОМАТАХ**

**В. М. Чухонин, Г. В. Осадчий, Д. В. Фомин**

В данной работе рассматривается задача получения всех функций алгебры логики от одной и двух переменных в парафазном виде. Полученные функции позволяют реализовать известные безызбыточные базисы в парафазном виде. Приведены примеры реализации функций сравнения парафазных сигналов и мажоритарной функции «два из трёх» в парафазном виде. Результаты, приведенные в статье, могут быть обобщены для различных вариаций мажоритарных функций.

**Ключевые слова:** Булева функция; парафазный сигнал; модуль сравнения; мажоритарная функция; класс константных неисправностей; алгебраический вид.

### **Введение**

Синтез современных систем железнодорожной автоматики (ЖАТ) основан на использовании достижений теории надёжности. При этом применение микропроцессорной элементной базы становится общепринятой нормой. Перед разработчиками таких систем стоит задача повысить надёжность программного обеспечения. Одно из направлений – использование комбинированных вариантов избыточности самопроверяемых программ, базирующихся на достижениях в области аппаратной реализации.

Вариантом синтеза таких систем являются парафазные автоматы. Обычно парафазная схема однотактного автомата строится по его однофазной реализации, построенной в базисе {И, ИЛИ, НЕ}. Каждый элемент схемы из базиса {И, ИЛИ, НЕ} заменяется его аналогом в парафазном представлении [1].

Авторы считают, что использование свойств самопроверяемых парафазных автоматов в сочетании со свойствами мажоритарной функции для программной реализации весьма перспективно.

## 1. Элементарные ФАЛ в парафазном представлении

В работе [2] показано получение парафазной функции в алгебраическом представлении по её однофазному описанию в алгебраической форме. В настоящее время из числа функций алгебры логики (ФАЛ) от одной и двух переменных известны только три парафазные ФАЛ: И, ИЛИ, НЕ. Воспользуемся алгебраическим способом создания парафазных ФАЛ для оставшихся элементарных функций.

Табл. 1 содержит таблицы истинности (ТИ) 16 элементарных ФАЛ в парафазном виде. Рассмотрим синтез парафазной ФАЛ на примере функции «запрет» ( $f_2$ ). Функция  $f_2$  в однофазном виде имеет вид  $f_2 = x_1 \bar{x}_2$ . Парафазное представление  $f_2$  предполагает получение формулы для единичной  $f_2^1$  и нулевой  $f_2^0$  фаз.

Для получения  $f_2^1$  необходимо в каждой конъюнкции однофазного представления ФАЛ переменные, которые входят в прямом виде, заменить на их единичную фазу ( $x = x^1$ ). В нашем случае переменная  $x_1$  заменяется на  $x_1^1$ . Переменные, входящие в инверсном виде, заменяются на их нулевую фазу ( $\bar{x} = x^0$ ). В нашем случае переменная  $\bar{x}_2$  заменяется на  $x_2^0$ . Тогда  $f_2^1$  будет иметь вид  $f_2^1 = x_1^1 x_2^0$ .

Для получения  $f_2^0$  конъюнкцию из однофазного представления ФАЛ необходимо заменить на дизъюнкцию (в случае нескольких дизъюнкций объединить их знаком конъюнкции), переменные, которые были в прямом виде, – на их представление нулевой фазой ( $x = x^0$ ), а инверсные – на их представления единичной фазой ( $\bar{x} = x^1$ ).

В нашем случае  $x^1$  заменяется на  $x_1^0$ ,  $\bar{x}_2$  – на  $x_2^1$ . Тогда  $f_2^0$  будет иметь вид  $f_2^0 = x_1^0 \cup x_2^1$ .

Следовательно, функция  $f_2$  в парафазном представлении имеет вид

$$f_2 \rightarrow \begin{cases} f_2^1 = x_1^1 x_2^0 \\ f_2^0 = x_1^0 \cup x_2^1. \end{cases}$$

Остальные ФАЛ табл. 1 получены аналогично.

Используя табл. 1, можно получить 17 вариантов базисов парафазных функций (по аналогии с работами [3, 4]).

Например, с учётом вышесказанного парафазная функция И-НЕ является базисом. Для получения парафазных функций ИЛИ, И достаточно инвертировать входной и выходной сигнал парафазной функции И-НЕ, соответственно. Из парафазной функции И-НЕ можно получить парафазную инверсию. Для этого сигналы  $x_1^1$  и  $x_2^1$ , а также  $x_1^0$  и  $x_2^0$  надо замкнуть между собой, если речь идёт о схемотехническом решении.

## 2. Парафазная функция «сложение по модулю „два“»

Анализ табл. 1 показывает, что только парафазные функции  $f_6$  и  $f_9$  на всех непарафазных наборах имеют ошибочные выходные сигналы (00 или 11). Функция  $f_9$  (функция эквивалентности) рассмотрена в работах [5, 6], эту функцию можно использовать как модуль сжатия или как модуль сравнения (МС). Следует отметить:  $f_9$  никогда не трактовалась как элементарная парафазная функция. Учитывая, что функция  $f_6$  также обнаруживает все непарафазные сигналы, следовательно, и  $f_6$  можно использовать как МС парафазных сигналов. Кроме того, при построении самопроверяемых тестеров для кодов с повторением ( $pk$ -СПТ) вместо МС парафазной функции эквивалентности можно использовать МС парафазной функции «сложения по модулю два». Это справедливо, поскольку с точки зрения обнаружения одиночных неисправностей, последовательные соединения МС парафазной функции «сложение по модулю два» эквивалентны однофазной линейной схеме, состоящей из элементов М2 [7, 8].

Рассмотрим построение ещё одной парафазной функции «сложение по модулю два». Изменим для функции  $f_6$  из табл. 1 значения  $f^1$  и  $f^0$  на наборах № 3 и 12 со значений 00 на 11. Обозначим новую функцию как  $f_6^*$ , ТИ которой показана в табл. 2.

После минимизации запишем  $f^1$  и  $f^0$  в виде конъюнктивной нормальной формы:

$$f^1 = (x_1^1 \cup x_2^1)(x_1^0 \cup x_2^0);$$

$$f^0 = (x_1^0 \cup x_2^1)(x_1^0 \cup x_2^0).$$

Тогда функция  $f_6^*$  (парафазная функция «сложение по модулю два») будет представлена как

$$\begin{aligned} f_6^* \rightarrow f^1 &= (x_1^1 \cup x_2^1)(x_1^0 \cup x_2^0) \\ f^0 &= (x_1^0 \cup x_2^1)(x_1^0 \cup x_2^0). \end{aligned}$$

Различие функций  $f_6$  и  $f_6^*$  состоит в их поведении на наборах № 3 и 12 (см. табл. 1 и 2).

## 3. Парафазная мажоритарная функция «два из трёх»

Задача повышения надёжности дискретных устройств использует разные виды их резервирования. В этом случае применен восстанавливающий орган (ВО) в виде пороговой логической функции.

Рассмотрим пример построения парафазного ВО вида  $M_3^2$ .

**Таблица 1.** Таблица истинности 16 элементарных ФАЛ в парофазном виде

	$x_2$	$x$	$f_0 = 0$	$f_1 = x_1 x_2$	$f_2 = x_1 \bar{x}_2$	$f_3 = x_1$	$f_4 = \bar{x}_1 x_2$	$f_5 = x_2$	$f_6 = x_1 \oplus x_2$	$f_7 = x_1 \cup x_2$
Алгебраическая формула парофазной функции										
$\#$	$x_1^1 x_1^0$	$x_2^1 x_2^0$	$f^1 = 0$	$f^1 = x_1^1 x_2^1$	$f^1 = x_1^1 x_2^0$	$f^1 = x_1^0$	$f^1 = x_1^0 x_2^1$	$f^1 = x_2^1$	$f^1 = x_1^0 x_2^1 \cup x_1^1 x_2^0$	$f^1 = x_1^1 \cup x_2^1$
			$f^0 = 1$	$f^0 = x_1^0 \cup x_2^0$	$f^0 = x_1^0 \cup x_2^1$	$f^0 = x_1^0$	$f^0 = x_1^1 \cup x_2^0$	$f^0 = x_2^0$	$f^0 = x_1^0 x_2^0 \cup x_1^1 x_2^1$	$f^0 = x_1^0 x_2^0$
			$f^1 f^0$	$f^1 f^0$	$f^1 f^0$	$f^1 f^0$	$f^1 f^0$	$f^1 f^0$	$f^1 f^0$	$f^1 f^0$
5	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
6	01	10	01	01	01	01	01	10	10	10
9	10	01	01	01	10	10	01	01	10	10
10	10	10	01	10	01	10	01	10	01	10
0	00	00	01	00	00	00	00	00	00	00
1	00	01	01	01	00	00	00	01	00	00
2	00	10	01	00	01	00	01	10	00	10
3	00	11	01	01	01	00	01	11	00	10
4	01	00	01	01	01	01	01	00	00	00
7	01	11	01	01	01	01	01	11	11	11
8	10	00	01	00	00	10	00	00	00	10
11	10	11	01	11	11	10	11	11	11	10
12	11	00	01	01	11	01	00	00	00	10
13	11	01	01	01	11	11	01	11	11	11
14	11	10	01	11	01	11	01	10	11	10
15	11	11	01	11	11	11	11	11	11	11

**Таблица 1.** Продолжение

№	$x_2$	$x$	$f_8 = \overline{x_1 \cup x_2}$	$f_9 = x_1 \sim x_2$	$f_{10} = \overline{x_2}$	$f_{11} = x_1 \cup \overline{x_2}$	$f_{12} = \overline{x_1}$	$f_{13} = \overline{x_1 \cup x_2}$	$f_{14} = \overline{x_1 x_2}$	$f_{15} = 1$	Алгебраическая формула парофазной функции		
											$x_1^1 x_2^0$	$x_1^0 x_2^0$	$f^1 = x_1^0 x_2^0 \cup x_1^1 x_2^1$
5	01	01	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
6	01	10	01	01	01	01	01	10	10	10	10	10	10
9	10	01	01	01	10	10	01	01	01	10	10	10	10
10	10	10	01	10	01	10	01	10	01	10	01	10	10
0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
1	00	01	00	00	10	10	00	00	00	00	10	10	10
2	00	10	01	00	01	00	00	00	10	00	00	10	10
3	00	11	01	00	11	10	00	00	10	10	10	10	10
4	01	00	00	00	00	00	00	10	10	10	10	10	10
7	01	11	11	11	11	11	10	10	10	10	10	10	10
8	10	00	01	00	00	00	10	01	00	00	00	00	10
11	10	11	01	11	11	10	01	11	11	11	11	10	10
12	11	00	01	00	00	00	10	11	10	10	10	10	10
13	11	01	11	11	10	10	11	11	11	10	10	10	10
14	11	10	01	11	01	11	11	11	10	11	11	10	10
15	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10

**Таблица 2.** Таблица истинности функции  $f_6^*$

№	$x_1^1$	$x_1^0$	$x_2^1$	$x_2^0$	$f^1$	$f^0$
5	0	1	0	1	0	1
6	0	1	1	0	1	0
9	1	0	0	1	1	0
10	1	0	1	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0
2	0	0	1	0	0	0
3	0	0	1	1	1	1
4	0	1	0	0	0	0
7	0	1	1	1	1	1
8	1	0	0	0	0	0
11	1	0	1	1	1	1
12	1	1	0	0	1	1
13	1	1	0	1	1	1
14	1	1	1	0	1	1
15	1	1	1	1	1	1

Однофазное представление такой функции имеет вид

$$f = x_1 x_2 \cup x_1 x_3 \cup x_2 x_3.$$

Воспользуемся алгебраическим способом получения парапазной функции по её однофазному представлению, тогда

$$f^1 = x_1^1 x_2^1 \cup x_1^1 x_3^1 \cup x_2^1 x_3^1;$$

$$f^0 = (x_1^0 \cup x_2^0)(x_1^0 \cup x_3^0)(x_2^0 \cup x_3^0).$$

В табл. 3 представлена ТИ парапазной мажоритарной функции.

Следует отметить, что парапазная мажоритарная функция представляет собой систему двух однофазных мажоритарных функций. Функция  $f^1$  вычисляет мажоритарную функцию единичных, а  $f^0$  – нулевых фаз входных парапазных сигналов.

Исследование табл. 3 показывает, что все наборы ТИ мажоритарной функции можно разделить на пять групп:

1) наборы  $\{21, 42\}$  – одинаковые парапазные сигналы на трёх входах. Входные сигналы не содержат отказов. На выходе – парапазный сигнал;

**Таблица 3.** Таблица истинности парафазной мажоритарной функции  $M_3^2$

№	$x_1^1$	$x_1^0$	$x_2^1$	$x_2^0$	$x_3^1$	$x_3^0$	$f^1$	$f^0$	№	$x_1^1$	$x_1^0$	$x_2^1$	$x_2^0$	$x_3^1$	$x_3^0$	$f^1$	$f^0$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	1	0	0	33	1	0	0	0	0	1	0	0
2	0	0	0	0	1	0	0	0	34	1	0	0	0	1	0	1	0
3	0	0	0	0	1	1	0	0	35	1	0	0	0	1	1	1	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0	36	1	0	0	1	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	1	0	1	37	1	0	0	1	0	1	0	1
6	0	0	0	1	1	0	0	0	38	1	0	0	1	1	0	1	0
7	0	0	0	1	1	1	0	1	39	1	0	0	1	1	1	1	1
8	0	0	1	0	0	0	0	0	40	1	0	1	0	0	0	1	0
9	0	0	1	0	0	1	0	0	41	1	0	1	0	0	1	1	0
10	0	0	1	0	1	0	1	0	42	1	0	1	0	1	0	1	0
11	0	0	1	0	1	1	1	0	43	1	0	1	0	1	1	1	0
12	0	0	1	1	0	0	0	0	44	1	0	1	1	0	0	1	0
13	0	0	1	1	0	1	0	1	45	1	0	1	1	0	1	1	1
14	0	0	1	1	1	0	1	0	46	1	0	1	1	1	0	1	0
15	0	0	1	1	1	1	1	1	47	1	0	1	1	1	1	1	1
16	0	1	0	0	0	0	0	0	48	1	1	0	0	0	0	0	0
17	0	1	0	0	0	1	0	1	49	1	1	0	0	0	0	1	0
18	0	1	0	0	1	0	0	0	50	1	1	0	0	1	0	1	0
19	0	1	0	0	1	1	0	1	51	1	1	0	0	1	1	1	1
20	0	1	0	1	0	0	0	1	52	1	1	0	1	0	0	0	1
21	0	1	0	1	0	1	0	1	53	1	1	0	1	0	1	0	1
22	0	1	0	1	1	0	0	1	54	1	1	0	1	1	0	1	1
23	0	1	0	1	1	1	0	1	55	1	1	0	1	1	1	1	1
24	0	1	1	0	0	0	0	0	56	1	1	1	0	0	0	1	0
25	0	1	1	0	0	1	0	1	57	1	1	1	0	0	1	1	1
26	0	1	1	0	1	0	1	0	58	1	1	1	0	1	0	1	0
27	0	1	1	0	1	1	1	1	59	1	1	1	0	1	1	1	1
28	0	1	1	1	0	0	0	1	60	1	1	1	1	0	0	1	1
29	0	1	1	1	0	1	0	1	61	1	1	1	1	0	1	1	1
30	0	1	1	1	1	0	1	1	62	1	1	1	1	1	0	1	1
31	0	1	1	1	1	1	1	1	63	1	1	1	1	1	1	1	1

2) наборы  $\{5, 10, 17, 20, 22, 23, 25, 26, 29, 34, 37, 38, 40, 41, 43, 46, 53, 58\}$  – одинаковые парафазные сигналы на двух входах. На третьем входе любой сигнал отличается от первых двух. Происходит маскировка сигналов одного входа по большинству одинаковых парафазных сигналов. Маскируемый вход может иметь один одиночный отказ, если на входе 00 или 11, либо разнонаправленный отказ, кратный 2, если на входе противоположный парафазный сигнал, отличный от первых двух. На выходе функции – парафазный сигнал;

3) наборы  $\{6, 9, 18, 24, 27, 30, 32, 36, 39, 45, 54, 57\}$ : на двух входах разные парафазные сигналы, на третьем входе – нарушение парафазности. На входе с нарушением парафазности имеется одиночный отказ. На одном из парафазных входов отказ, кратный 2, разной направленности. Для этой группы наборов в  $f^1$  и  $f^0$  поступает либо большинство 0 (например набор № 6), либо большинство 1 (например набор № 54). Выходной сигнал определяется значением непарафазного сигнала на входе. Если 00 – на выходе 00, если 11 – на выходе 11;

4) наборы  $\{0, 1, 2, 3, 4, 8, 12, 15, 16, 31, 32, 47, 48, 51, 55, 59, 60, 61, 62, 63\}$  – одинаковые непарафазные сигналы на двух входах. На третьем входе может быть любой сигнал. Однаковые непарафазные сигналы можно рассматривать как кратные однонаправленные отказы. На третьем входе в случае непарафазного сигнала имеется одиночный отказ. Вычисление  $f^1$  и  $f^0$  аналогично тому, как это происходит для группы входных сигналов № 3. На выходе будет непарафазный выходной сигнал по большинству непарафазных сигналов;

5) наборы  $\{7, 11, 13, 14, 19, 28, 35, 44, 49, 50, 52, 56\}$ : на двух входах разные непарафазные сигналы, на третьем входе – парафазный сигнал. Разные непарафазные сигналы следует рассматривать как разнонаправленные отказы, кратные 2. На выходе парафазный сигнал по парафазности третьего входа. Вычисление в  $f^1$  и  $f^0$  происходит так же, как для группы наборов № 3.

Мажоритарную функцию проверяют на исправность тестом из табл. 4. Тест обнаруживает одиночные либо кратные однонаправленные неисправности.

**Таблица 4.** Проверяющий тест мажоритарной функции

$x_1^1$	$x_1^0$	$x_2^1$	$x_2^0$	$x_3^1$	$x_3^0$	$f^1$	$f^0$
0	1	0	1	0	1	0	1
0	1	0	1	1	0	0	1
0	1	1	0	0	1	0	1
0	1	1	0	1	0	1	0
1	0	0	1	0	1	0	1
1	0	0	1	1	0	1	0
1	0	1	0	0	1	1	0
1	0	1	0	1	0	1	0

## **Выводы**

Все полученные функции ориентированы на класс константных неисправностей. Поскольку все полученные результаты представлены в алгебраическом виде, их можно использовать и в программной реализации СЖАТ.

Впервые предложены 13 элементарных парафазных ФАЛ. На их основе могут быть получены 16 новых парафазных базисов (базис И, ИЛИ, НЕ известен).

Показано, что ФАЛ  $f_6$  можно использовать как модуль сравнения в  $n\bar{pk}$ -тестерах.

Предложена парафазная мажоритарная функция  $M_3^2$ , которая:

- маскирует одиночные и отказы, кратные 2, одного парафазного входа (группа № 2);
  - не маскирует, но обнаруживает отказы, кратные 3 (группы № 3 и 4);
    - не маскирует и не обнаруживает отказы на входах функций (группа № 5).

Аналогичным образом можно получить новые мажоритарные функции для восстанавливающего органа с заданной избыточностью.

## **Библиографический список**

1. Сапожников Вал. В. Теория дискретных устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи : учеб. для вузов ж.-д. транспорта / Вал. В. Сапожников, Ю. А. Кравцов, Вл. В. Сапожников. – М. : УМК МПС России, 2001. – 312 с.
2. Чухонин В. М. Алгебраическое представление в парафазных автоматах / В. М. Чухонин, Г. В. Осадчий // Теоретические и практические аспекты развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. тр. ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2012. – С. 21–28.
3. Брылеев А. С. Теоретические основы железнодорожной автоматики и телемеханики : учеб. для вузов ж.-д. транспорта / А. С. Брылеев, А. С. Переборов, Вл. В. Сапожников, А. В. Смирнова, А. А. Эйлер. – М. : Транспорт, 1977. – 376 с.
4. Ефанов Д. В. Базисы двоичной логики / Д. В. Ефанов, В. В. Дмитриев // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1, № 4. – С. 400–414.
5. Пархоменко П. П. Основы технической диагностики / П. П. Пархоменко, Е. С. Согомоян. – М. : Энергия, 1981. – 320 с.
6. Сапожников Вл. В. Микропроцессорные системы централизации : учеб. техникумов и колледжей ж.-д. транспорта / Вл. В. Сапожников, В. А. Кононов, С. А. Куценков и др. – М. : УМЦ ЖДТ, 2008. – 308 с.
7. Сапожников Вал. В. Самопроверяемые дискретные устройства / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – СПб. : Энергоатомиздат, СПб. отд., 1992. – 224 с.
8. Сапожников Вал. В. Основы технической диагностики / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – М. : Маршрут, 2004. – 318 с.

## Two-rail functions in discrete finite state machines

V. M. Chuhonin, G. V. Osadchy, D. V. Fomin

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

In this paper authors observe the task of obtaining of all the Boolean functions of one or two variables in two-rail form. These functions allow implementing all known non-redundant bases in two-rail form. Authors give examples of comparing of two-rail signals function and majority “two-of-three” function in two-rail form. Results shown in the paper could be generalized for different variations of majority functions.

**Keywords:** Boolean function, two-rail signal, two-rail checker, majority function, class of constant faults, algebraic form.

### Сведения об авторах

*ЧУХОНИН Владимир Михайлович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;*  
*e-mail: pgups\_at@mail.ru*

*ОСАДЧИЙ Герман Владимирович – ассистент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;*  
*e-mail: osgerman@mail.ru*

*ФОМИН Дмитрий Владимирович – ассистент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;*  
*e-mail: dmitrypgups1307@yandex.ru*

© Чухонин В. М., Осадчий Г. В., Фомин Д. В., 2016

# *Системы диагностирования и непрерывного мониторинга*

УДК 004.891.3

## **ОБРАБОТКА НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ ГРАФИКА ТОКА ПЕРЕВОДА СТРЕЛОЧНОГО ПЕРЕВОДНОГО УСТРОЙСТВА С ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

**С. В. Белоусов**

Проанализированы методы обработки графика тока перевода стрелочного переводного устройства с электродвигателем постоянного тока для диагностирования нейронной сетью. Приведены результаты сравнения качества диагностирования при использовании этих методов.

**Ключевые слова:** диагностика стрелочного переводного устройства; нейронные сети; дискретное преобразование Фурье.

### **Введение**

При использовании нейронных сетей для задач классификации качество работы сети зависит от способа обработки входных данных. Среди простейших способов классификации графиков – выбор структуры сети с таким количеством нейронов входного слоя, которое равно числу отсчётов графика, и направление на вход сети всех значений графика. При этом формируется одномерный массив (вектор) входных значений  $X$  длиной  $N$ , где  $N$  – количество отсчётов графика. На вход  $i$ -го входного нейрона подается  $i$ -й отсчёт графика. Одним из недостатков этого подхода применительно к диагностике стрелочного переводного устройства (СПУ) является необходимость разработки метода, позволяющего привести число отсчётов графиков к одинаковому количеству (так как структура нейронной сети и количество входных нейронов остаются неизменными).

Качество диагностирования можно существенно увеличить, если вместо всех значений графика тока перевода на вход сети подать значения нескольких диагностических параметров, рассчитанных для каждого графика [1]. Очевидно, существуют разные способы обработки входных данных для этой задачи, некоторые из них могут показать больший процент верно классифи-

цированных состояний. Цель настоящей работы – сравнить три варианта получения входных данных для СПУ с электродвигателем постоянного тока:

- 1) представление графика тока перевода в виде диагностических параметров;
- 2) получение спектра графика тока перевода;
- 3) комбинация этих вариантов.

## 1. Обработка графика тока перевода

Рассмотрим подробно методики обработки графика тока перевода. При применении каждого метода первым шагом было выделение рабочей зоны графика тока перевода (рис. 1), так как эта зона несет основную информацию, необходимую для поиска определяемых неисправностей. После выделения получен одномерный массив отсчетов рабочей зоны  $W$ . Этот массив передавался на вход различных алгоритмов обработки данных, в результате которых получался вектор входных значений  $X$ .

При представлении графика тока перевода в виде диагностических параметров на вход нейронной сети подавались следующие векторы  $X$ :

- $X[0]$  – среднее значение тока в рабочей зоне;
- $X[1]$  – дисперсия значений в рабочей зоне;
- $X[2]$  – среднее отклонение следующего значения от предыдущего;
- $X[3]$  – угол направления графика рабочей зоны;
- $X[4]$  – количество значений в рабочей зоне;

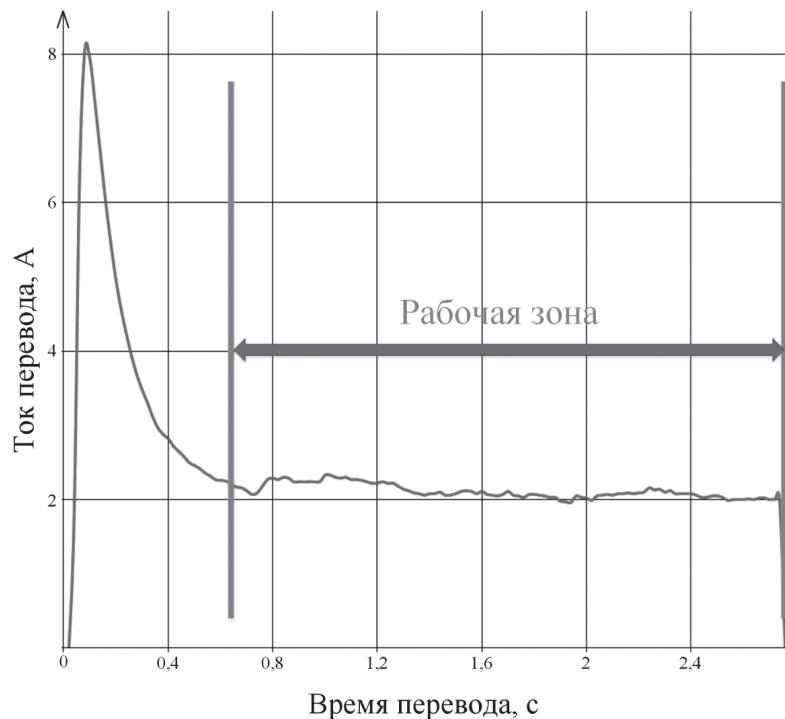


Рис. 1. Пример границ рабочей зоны графика тока перевода

$X$  [5] – число экстремумов графика рабочей зоны;

$X$  [6] – число локальных минимумов графика экстремумов рабочей зоны;

$X$  [7] – число локальных максимумов графика экстремумов рабочей зоны.

Спектр графика рабочей зоны получен с помощью алгоритма прямого дискретного преобразования Фурье [2]. Выбор алгоритма обусловлен тем, что графики рабочей зоны и тока перевода являются массивами отсчётов, а не непрерывными функциями. Каждый  $k$ -й отсчёт спектра определяется по формуле

$$S_k = \left| \sum_0^{N-1} W_n e^{-\frac{2\pi i}{N} kn} \right|; k = 0, \dots, N-1, \quad (1)$$

где  $S_k$  –  $k$ -й отсчёт спектра;  $N$  – количество отсчётов рабочей зоны;  $W_n$  – значения отсчётов рабочей зоны.

В результате применения алгоритма получается массив  $S$  длиной  $N$ , содержащий отсчёты спектра. Как видно из формулы (1), число отсчётов массива  $S$  зависит от числа отсчётов массива значений рабочей зоны  $W$ , т. е. от длительности перевода. Чтобы получить спектр с требуемым количеством значений независимо от длительности перевода, решено сделать все графики рабочей зоны перевода одной длины – 400 значений. Если число отсчётов в рабочей зоне превышало эту длину, график обрезали, если было меньше 400, то оставшиеся отсчёты заполняли нулями. Граница в 400 значений была выбрана потому, что более 95 % исследуемых графиков имели длину рабочей зоны менее 400 отсчётов.

Так как в результате муарового эффекта спектр получается зеркальным, можно вдвое сократить число входов в нейронную сеть без потери полезной информации. Таким образом, входной вектор  $X$  содержит половину значений массива  $S$ .

При комбинации описанных подходов на вход нейронной сети подавали 8 диагностических значений и 200 значений спектра, записанных в один вектор входных значений.

При всех способах обработки входные данные были нормализованы, чтобы на вход нейронной сети подавался вектор  $X$  с длиной  $|X| = 1$ . Для нормализации требовалось [3]:

1) определить длину  $L$  вектора  $X$  по формуле

$$L = \sqrt{\sum_{i=0}^N X_i^2};$$

2) разделить значения вектора  $X$  на длину  $L$ .

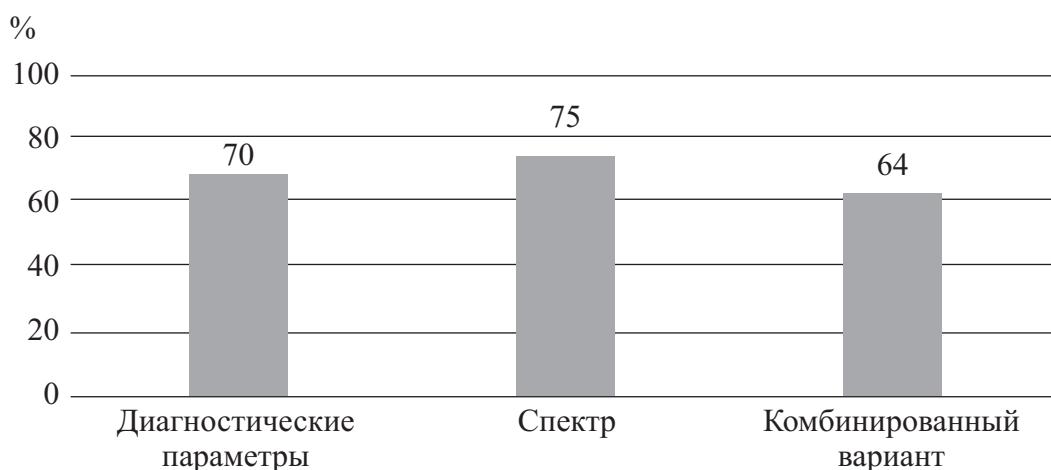
$$X_i^{norm} = \frac{X_i}{L}.$$

## **2. Обучение нейронных сетей**

Все сети обучались на обучающей выборке из 37 049 примеров, относящихся к семи классам. Опытным путём была выбрана структура нейронной сети типа персептрон с двумя скрытыми слоями, что позволило существенно сократить время на обучение сетей по сравнению со структурой сети с одним скрытым слоем. Для обучения применялся алгоритм RProp [4–6]. Качество работы сетей проверяли на тестовой выборке, не совпадающей с обучающим набором, состоящей из 476 примеров.

## **3. Результаты и выводы**

Установлено, что при использовании входных данных в виде диагностических параметров верно распознано 70 % примеров; в виде спектра графика рабочей зоны верно распознано 75 % примеров; при комбинированном подходе – 64 % примеров (рис. 2). Таким образом, применение метода обработки графика тока перевода СПУ получением спектра графика рабочей зоны показывает лучшие из трёх приведенных вариантов результаты.



**Рис. 2.** Процент верно распознанных графиков в teste

## **Библиографический список**

1. Бочкарев С.В. Методы диагностирования и прогнозирования технического состояния стрелочного переводного устройства : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / С. В. Бочкарев.– СПб., 2014. – 208 с.
2. Карташев В. Г. Основы теории дискретных сигналов и цифровых фильтров : учеб. пособие для вузов / В. Г. Карташев.– М. : Высш. шк., 1982.– 109 с.
3. Щукова К. Б. Обучение нейронной сети для распознавания цифр посредством построения самоорганизующейся карты и метода Кохонена / К. Б. Щукова // Со-

- врем. техника и технологии.– 2015.– № 11.– URL : <http://technology.s nauka.ru/2015/11/8191> (дата обращения 19.11.2015).
4. Riedmiller M. A direct adaptive method for faster backpropagation learning: the RPROP algorithm / M. Riedmiller, H. Braun // Proc. IEEE Int. Conf. on Neural Networks (ICNN), San Francisco, March 1993 ; ed. H. Rusconi.– P. 586–591.
  5. Riedmiller M. Rprop – Description and Implementation Details. Technical Report / M. Riedmiller ; Karlsruhe Inst. f. Logik, Komplexität u. Deduktionssysteme, W-76128. – Karlsruhe, 1994.– 2 p.
  6. LeCun Y. Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition / Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio and P. Haffner // Proc. IEEE. – 1998. – Nov.– P. 1–46.

## **Processing of DC motor point machine operation current graph with neural network**

S. V. Belousov

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

Author analyzes methods of DC motor point machine operation current graph processing for diagnostics using neural network. Results of comparison of diagnosis quality for these methods are adduced.

**Keywords:** point machine diagnostics; neural network; discrete Fourier transform.

### **Сведения об авторе**

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

© Белоусов С. В., 2016

# ДИАГНОСТИКА И МОНИТОРИНГ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

**А. А. Порошин**

Рассмотрен принцип построения систем диагностирования и мониторинга устройств электропитания железнодорожной автоматики и телемеханики. Описаны объекты, состояние которых необходимо диагностировать для обеспечения бесперебойного и качественного электропитания потребителей. Предложены возможные решения реализации диагностики контролируемых объектов.

**Ключевые слова:** система технической диагностики и мониторинга; качественное бесперебойное электропитание; вводные устройства; распределительные устройства; устройства бесперебойного питания; дизель-генераторный агрегат.

## Введение

В последние десятилетия на железных дорогах России поэтапно внедряются и модернизируются системы технического диагностирования и мониторинга (СТДМ) железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) [1]. Внедрение СТДМ позволяет перейти от регламентного вида технического обслуживания (ТО), занимающего значительное время эксплуатационного персонала, к ТО по состоянию, что позволит снизить эксплуатационные расходы. Благодаря тому, что при ТО по состоянию сведены к минимуму вмешательства в работу системы ЖАТ, можно уменьшить количество так называемых «послепрофилактических» отказов.

Для обеспечения непрерывности и безопасности перевозочного процесса системы электропитания устройств ЖАТ решают важные и ответственные задачи, среди которых, прежде всего, можно выделить две главные: обеспечение бесперебойного, т. е. непрерывного во времени, электропитания систем и устройств ЖАТ с необходимым для их надежного функционирования качеством электроэнергии. Поскольку конструктивные, схемные и технологические возможности повышения надежности систем ограничены, естественным путем устранения этого противоречия является разработка методов и средств контроля работоспособности и поиск неисправностей оборудования, т. е. задача технической диагностики [2]. Благодаря внедренным и широко развивающимся на российских железных дорогах микропроцессорным системам расширились возможности диагностирования [3].

В данной работе описываются устройства электропитания ЖАТ, состояние которых необходимо диагностировать в процессе работы, а также предлагаются решения по их диагностированию.

## 1. Объекты контроля и постановка задач диагностирования

Электроэнергетическое оборудование состоит из конечного числа элементов, соответственно, в нем может возникнуть конечное число дефектов [4]. К устройствам, входящим в систему электропитания ЖАТ, относятся вводные устройства (ВУ); распределительные устройства (РУ); устройства бесперебойного питания (УБП); дизель-генераторные агрегаты (ДГА). В свою очередь, ВУ, РУ, УБП, ДГА также состоят из модулей, в которых могут возникать дефекты, приводящие к нарушению работы системы. Внедрение СТДМ позволяет выявлять предотказные состояния объектов контроля, что значительно сокращает количество опасных и защитных отказов устройств ЖАТ [5].

Для достижения бесперебойного и качественного функционирования системы электропитания СТДМ должна решать такие функциональные задачи:

- сбор, обработку, передачу, хранение и отображение необходимой диагностической информации;
- автоматизацию измерения параметров и их оценку;
- протоколирование режимов работы диагностируемых устройств;
- выявление отказов и сбоев в работе;
- сокращение времени восстановления устройств ЖАТ при отказах;
- прогнозирование технического состояния диагностируемых устройств и заблаговременное предупреждение о возможных неисправностях;
- повышение срока службы системы;
- снижение издержек по обеспечению непрерывной работы системы.

## 2. Диагностика и мониторинг устройств электропитания

Вводные устройства современных систем электроснабжения имеют в своем составе приборы учета с расширенными функциями. К примеру, счетчики учета электроэнергии способны измерять не только расход электроэнергии, но и следить за ее качеством. При этом можно отслеживать перепады электроэнергии, опасные импульсные и грозовые перенапряжения, перерывы в электроснабжении, а также вести архив данных. По результатам, занесенным в архив данных, потребитель может предъявлять претензии к внешним источникам энергоснабжения, что является важным средством внешнего контроля [6–8].

В состав распределительных устройств систем электропитания входят коммутационные приборы (рубильники, контакторы и т. п.), которые имеют определенный ресурс срабатываний, указанный в паспорте изделия. Внедре-

ние СТДМ позволит, используя программные методы, подсчитывать число выполненных коммутаций и заблаговременно предсказывать выработку ресурса срабатываний. С помощью СТДМ можно контролировать величину и изменение во времени сопротивления изоляции и отслеживать процесс ее старения.

Неотъемлемой специфической частью системы бесперебойного питания являются аккумуляторные батареи (АКБ) – резервный источник электроснабжения на случай пропадания всех фидеров электроснабжения и на время запуска ДГА при его наличии. Глубокая непрерывная диагностика на некотором продолжительном временном интервале эксплуатации позволяет отследить изменения параметров АКБ и, к примеру, имея данные об изменении кривой ее разряда, можно прогнозировать ее остаточную емкость и время работы при заданных нагрузках (время резервирования), что позволит заблаговременно определять ее предотказное состояние. СТДМ должна собирать информацию о таких параметрах, как температура воздуха внутри шкафа, где непосредственно находятся АКБ, и в помещении, напряжение на АКБ в реальном времени, ток заряда АКБ, ток разряда АКБ, время разряда АКБ.

Не менее важным элементом системы электроснабжения ЖАТ является ДГА, который включается при отключении внешних источников, тем самым обеспечивая гарантированное электроснабжение нагрузок. С внедрением СТДМ появится возможность контролировать основные параметры ДГА: напряжение и ток на выходе ДГА, частоту вырабатываемого напряжения, готовность к работе, уровни топлива в баке и масла в двигателе. При «расследовании» отказов ДГА при помощи СТДМ можно выяснить причину его незапуска (был ли сигнал на запуск от электропитающей установки, было ли топливо в баке и т. д.).

## **Выводы**

Применение современных технологий на основе микропроцессорной техники и аппаратно-программных комплексов позволяет ближе подойти к решению вопроса диагностики устройств электропитания ЖАТ. При этом расширяются возможности диагностирования, что дает возможность обнаруживать предотказные состояния объектов, а значит, своевременно заменять их и исключать возможные отказы системы. Таким образом, применение современных СТДМ совместно с устройствами электропитания позволит обеспечить безопасность, непрерывность и эффективность перевозочного процесса.

## **Библиографический список**

1. Бочкарев С. В. Методика комплексной оценки показателей эффективности технического диагностирования и мониторинга / С. В. Бочкарев, А. А. Лыков, Д. С. Марков // Развитие элементной базы и совершенствование методов построения устройств

- железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. тр.– СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2014.– С. 14–22.
2. Анищенко В. А. Основы надежности систем электроснабжения : учеб. пособие / В. А. Анищенко, И. В. Колесова.– Минск : БНТУ, 2007.– 115 с.
  3. Иванов А. А. Система технического диагностирования и мониторинга / А. А. Иванов, С. Н. Григорьев // Автоматизация в промышленности.– 2012.– С. 37–42.
  4. Калявин В. П. Надежность и диагностика элементов электроустановок / В. П. Калявин, Л. М. Рыбаков.– СПб. : Элмор, 2009.– 326 с.
  5. Сапожников Вл. В. Понятие предотказного состояния / Вл. В. Сапожников, А. А. Лыков, Д. В. Ефанов // Автоматика, связь, информатика.– 2011. –№ 12.– С. 6–8.
  6. Папков Б. В. Надежность и эффективность электроснабжения : учеб. пособие / Б. В. Папков, Д. Ю. Пащали.– Уфа : Уфим. гос. авиац. техн. ун-т, 2005.– 380 с.
  7. Свинцовые аккумуляторы // Ездим на батарейках. Электротранспорт.– URL : <http://electrotransport.ru/ussr/index.php?board=73.0>.
  8. Шеметов А. Н. Надежность электроснабжения : учеб. пособие для студентов специальности «Электроснабжение» / А. Н. Шеметов.– Магнитогорск : ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2006.– 131 с.

## **Diagnostics and monitoring of railway automation and remote control power supply devices**

A.A. Poroshin

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

The principle of diagnostics and monitoring systems of railway automation and remote control power supply devices formation is observed. Author describe objects whose condition should be diagnosed for the provision of the uninterrupted and qualitative power supply of consumers. Some solutions on the diagnostics implementation are offered.

**Keywords:** *diagnostics and monitoring systems; uninterrupted qualitative power supply; input devices; distribution devices; uninterruptible power supply devices; diesel generating set.*

### **Сведения об авторе**

*Порошин Алексей Александрович* – студент факультета «Автоматизация и интеллектуальные технологии» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* poroshinSCB@yandex.ru

© Порошин А. А., 2016

# *Информационные технологии в управлении*

УДК 656.22

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПРИЁМОВ ДИСПЕТЧЕРСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

**Г. М. Грошев, А. В. Сугоровский, Ан. В. Сугоровский**

Приводятся описание и условия применения диспетчерского регулировочного воздействия «Регулирование (чертежование) подвода транзитных и перерабатываемых поездов к технической станции с учетом положения в ее парках», его графическая формализация в виде блок-схемы алгоритма и обобщенной структурной информационно-временной схемы.

**Ключевые слова:** диспетчерский приём; диспетчерское регулировочное воздействие; диспетчерское управление; алгоритм реализации; блок-схема алгоритма; обобщенная структурная информационно-временная схема; регулирование подвода поездов.

### **Введение**

Диспетчер как непосредственный организатор и исполнитель эксплуатационной работы должен владеть передовыми приемами диспетчеров-новаторов, основами информатики, эффективно использовать технические средства и возможности автоматизированных систем управления, знать методы интенсификации перевозок и основные экономические результаты своей работы [1–3].

Управляющая деятельность в режиме реального времени на основе ее планирования с учетом возникновения тех или иных событий, предвидения хода управляемого процесса и возможных изменений на объекте управления является наиболее сложным видом деятельности [4].

При исследовании приёмов диспетчерского регулирования могут быть использованы следующие способы графической формализации: диаграмма Ганта (традиционно называемая в управлении эксплуатационной работой

технологическим графиком), блок-схема алгоритма (БСА) и обобщенная структурная информационно-временна схема (ОСИВС) [5–7].

## **1. Описание диспетчерского приёма «Регулирование (чредование) подвода транзитных и перерабатываемых поездов к технической станции с учетом положения в ее парках»**

Необходимость в регулировании подвода транзитных и перерабатываемых поездов к станции и в изменении последовательности их приёма может возникнуть, если на станции:

- возникло затруднение с переработкой вагонопотока;
- пути парка отправления, куда должны приниматься транзитные поезда, заняты готовыми к отправлению составами в ожидании локомотивов.

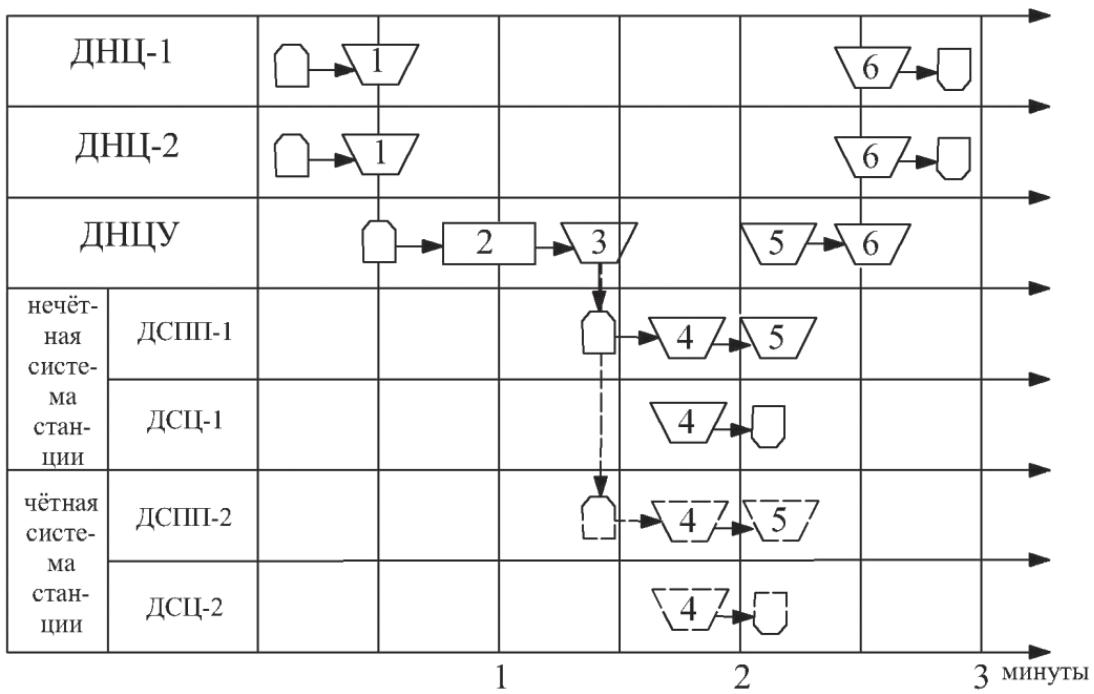
В первом случае на примыкающих участках поездные диспетчеры задерживают разборочные поезда или увеличивают интервалы их подвода к станции до значения, учитывающего реальный темп переработки. В первую очередь в таких случаях пропускают транзитные поезда, а также отправляют поезда, сформированные на данной станции.

Во втором случае, если в парке приема есть свободные пути, диспетчеры задерживают на подходах к станции транзитные поезда, а на станцию в первую очередь направляют поезда, следующие в переработку. В результате не только обеспечивается максимальная загрузка сортировочных устройств, но и создаются условия для разгрузки парка отправления, так как локомотивы от принятых в переработку поездов немедленно используются для вывоза со станции готовых составов.

В качестве примера описания диспетчерского регулирования ниже приведены ОСИВС и в общем виде БСА для приёма «Регулирование (чредование) подвода транзитных и перерабатываемых поездов к технической станции с учетом положения в ее парках» (рис. 1, 2, соответственно) [8, 9].

## **2. Формализованное представление регулировочного воздействия в виде ОСИВС**

Модели типа ОСИВС предназначены для содержательного описания технологии обработки данных с указанием места и времени выполнения каждой операции. Процесс обработки данных изображается с помощью совокупности символов на прямоугольной сетке, где столбцы соответствуют временным интервалам, а строки – подразделениям, в которых выполняется конкретная операция. Символы, отображающие операции и данные, помещаются в клетках, образованных пересечением строк и столбцов [10, 11].



**Рис. 1.** Обобщённая структурная информационно-временная схема приёма «Регулирование (чредование) подвода транзитных и перерабатываемых поездов к технической станции с учетом положения в ее парках»: ДНЦ-1 – поездной диспетчер участка 1; ДНЦ-2 – поездной диспетчер участка 2; ДНЦУ – узловой диспетчер; ДСЦ-1 – маневровый диспетчер нечётной системы станции; ДСЦ-2 – маневровый диспетчер чётной системы; ДСПП-1 – дежурный по парку ПП-1; ДСПП-2 – дежурный по парку ПП-2; 1 – запрос на приём поезда с участка; 2 – анализ информации; 3 – согласование порядка приёма поездов; 4 – согласование порядка пропуска поезда; 5 – передача информации о порядке приёма поездов; 6 – передача информации о порядке приёма поезда с участка

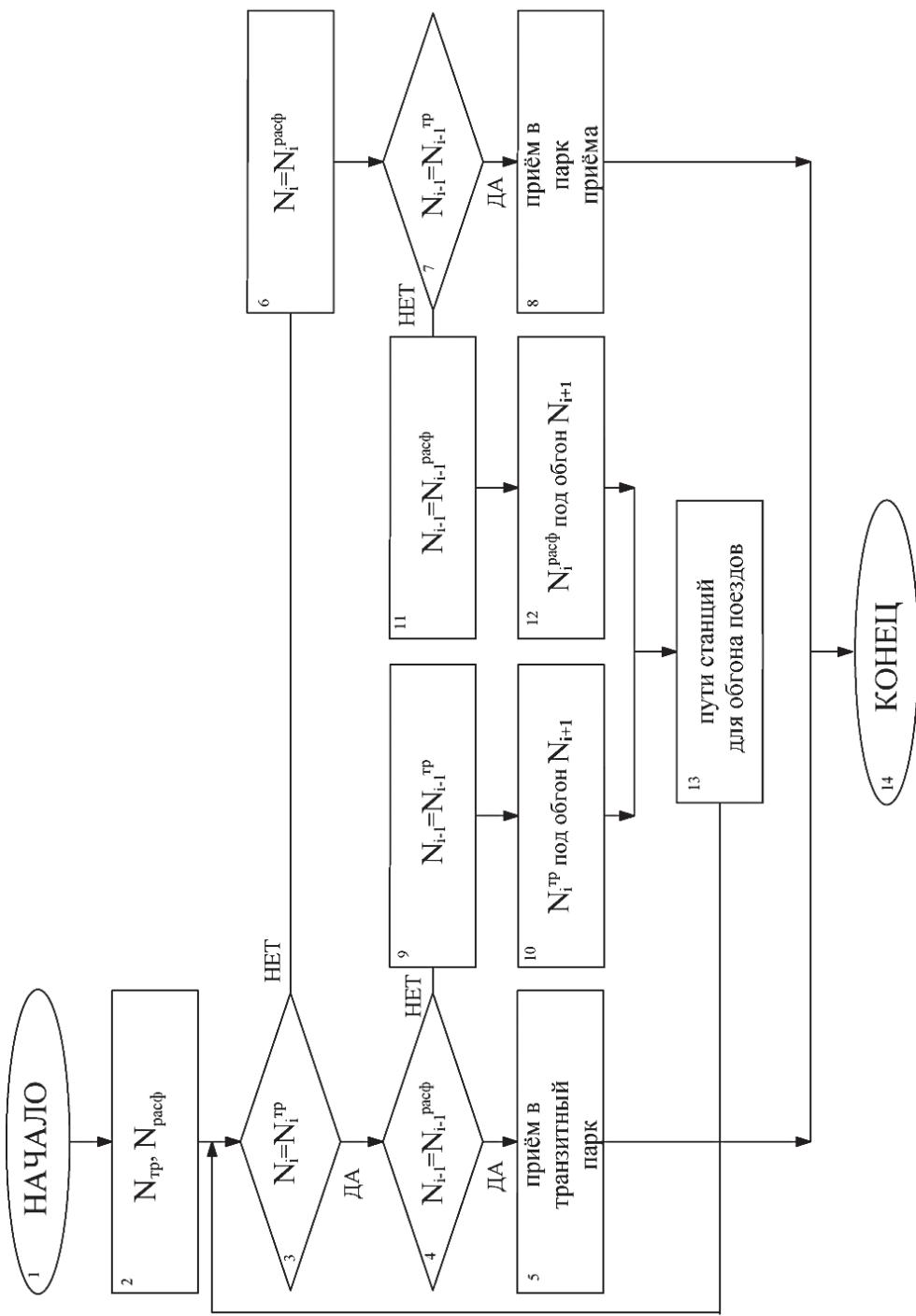
### 3. Формализованное представление регулировочного воздействия в виде БСА

БСА – распространенный тип схем, описывающих последовательность действий или процессы, в которых отдельные шаги изображаются в виде блоков разной формы, соединенных между собой линиями, указывающими направление последовательности.

Схемы могут использоваться на разных уровнях детализации, причем число уровней зависит от размеров и сложности задачи обработки данных. Уровень детализации должен быть таким, чтобы части и взаимосвязь между ними были понятны в целом [10, 11].

### Выводы

Описание информационных технологий реализации диспетчерских регулировочных приёмов, их графическая формализация могут служить базой



**Рис. 2.** Общий алгоритм реализации приёма «Регулирование (чредование) подвода транзитных и перерабатываемых поездов к технической станции с учетом положения в ее парках»:  $N_{\text{тр}}$  – транзитный поезд,  $N_{\text{расф}}$  – поезд в расформирование,  $i$  – номер по порядку

для разработки как имитационных моделей, так и автоматизированных справочных систем прямого действия на автоматизированных рабочих местах диспетчерского персонала.

## Библиографический список

1. Ковалев В. И. Управление эксплуатационной работой на железнодорожном транспорте : учеб. / В. И. Ковалев, А. Т. Осьминин, В. А. Кудрявцев и др. – В 2 т. Т. 2.– М. : УМЦ ЖДТ, 2011. – 440 с.
2. 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.
3. Кокурин И. М. Распределение функций и зон управления между оперативным персоналом участковых станций при проектировании электрической централизации / И. М. Кокурин, К. Е. Ковалев // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1, № 4. – С. 367–380.
4. Ковалев В. И. Системы автоматизации и информационные технологии управления перевозками на железных дорогах : учеб. для вузов ж.-д. тр-та / В. И. Ковалев, В. А. Гапанович, А. А. Грачев и др.– М. : Маршрут, 2006. – 544 с.
5. Ляпунов А. А. Об алгоритмическом описании процессов управления / А. А. Ляпунов, Г. А. Шестопал // Математическое просвещение : сб. – М. : Физматгиз, 1957. – № 2. – С. 81–95.
6. Левин Д. Ю. Инновационные информационные технологии в управлении перевозочным процессом / Д. Ю. Левин, А. М. Аветикян // Железнодорожный транспорт. – 2009. – № 10. – С. 36–39.
7. Сугоровский Ан. В. Обоснование целесообразности применения методов и приёмов организации работы с вагонопотоком на сортировочной станции / Ан. В. Сугоровский // Изв. ПГУПС. – 2013. – Вып. 2 (35). – С. 74–81.
8. Грошев Г. М. Имитационное моделирование оперативного регулирования на сортировочной станции / Г. М. Грошев, А. В. Сугоровский // Вестн. транспорта Поволжья. – 2013. – № 6 (42). – С. 10–15.
9. Грошев Г. М. Обоснование с применением имитационного моделирования эффективности диспетчерского регулирования на участке / Г. М. Грошев, А. В. Сугоровский, Ан. В. Сугоровский // Транспортные системы и технологии : тр. 4-й МНК «Магнитолевитационные транспортные системы и технологии» (МТСТ'16). – СПб. : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2016. – Вып. 2. – С. 106–109.
10. Котенко А. Г. Проектирование современных технологий в управлении перевозками. Ч. 2. Проектирование технологии перевозочного процесса на участках и направлениях сети железных дорог : учеб. пособие / А. Г. Котенко, В. И. Бадах, Г. М. Грошев и др. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2012. – 67 с.
11. Грошев Г. М. Организация, технология и информационное обеспечение автоматизированного оперативного управления перевозками на железной дороге. Ч. 3. Информационное обеспечение оперативного персонала Диспетчерского центра управления перевозками : учеб. пособие / Г. М. Грошев, А. Г. Котенко, И. В. Кашицкий и др. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2012. – 83 с.

# **Use of information technologies for centralized traffic control methods description**

G. M. Groshev\*, A. V. Sugorovsky\*\*, An. V. Sugorovsky\*,

\*“Management of maintenance works” department

\*\*“Railway stations and junctions” department

*Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

Authors give the description and application condition of dispatching control exposure “Regulation (alternation) of approaching of transit and operated trains to the technical station accounting their position in its parks”, its graphic formalization as the block diagram and general structure of information-time scheme.

**Keywords:** *dispatching receive, dispatching control exposure, centralized traffic control, realization algorithm, algorithm block diagram, general structure of information-time scheme, regulation of approaching of trains.*

## **Сведения об авторах**

*ГРОШЕВ Геннадий Максимович* – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* spbgroshev@gmail.com

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

*СУГОРОВСКИЙ Антон Васильевич* – аспирант, ассистент кафедры «Управление эксплуатационной работой», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* gthdsq555@yandex.ru

© Грошев Г.М., Сугоровский А.В., Сугоровский Ан. В., 2016

## RFID-ТЕХНОЛОГИЯ И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ

**М. Г. Яшин, Р. И. Иванов**

Рассмотрена технология радиочастотной идентификации (RFID-технология), ее возможности и характеристики, устройства и средства, использующую эту технологию; возможности ее применения в системе железнодорожного транспорта; вопрос регулирования движения поездов с ее использованием.

**Ключевые слова:** радиочастотная идентификация; радиопередача; метка; считыватель; железные дороги; интервальное регулирование.

### **Введение**

RFID (англ. Radio Frequency IDentification) – метод автоматической идентификации объектов, в котором посредством радиосигналовчитываются или записываются данные, хранящиеся в так называемых транспондерах, или RFID-метках, комбинация технологии радиопередачи и работы радиара [1].

Это технология беспроводного обмена данными посредством радиосигнала между электронной меткой, которая помещается на объект, и специальным радиоэлектронным устройством, которое считывает сигнал метки. Метка может содержать сведения о типе объекта, стоимости, весе, температуре, данные логистики, а также любую информацию об объекте с возможностью ее удобного считывания [2].

Технология позволяет автоматически собирать информацию о том или ином объекте, его местонахождении, вести временной учет событий с его участием и получать ее без вмешательства человека и с минимальным числом ошибок. Идея заключается в использовании специальных малогабаритных радиочастотных схем в компактных метках, с помощью радиоволн дистанционно и бесконтактно идентифицирующих объекты, на которых они закреплены [3].

Схема включает в себя устройство считывания, имеющее антенну, и радиометки, которые и содержат данные. Антенна устройства считывания испускает радиосигнал малой мощности, который улавливается антенной радиометки и запитывает встроенную в радиометку микросхему (чип). Используя эту энергию, радиометка, находящаяся в радиополе опросчика, всту-

пает с ним в радиообмен для самоидентификации и передачи данных. Полученную от радиометки информацию ридер пересыпает контролирующему компьютеру для обработки и управления. Кроме уникального идентификатора метка может содержать в своей памяти дополнительную информацию, передаваемую или изменяющую при обмене со считывателями [4].

## 1. Параметрические данные RFID-технологии

Использование этой технологии влечет за собой ряд проблем и издержек, поскольку технология ещё мало изучена. Но она имеет много полезных свойств [5].

Преимущества RFID-технологии [1, 3]:

- бесконтактная работа: RFID-метку можно прочитать без физического контакта между меткой и ридером;
- перезапись данных: данные RFID-метки с перезаписью (RW-метки) можно перезаписывать множество раз;
- работа вне прямой видимости: чтобы RFID-считыватель прочитал RFID-метку, в общем случае не требуется её нахождения в зоне прямой видимости считывателя. Взаимная ориентация метки и считывателя часто не играет роли. Для чтения данных метке достаточно хотя бы ненадолго попасть в зону регистрации, перемещаясь, в том числе на большой скорости;
- высокая степень безопасности: уникальное неизменяемое число-идентификатор, присваиваемое метке при производстве, гарантирует высокую степень ее защиты от подделки. Также данные на метке могут быть зашифрованы. Радиочастотная метка может закрыть паролем операции записи и считывания данных, а также зашифровать их передачу. В одной метке можно одновременно хранить открытые и закрытые данные;
- возможности хранения данных: RFID-метка может хранить значительно больше информации, чем штрих-код. На микросхеме в 1 см может храниться до 10 000 байт информации, в то время как штриховые коды могут вместить 100 байт информации, для воспроизведения которых понадобится площадь размером с лист бумаги формата А4;
- большое расстояние чтения: в зависимости от модели метки и считывателя радиус считывания может составлять до нескольких сотен метров. Однако такие расстояния требуются не всегда;
- поддержка чтения нескольких меток: данные меткичитываются при любом её расположении, единственное условие – нахождение метки в зоне действия считывателя;
- выполнение интеллектуальных задач: кроме хранения и передачи данных RFID-метка может выполнять другие задачи (например, измерять температуру и давление окружающей среды);

- прочность: RFID-метки могут в значительной мере противостоять жестким условиям окружающей среды. В тех сферах применения, где один и тот же объект может использоваться неограниченное количество раз (например, при идентификации контейнеров или возвратной тары), радиочастотная метка оказывается приемлемым средством идентификации, так, её не требуется размещать на внешней стороне упаковки. Пассивные RFID-метки имеют практически неограниченный срок эксплуатации: ведь у большинства из них отсутствуют подвижные детали, поэтому метка может быть изготовлена с функцией противодействия таким условиям среды, как нагрев, влажность, коррозионные вещества, механическая вибрация и удары.

Ограничения RFID-технологии [1, 3]:

- невысокие рабочие характеристики в присутствии радионепрозрачных и радиопоглащающих материалов. Такое поведение зависит от частоты. Технология в её современном состоянии плохо работает с такими материалами, а в некоторых случаях отказывает полностью;
- негативное воздействие факторов окружающей среды на RFID-решения: если рабочая среда содержит большое количество металла, жидкости и т. д., это может влиять на точность чтения меток в зависимости от частоты;
- воздействие помех от аппаратуры: на RFID-решение может отрицательно влиять неправильная установка аппаратуры (например, расположение и ориентация антенны);
- ограниченная проникающая способность энергии радиоволн. Хотя RFID не требует прямой видимости, существует предел проникновения энергии радиоволн даже в радиопрозрачные объекты.

## **2. Применение технологии RFID**

Разнообразие устройств RFID позволяет использовать их в различных сферах – от карточек в метро до отслеживания движущихся объектов.

Обычно объектом идентификации являются вагоны и комплектующие части [6].

Считыватель работает либо автономно (ведет лог RFID-меток с указанием времени обнаружения, в то же время может управлять реле или цифровым портом), либо под управлением компьютера, находящегося в составе IT железнодорожной инфраструктуры [7].

Когда требуется идентифицировать объект, на который установлена RFID-метка, активируется антенна RFID-считывателя (либо считыватель всегда находится в режиме опроса), в ответ метка передает уникальный номер Electronic Product Code (EPC) или серийный номер метки TID либо дополнительные данные, записанные в память метки [8]. Далее информация

передается на компьютер, после чего система отрабатывает в соответствии с реализованными в ней алгоритмами.

В логистике есть примеры комплексных разработок с использованием RFID – для морских контейнерных перевозок. Каждый контейнер оснащается меткой RFID, содержащей информацию о грузе, скомбинированной с датчиками (например, открытия, содержания кислорода и т. п.), передающей данные на центральную станцию сбора данных на борту контейнеровоза, которая, в свою очередь, передаёт данные через спутниковую связь [9]. Таким образом, владелец груза получает возможность отслеживать местоположение и сохранность груза. Данное использование технологии применимо и на железнодорожном транспорте и является вполне выгодным введением.

Технологии RFID используют для безопасности перевозимых грузов и для предотвращения несанкционированного доступа к грузам и объектам транспортной инфраструктуры.

Запорно-пломбировочное устройство (ЗПУ) – механическое приспособление, препятствующее несанкционированному доступу к охраняемым материальным ценностям и позволяющее обнаружить факт вмешательства в случае, если несанкционированное вскрытие такого устройства все же произошло. Применение RFID-меток в ЗПУ позволяет практически мгновенно получать исчерпывающую информацию о транспортируемом грузе, а также решает проблему подмены пломб в случае несанкционированного вскрытия.

Очень важно, что технология позволяет отслеживать грузовые и пассажирские вагоны в режиме реального времени без применения дорогих и сложных спутниковых систем глобального позиционирования (GPS) [10]. Мониторинг в режиме реального времени технических показателей и индикаторов запасов для управления имуществом железнодорожного транспорта позволяет применять бизнес-аналитику для создания специализированных решений [11].

С использованием RFID-технологии создается «умный код для отслеживания» (Smart tracking code) на грузовом или пассажирском вагоне.

На основе RFID решаются комплексные задачи, такие как обнаружение положения вагонов, определение направления движения состава и эффективное решение вопросов складского учета.

Рассматривая применение этой технологии на железнодорожном транспорте, стоит отметить те преимущества, что будут наиболее востребованы и полезны для работы на железной дороге, помимо того, что она, с одной стороны, не требует контакта или прямой видимости объекта и сканера, а с другой – позволяет считывать данные быстро и точно. Даже нахождение в агрессивных средах незначительно сказывается на работоспособности меток и считывателей. Ридеры могут распознать информацию даже через слой грязи, краски, через воду, пластмассу, древесину и другие покрытия, если

они не выполнены из радионепрозрачных и радиопоглащающих материалов. Длительный срок эксплуатации этой системы позволяет снизить издержки в техническом обслуживании, а при пассивном исполнении технологии устройства имеют фактически неограниченный срок эксплуатации. Несмотря на свои размеры, устройства несут большое количество информации. RFID-метки могут быть выполнены в разных вариантах – в корпусе или в виде наклеек.

Также системы RFID на железных дорогах не требуют систем спутникового позиционирования или внешних каналов связи, прекрасно справляются со своими задачами в тоннелях и глубоко под землей [12]. Подобные системы мы можем наблюдать в метрополитене: они обеспечивают точность остановки подвижных составов на станциях. Говоря простым языком, двери вагонов поездов открываются на одних и тех же местах.

К сожалению, в России производство приборов для железнодорожной дороги не налажено, но за рубежом ведутся работы в данной области.

Оборудование и метки работают в частотном диапазоне UHF (860–960 МГц). Выбор падает на этот диапазон из-за более высокой дальности считывания пассивных меток UHF по сравнению с альтернативными технологиями HF и LF.

Технология RFID предоставляет удобный способ идентифицировать проходящий через контрольную точку подвижной состав, отслеживать его движение и контролировать состояние [13].

Ближайшее будущее развитие средств автоматики и телемеханики с использованием RFID-технологии позволит получить ряд преимуществ по сравнению со старыми системами. Целесообразность и необходимость использования этой техники связаны, прежде всего, с тенденциями развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики.

Использование же их в системах регулирования движения поездов позволит повысить эффективность работы последних, снизить затраты на техническое обслуживание. Наиболее целесообразным в данной области, на наш взгляд, является применение RFID-технологии для контроля свободности участков пути, т. е. для реализации тех функций, которые в настоящее время выполняют рельсовые цепи либо устройства счёта осей.

## **Выводы**

RFID-технология еще мало исследована, поэтому ограничена в применении. Но у радиочастотной идентификации большие перспективы и неоспоримые достоинства, которые позволяют создавать эффективные устройства в различных отраслях производства, в том числе на железнодорожном транспорте – от подразделений логистики до систем интервального регулирования движения поездов.

## **Библиографический список**

1. RFID.– URL : <https://ru.wikipedia.org/wiki/RFID>.
2. История RFID.– URL : <http://www.rmk-shop.ru/rfid-history.html>.
3. Системы радиочастотной идентификации.– URL: <http://www.altikaspectr.net.ua/news/istorija-rfid-metok.html>.
4. Технологии RFID-идентификации. Железнодорожный транспорт.– URL : <http://www.isbc-rfid.ru/trains>.
5. Гуляев Ю.В. Современное состояние проблем проектирования систем радиочастотной идентификации с акустоэлектронными компонентами / Ю. В. Гуляев, А. С. Багдасарян, Г. А. Кащенко и др. // Изв. Акад. инж. наук им. А. Н. Прохорова.– М. ; Нижний Новгород, 2011. – С. 64–84.
6. Железнодорожная отрасль. РосНано.– URL : <http://www.rusnano.com/infrastructure/solutions/sector/railway>.
7. Технологии RFID-идентификации. Железнодорожный транспорт.– URL : <http://www.isbc-rfid.ru/trains>.
8. RFID на железнодорожном транспорте.– URL : <http://www.idexpert.ru/reviews/4318>.
9. RFID-система идентификации железнодорожного транспорта.– URL : <http://asupro.com/gps-gsm/system/rfid-identification-system-railway.html>.
10. RFID-оборудование для решения задач на рынке железнодорожных систем.– URL : <http://maintag.ru/clauses/company/rassylka>.
11. Левин Д.Ю. Управление эксплуатационной работой на железнодорожном транспорте : учеб. пособие / Д.Ю. Левин.– М. : Инфра-М, 2015.
12. RFID-считыватели.– URL : <http://www.erfid.ru/rfid-technology/rfid-readers>.
13. RFID-метки.– URL : <http://www.erfid.ru/rfid-technology/rfid-tag>.

## **RFID-technology and its applications of railways**

M. G. Yashin, R. I. Ivanov

*“Restoration of automation, remote control  
and communication on railways” department  
Military Institute (Of railway troops and military transport)  
of Military academy of logistics*

Radio frequency identification (RFID) technology is observed as well as its abilities and characteristics, devices and means using this technology. Possibilities of application of this technology in railway transport area and train traffic control with the use of radio frequency identification are considered.

**Keywords:** radio frequency identification; radio transmission; mark; reader; railways; interval regulation.

## **Сведения об авторах**

*ЯШИН Михаил Геннадьевич* – кандидат технических наук, доцент, докторант Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулёва;  
*e-mail:* maikl771@rambler.ru

*ИВАНОВ Руслан Игоревич* – курсант факультета «Железнодорожных войск» Военного института (Железнодорожных войск и военных сообщений) Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулёва;  
*e-mail:* realtime.rfb.zdv@mail.ru

© Яшин М.Г., Иванов Р.И., 2016

# *Телекоммуникационные системы*

УДК 656.254

## **СЕТЬ СО СПЕКТРАЛЬНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ**

**А. К. Канаев, В. Ф. Тукмачев**

Рассматривается характеристика транспортной сети связи со спектральным разделением как объекта управления. Приводятся элементы транспортной сети связи со спектральным разделением, их характеристики и взаимосвязи. Разработан алгоритм управления телекоммуникационной системой на основе системы поддержки принятия решений.

**Ключевые слова:** транспортная сеть связи со спектральным разделением; объект управления; система управления; телекоммуникационная система; система поддержки принятия решений; мультиагентная система; лицо, принимающее решение; экспертная система; EMS – Element management system; NMS – Network management system.

### **Введение**

Телекоммуникационная система представляет собой структуру и средства, предназначенные для передачи больших объемов информации посредством различных сред передачи, например, кабельные, оптоволоконные, эфирные и спутниковые.

Одно из основных требований к волоконно-оптическим сетям связи – возможность быстрого увеличения пропускной способности в соответствии с ростом объемов трафика. Наилучшим образом эта задача решается с помощью технологии со спектральным разделением каналов [1].

Рассматривая транспортную сеть связи со спектральным разделением каналов (ТрСС СР) как объект управления, необходимо учитывать ряд факторов, влияющих на ее работоспособность, такие как масштаб и структура сети, станционные устройства оборудования спектрального разделения, составляющие линейно-оптического тракта, узлы коммутации волновых составляющих и др.

Система управления (СУ) телекоммуникационной системой (ТКС) позволит в соответствии с реальной обстановкой управлять объектами ТрСС

СР и поддерживать необходимый уровень качества передачи информации, устранять аварии в сети, находить и устранять (обходить) отказы на элементах сети или линейном тракте и др.

Точное и полное описание элементов, трактов и узлов (объектов управления (ОУ)) ТрСС СР позволит в дальнейшем поддерживать их характеристики на должном уровне, а установление взаимосвязей между ними – найти возможные отказы и устраниить их [2–4].

## 1. Элементы ТрСС СР, их характеристики и взаимосвязи

Классификацию ТрСС СР можно представить следующим образом (см. таблицу).

Классификация ТрСС СР

Объект управления	Характеристика
Транспондер	Скорость передачи, Гбит/с; мощность передатчика, дБм; чувствительность приемника, дБм; максимально допустимая хроматическая дисперсия, пс/нм; минимально допустимое значение отношения сигнал/шум, дБ; коррекция FEC (G/709), дБ
Оптическое волокно	Рекомендация и модификация; погонные потери, дБ/км; коэффициент хроматической дисперсии, пс/ $\sqrt{\text{нм}\cdot\text{км}}$ ; коэффициент поляризационной модовой дисперсии, пс/ $\sqrt{\text{км}}$ ; длина волны (несущей), нм; наклон хроматической дисперсии, пс/нм <sup>2</sup> ·км
Усилитель	Входная/выходная мощность, дБм, коэффициент усиления и вносимый уровень шума, дБ
Мультиплексор/Демультиплексор	Число оптических каналов M; потери при транзите/выводе/вводе каналов, дБ; вносимые потери от поляризационной модовой дисперсии, пс; вносимые потери от хроматической дисперсии, пс/нм; количество перестраиваемых мультиплексоров ввода/вывода; количество мультиплексоров ввода/вывода
Компенсатор дисперсии	Коэффициент хроматической дисперсии, пс/нм·км; погонные потери, дБ/км; протяженность линии DCF волокна, км

ТрСС СР является системой – это полный, целостный набор элементов (ОУ), взаимосвязанных и взаимодействующих между собой так, чтобы могла реализоваться функция системы. Уровни в системе могут быть соподчинены друг другу, образуя иерархию связей [5, 6].

Система как образ объекта задается на конечном множестве отобранных для наблюдения свойств (характеристик).

Состоянием системы называется совокупность существенных свойств, которыми система обладает в каждый момент времени. Под свойством понимают те аспекты объекта, которые обусловливают его отличие от других

объектов или сходство с ними и проявляются при взаимодействии с другими объектами.

Таким образом, выделяя ОУ, представленные в таблице, и определяя их характеристики (свойства), можно описать параметры ОУ. То есть ТрСС СР характеризуются совокупностью параметров, которые описывают структурно-функциональную организацию сети, ее взаимодействие с внешней средой и создаваемую в сети нагрузку. Характеристики являются вторичными данными о состоянии ТрСС СР по отношению к параметрам, но позволяют шире оценить ее возможности. Характеристики ТрСС СР отражают взаимосвязь между зависимыми или независимыми величинами, определяющими состояние технической системы или процесса.

Таким образом, параметры ТрСС СР:

- допустимые потери в линии  $A_d$ , дБ, исходя из необходимой для заказчика протяженности линии  $L$ , км;
- бюджет оптической мощности, дБ;
- хроматическая дисперсия  $D_{hr}$ , пс/нм, в каждом канале;
- компенсация хроматической дисперсии (если есть необходимость);
- значение  $OSNR_{вых}$ , дБ; значение разности групповых запаздываний DGD, пс.

## 2. Система управления ТКС на основе СППР

Процессы принятия решений имеют свои особенности [1]. Прежде всего, данные задачи сложно описать алгоритмически. Решения принимаются по определенным сценариям, для описания которых целесообразно использовать базы знаний и технологии экспертных систем (ЭС). При автоматизации деятельности лица, принимающего решение (ЛПР), можно использовать программные интеллектуальные агенты. Следовательно, для таких процессов ТрСС СР должна включать систему поддержки принятия решений (СППР), которая поможет ЛПР на основе имеющейся информации правильно определить проблему и выбрать оптимальное решение. Следует отметить, что не все алгоритмы и сценарии поведения поддаются полной формализации. В некоторых случаях требуется непосредственное участие ЛПР [7].

СППР обеспечивают корректность выбора предпочтительных (рациональных) вариантов управления за счет инфокоммуникационной поддержки конечного пользователя на разных этапах его деятельности при помощи совокупности технологически взаимоувязанных сервисов, реализующих традиционные и перспективные информационные технологии. Для управления территориально распределенными объектами известным и хорошо зарекомендовавшим себя на практике является подход, базирующийся на применении мультиагентных СППР, в которых сочетаются централизованные/децентрализованные методы анализа ситуаций.

Таким образом, каждый ОУ системы будет являться агентом с определенными параметрами, характеристиками и связями. Совокупность агентов образуют мультиагентную систему (МАС), в данном случае ей будет являться ТрСС СР [8].

Управление ТКС заключается в решении пяти групп задач на основе распределенных по сети баз управляющей информации устройств и требований, предъявляемых клиентами инфокоммуникационных услуг:

- управление производительностью;
- отказами;
- безопасностью;
- конфигурацией;
- учетом.

## **Выводы**

Таким образом, создание системы управления ТКС актуальна по ряду причин: оперативное управление объектами управления позволит не только следить за параметрами, но и контролировать возможные изменения характеристик; получение реальной картины происходящего ТрСС СР при возможных изменениях (авариях); возможность обнаружения различных видов отказов сети для восстановления структуры.

В настоящий момент производитель предоставляет возможность мониторинга отдельными элементами (характеристиками) ТКС при помощи СУ элементами (EMS – Element management system). EMS управляет функциями и возможностями в рамках каждого элемента, но не управляет трафиком между элементами сети.

Управление характеристиками одного элемента оказывает влияние на характеристики как самого элемента, так и других элементов, т. е. появляется необходимость определения взаимосвязи между ними. Для поддержки управления трафиком между собой и другими ЭС EMS обращается выше – к системам управления сетью (NMS – Network management system).

В МАС мультиагенты отражают элементы сети и взаимосвязи между ними. Контроль и управление мультиагентами в МАС позволит управлять маршрутами доставки, скоростью передачи, производительностью сети и сетью в целом.

## **Библиографический список**

1. Канаев А. К. Информационная модель учета и управления данными о конфигурации сети в интересах системы управления сети связи специального назначения / А. К. Канаев, А. Н. Копытин // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций

- в науке и образовании : междунар. науч.-техн. и науч.-методич. конф. : сб. науч. ст. в 2 т. / под. ред. С. В. Бачевского ; сост. А. Г. Владыко, Е. А. Аникеевич, Л. М. Минаков. – СПб., 2015. – С. 1280–1285.
2. Канаев А. К. Моделирование процессов распределения потоков в транспортных сетях / А. К. Канаев, М. М. Лукичев // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании : междунар. науч.-техн. и науч.-методич. конф. : сб. науч. ст. В 2 т. / под. ред. С. В. Бачевского ; сост. А. Г. Владыко, Е. А. Аникеевич, Л. М. Минаков. – СПб., 2015. – С. 1290–1295.
  3. Канаев А. К. Математическая модель процесса функционирования системы управления сетью передачи данных при обращении пользователей сети в службу поддержки при снижении показателей качества обслуживания / А. К. Канаев, М. А. Сахарова // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании : междунар. науч.-техн. и науч.-методич. конф. : сб. науч. ст. в 2 т. / под. ред. С. В. Бачевского ; сост. А. Г. Владыко, Е. А. Аникеевич, Л. М. Минаков. – СПб., 2015. – С. 1295–1300.
  4. Канаев А. К. Предложения по развитию архитектуры ЕСМА средствами интеллектуальной поддержки принятия решений / А. К. Канаев, Е. В. Опарин, А. А. Привалов, М. А. Сахарова // Юбилейная 70-я всерос. науч.-техн. конф., посвященная Дню радио. – СПб., 2015. – С. 231–233.
  5. Канаев А. К. Модель процесса функционирования системы управления сетью передачи данных при определении технического состояния элементов сети / А. К. Канаев, М. А. Сахарова // Транспорт Урала. – СПб., 2015. – № 2. – С. 48.
  6. Канаев А. К. Основные положения формирования методики принятия решений в интеллектуальной системе поддержки принятия решений системы управления сетью передачи данных / А. К. Канаев, М. А. Сахарова // Юбилейная 70-я всерос. науч.-техн. конф., посвященная Дню радио. – СПб., 2015. – С. 283–284.
  7. Бенета Э. В. Анализ и обоснование выбора алгебры процессов для описания взаимодействия объектов телекоммуникационной сети / Э. В. Бенета, А. К. Канаев // Юбилейная 70-я всерос. науч.-техн. конф., посвященная Дню радио. – СПб., 2015. – С. 284–286.
  8. Бенета Э. В. Анализ современных подходов к построению мультиагентных систем управления транспортными сетями связи / Э. В. Бенета, А. К. Канаев // Юбилейная 70-я всерос. науч.-техн. конф., посвященная Дню радио. – СПб., 2015. – С. 286–287.

## **Net with spectral channel distribution as a control object in telecommunication system**

A. K. Kanaev, V. F. Tukmachev

*“Electrical communication” department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

The characteristic of transport communication network with spectral distribution is considered as control object. Elements of transport communication network, their characteristics and relationships are adduced. Telecommunication system control system is based on decision support system.

**Keywords:** *transport communication network with spectral distribution; control object; control system; telecommunication system; decision support system; multi-agent system; decision maker; expert system; element management system; network management system.*

## Сведения об авторах

*КАНАЕВ Андрей Константинович* – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Электрическая связь» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* kanaevak@mail.ru

*ТУКМАЧЕВ Владимир Флюрович* – аспирант кафедры «Электрическая связь» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* v.tukmachev@mail.ru

© Канаев А. К., Тукмачев В. Ф., 2016

# ФОРМИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ОТКАЗАМИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ СВЯЗИ, ПОСТРОЕННОЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ CARRIER ETHERNET

**Э. В. Бенета, А. К. Канаев**

Приводится обоснованный выбор пакетно-ориентированной технологии. Анализируются механизмы и архитектура управления отказами в OAM Carrier Ethernet. Описано формирование алгоритма управления отказами с учетом реализуемых в OAM Carrier Ethernet механизмов.

**Ключевые слова:** алгоритм; управление отказами; пакетные технологии; Carrier Ethernet; архитектура; телекоммуникационные сети.

## Введение

Сегодня заметен активный переход телекоммуникационных технологий от синхронной/плезиохронной иерархии к пакетно-ориентированным технологиям. Главными причинами такого перехода можно назвать не только потребность в оптимизации разных видов данных, но и сокращение стоимости реализации внедряемой технологии. Возможность применения в сетях общего пользования (доступа, городских, глобальных) получила технология Carrier Ethernet на базе MEF (Metro Ethernet Forum) и EFMA (Ethernet in the First Mile Alliance). В [1] подробно рассмотрен функционал технологии, типы реализуемых топологий и предоставляемых услуг на основе порта и на основе виртуальных соединений. С точки зрения механизмов управления, администрирования и поддержки (OAM) особый интерес для телекоммуникационных сетей (ТКС) представляют механизмы управления отказами. Анализ этих и других механизмов OAM в Carrier Ethernet представлен в [2–4].

## 1. Механизмы OAM Carrier Ethernet

Из-за множества разнообразного оборудования в сети связи заметно увеличилось количество параметров, по которым система управления оценивает работу сети в целом и каждого ее структурного элемента. Еще одним фактором для создания универсального алгоритма управления отказами является необходимость изменять структуру ТКС в соответствии с ее изменяющимися

во времени параметрами. Для наилучшего функционирования перспективной системы управления в условиях современных тенденций на телекоммуникационном рынке предлагается использовать механизмы ОАМ. На каждом уровне управления имеется свой набор функций, взаимодействие которых позволяет эффективно управлять сетевыми процессами и взаимодействием нескольких сетей.

Используются следующие механизмы для решения задач управления неисправностями:

- Continuity Check (определение неисправности и оповещение о неисправности);
- Loopback (проверка доступности сервиса);
- Linktrace (локализация неисправности) и др.

Стандарт ITU-T Y.1731 [5], как и стандарт CFM (IEEE 802.1ag) [6], позволяет управлять неисправностями. При этом имеются особенности механизмов, оповещающих об отказе, и способов рассылки служебных сообщений. В данном случае оба стандарта дополняют друг друга. Управление конфигурациями происходит с помощью стандарта MEF E-LMI [7].

Приведенные в таблице функции позволяют наглядно оценить работу основных механизмов для каждого этапа управления отказами, соответствующего одному из реализуемых стандартов [8].

Стандарты в ОАМ СЕ

Этап управления отказами	Стандарт	Подзадача
Обнаружение	802.1ag	Определение отказа
	802.3ah [7]	Мониторинг соединения
Оповещение	802.1ag	Оповещение об удаленных неисправностях
		Проверка непрерывности сообщений
	Y.1731	Формирование сигнала оповещения о наличии неисправности
	802.3ah	Извещение об отказе канала
		Извещение о превышении количества ошибок
	E-LMI	Периодический опрос и асинхронное оповещение
Проверка	802.1ag	Проверка доступности сервиса
	802.3ah	Проверка доступности и корректности передачи трафика с возможностью установки петли на удаленном конце
	Y.1731	Формирование тестового сигнала
Локализация	802.1ag	Локализация отказа и тестирование производительности канала
	802.3ah	Локализация отказа и тестирование производительности канала для контроля удаленного ОАМ-клиента

В регламентирующих документах IEEE 802.1ag и ITU-T Y.1731 для качественного управления соединениями в структуре сети определены границы ответственности – так называемые Maintenance domain (MD). Как показано на рис. 1, границы могут проходить в одном месте, но не могут пересекаться. MD могут быть вложенными (до 8 уровней вложения). Например, такими MD могут быть Клиент/Оператор/Арендуемый сегмент сети. Для мониторинга доступности сервиса в MD определены Maintenance association (MA). MA, в свою очередь, определяются как набор Maintenance end points (MEP) на границах домена. Итак, MD – это группа устройств, предоставляющих услугу под управлением определенного оператора; MA – мониторинг экземпляра сервиса в пределах MD; MP – точка мониторинга, которая генерирует и отвечает на сообщения CFM. Точка Maintenance domain intermediate point (MIP) позволяет определять путь между MEP и место сбоя на этом пути.

## 2. Формирование алгоритма управления отказами

Сквозное управление отказами возможно при последовательном функционировании и взаимодействии механизмов, описанных в каждом стандарте, поэтому алгоритм управления отказами в OAM Carrier Ethernet (CE) можно описать так, как показано на рис. 2.

Для обнаружения отказа на все устройства сети через настраиваемые интервалы времени отправляется сообщение Continuity check message (CCM). Данное сообщение не требует ответа от получателя, так как фиксируется факт его прохождения через промежуточные устройства MIP и передается сообщение о статусе порта, на котором настроен инициатор сообщение MEP. После терминации пакета в MEP на другом конце подсчитывается количество ошибок, зафиксированных пакетом при прохождении через устройства сети. Если допустимый уровень ошибок превышен, то механизм Continuity check (CC) определяет типы ошибок и оповещает об отказе канала.

Если уровень ошибок допустим, то механизм CC проверяет работоспособность сервиса по времени путем проверки и сравнения устройств сети MEP с настройками в конфигурации для каждого сервиса. CC также будет оповещать об обнаружении неизвестных и отсутствующих в настройках конфигурации устройств MEP и MIP сети.

После оповещения об отказе канала при превышении допустимого уровня ошибок проверяется доступность канала с последующей локализацией неисправного устройства. На одно из устройств каждой группы MA отправляется сообщение Loopback message (LBM). Исправное устройство запрограммировано на отправку ответного пакета Loopback reply (LBR). В противном случае определяется недоступность сегмента сети (например, группа устройств MA). Для поиска пути до места повреждения на устройства поврежденной группы рассыпается сообщение Linktrace message (LTM) от конечного устройства.

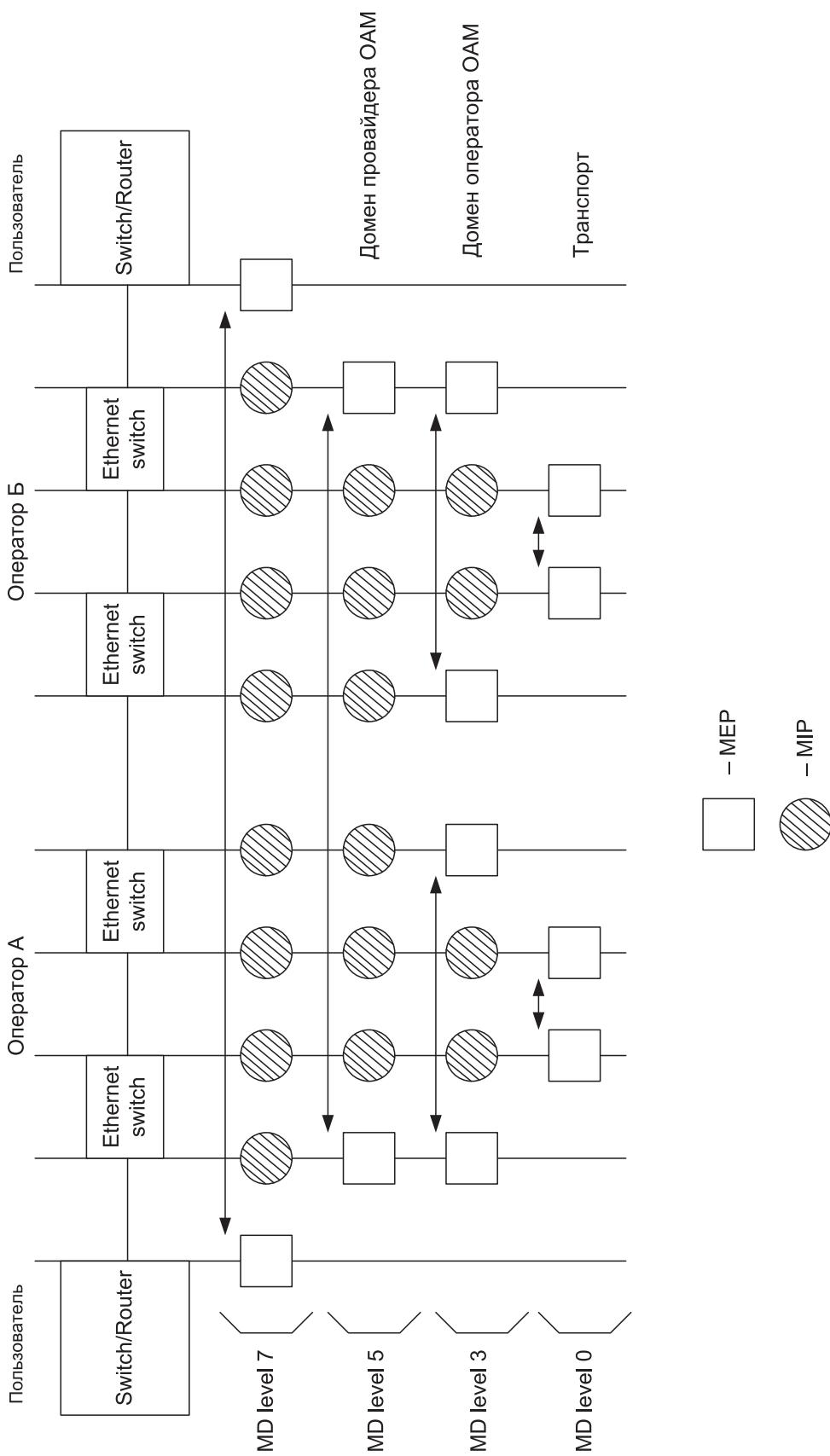
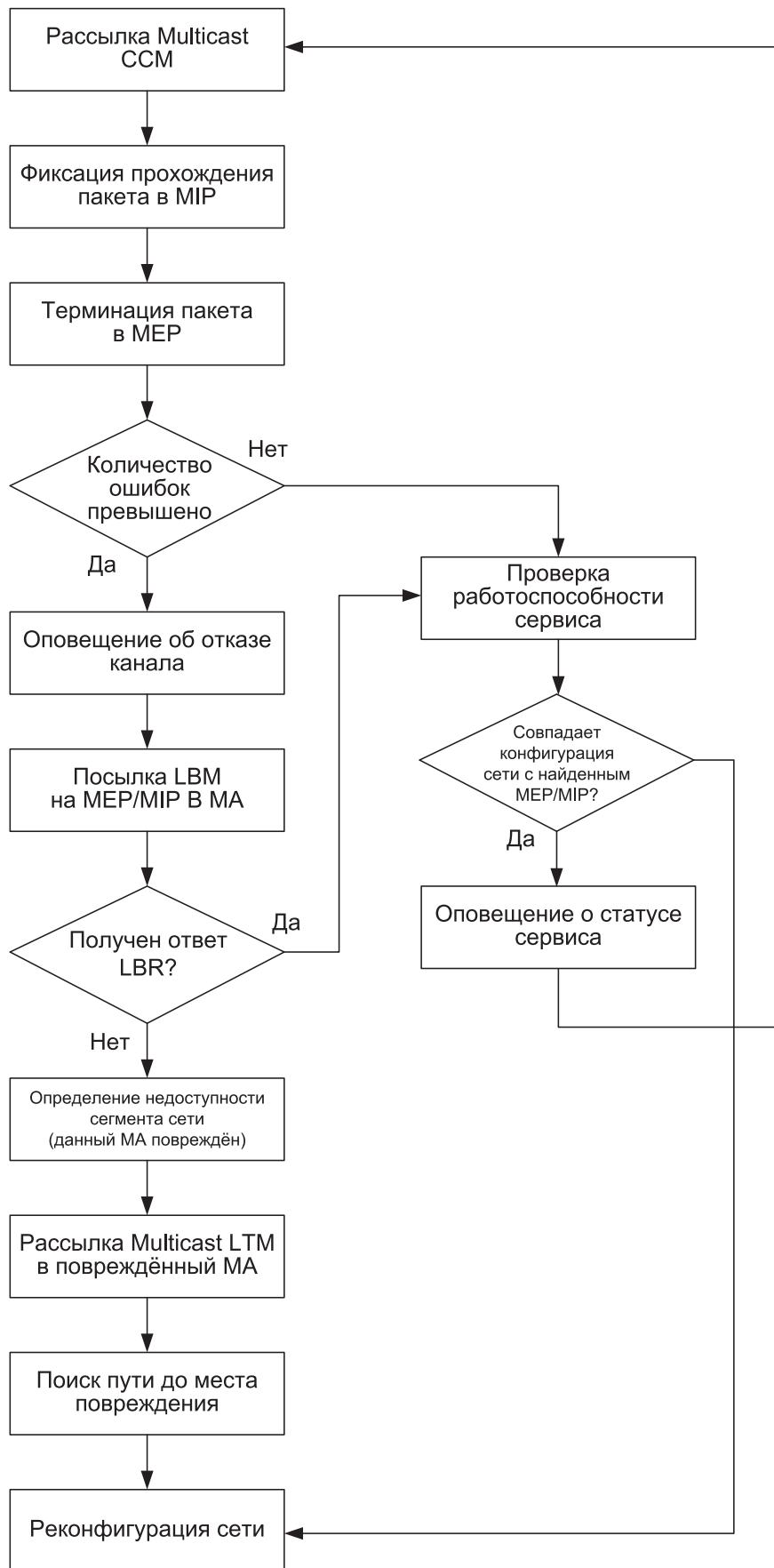


Рис. 1. Архитектура ОАМ Carrier Ethernet



**Рис. 2.** Алгоритм управления отказами ОАМ СЕ

Каждое устройство возвращает ответное сообщение Linktrace reply (LTR) инициатору. Отказ локализуется на основании полученных сообщений LTR, после чего сеть реконфигурируется с учетом найденных неисправных и не совпадающих с настройками сети устройств.

## Выводы

Представленный в статье алгоритм позволяет учитывать состояние элементов сети в любой момент и подстраиваться под изменения конфигурации сети связи. Кроме того, являясь частью технологии Carrier Ethernet, алгоритм включает в себя набор механизмов по управлению отказами, а значит, этот сегмент системы управления будет реализован в соответствии с пакетно-ориентированными технологиями.

В условиях концепции развития системы управления транспортными сетями связи ОАО «РЖД» данная работа не теряет своей актуальности. Алгоритм позволит модернизировать управление транспортными сетями с использованием механизма QoS (качество предоставляемых услуг), встроенного в ОАМ Carrier Ethernet, а в целом это позволит сделать процесс управления сетями на ОАО «РЖД», с одной стороны, стабильным, с другой – гибким, обеспеченным необходимыми международными стандартами.

## Библиографический список

1. Бенета Э. В. Перспективная телекоммуникационная сеть следующего поколения на основе технологии Carrier Ethernet / Э. В. Бенета, А. К. Канаев // Бюл. результатов научных исследований. – 2014. – № 4 (13). – URL : <http://brni.info/archive> (дата обращения 21.10.2016).
2. Патенко В. Обзор Ethernet OAM / В. Патенко // Cisco Expo – 2008. – URL : [http://www.cisco.com/c/dam/global/ru\\_ua/assets/expo2008/download/pdf\\_pre/41.pdf](http://www.cisco.com/c/dam/global/ru_ua/assets/expo2008/download/pdf_pre/41.pdf) (дата обращения 08.09.2016).
3. Stein Ya. (J.) Ethernet vs. MPLS-TP in Access Networks / Ya. (J.) Stein. – URL : <http://www.dspscsp.com/lectures/ethtp.pdf> (дата обращения 21.04.2016).
4. Бенета Э. В. Выбор телекоммуникационной технологии операторского класса / Э. В. Бенета, А. К. Канаев // Автоматика, связь, информатика. – 2016. – № 7. – С. 13–15.
5. Recommendation ITU-T G.8013/Y.1731 : Operation, administration and maintenance (OAM) functions and mechanisms for Ethernet-based networks, 2015.
6. IEEE 802.1ag : Local and metropolitan area networks – Connectivity fault management, 2007.
7. MEF 16 Ethernet Local Management Interface (E-LMI) // The Metro Ethernet Forum, 2006.
8. IEEE 802.3ah Task Force : Ethernet in the First Mile, 2004.

# **Formation of fault control algorithm in telecommunication network based on Carrier Ethernet technology**

E. V. Beneta, A. K. Kanaev

*“Electrical communication” department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

An informed choice of packet-oriented technology is considered. Mechanisms and architecture of fault control in OAM Carrier Ethernet are analyzed. The algorithm of fault control is formed according to mechanisms realized in OAM Carrier Ethernet.

**Keywords:** *algorithm, fault control, packet technologies, Carrier Ethernet, architecture, telecommunication networks.*

## **Сведения об авторах**

**БЕНЕТА Элина Валерьевна** – аспирант, ассистент кафедры «Электрическая связь» Петербургского государственного путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* elinabeneta@yandex.ru

**КАНАЕВ Андрей Константинович** – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Электрическая связь» Петербургского государственного путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* kanaevak@mail.ru

© Бенета Э.В., Канаев А.К., 2016

# ВНЕДРЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ПРИМЕНЕНИЕМ К ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМУ ТРАНСПОРТУ НА ОСНОВЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ (5G)

П. А. Плеханов

Рассмотрены возможности применения технологий беспроводной связи пятого поколения (5G) для реализации концепции интеллектуальных транспортных систем на железнодорожном транспорте.

**Ключевые слова:** беспроводная связь пятого поколения (5G); интеллектуальные транспортные системы; железнодорожный транспорт.

## Введение

Интеллектуальная транспортная система (ИТС) – это система управления, интегрирующая современные информационные и телематические технологии и предназначенная для автоматизированного поиска и принятия к реализации максимально эффективных сценариев управления транспортно-дорожным комплексом региона, конкретным транспортным средством или группой транспортных средств с целью обеспечения заданной мобильности населения, максимизации показателей использования дорожной сети, повышения безопасности и эффективности транспортного процесса, комфорта для водителей и пользователей транспорта [1]. В настоящее время направление ИТС активно развивается как за рубежом, так и в России [2, 3] на основе использования современных технологий беспроводной связи – систем сотовой связи (GSM(-R)/GPRS/EDGE, UMTS/HSPA, LTE(-R)), систем беспроводного доступа Wi-Fi (IEEE 802.11a/b/g/n/ac), а также технологии DSRC (Dedicated Short Range Communications – специализированной связи на коротких расстояниях: IEEE 802.11p и IEEE 1609)\*.

Рассмотрим возможности применения технологий беспроводной связи пятого поколения (5G) для реализации концепции ИТС на железнодорожном транспорте.

---

\* При этом для железнодорожного транспорта технология DSRC является новой, поскольку изначально она разрабатывалась для организации информационного обмена на автотранспорте.

## 1. Возможности беспроводной связи пятого поколения (5G)

К «нулевому» поколению (0G) систем подвижной связи (СПС) относятся аналоговые системы, позволяющие организовать речевую связь (передать и принять данные также невозможно) в одном из двух режимов: одночастотном симплексном и полудуплексном (двухчастотном симплексном). К первому поколению (1G) относятся аналоговые СПС, позволяющие организовать речевую связь (возможность передачи и приема данных также отсутствует) в дуплексном режиме. Ко второму поколению (2G) относятся цифровые СПС, позволяющие организовать передачу и прием речи и данных в режиме коммуникации как каналов, так и пакетов. Наиболее распространенной СПС второго поколения является система сотовой связи стандарта GSM(-R)/GPRS/EDGE. СПС третьего (3G) и четвертого (4G) поколений предоставляют возможность подвижным абонентам передавать данные со скоростями, равными десяткам и сотням Мбит/с. Наиболее распространенным представителем третьего поколения СПС является технология UMTS/HSPA. Представителями четвертого поколения СПС, скорость передачи данных в которых может достигать нескольких сотен Мбит/с, являются технологии WiMAX (IEEE 802.16d/e) и LTE(-R). Что касается СПС пятого поколения (5G), то в настоящее время нет определенного стандарта, однозначно претендующего на то, чтобы быть его представителем (табл. 1).

Однако наличие сегодня ряда приложений, требующих малых временных задержек (в дистанционных измерениях, обеспечении безопасности движения и т. д.), высокого уровня надежности (в телемедицине, управлении критическими объектами инфраструктуры электроэнергетики, транспорта и т. д.) и быстрой передачи разных объемов данных (для удаленного видеонаблюдения, контроля перемещения грузов и т. д.) обуславливает необходимость реализации технологий пятого поколения СПС [4–6]. В связи с этим

**Таблица 1.** Классификация и краткое описание поколений беспроводной связи

Поколение	Примерное начало реализации	Основные технологии	Основные возможности
0G	Конец XIX в.	Аналоговые системы подвижной связи	Голосовая связь в симплексном режиме
1G	Вторая половина XXв.		Голосовая связь в дуплексном режиме
2G	1990 г.	GSM/GPRS/EDGE; CDMA	Низкоскоростная передача данных
3G	2000 г.	UMTS/HSPA	Высокоскоростная передача данных
4G	2010 г.	LTE/LTE-A (Advanced); Mobile WiMAX	Скорости передачи данных сопоставимы со скоростями в сетях проводной связи
5G	2020 г.	?	?

можно сформулировать требования, которые не могут быть удовлетворены нынешними технологиями третьего и четвертого поколений СПС:

- обеспечение скорости передачи данных выше 1 Гбит/с;
- соединение большого количества коммуникационных устройств (подвижных и стационарных), имеющих малую потребляемую мощность;
- организация высокоскоростного обмена данными между подвижными коммуникационными устройствами напрямую, минуя сетевую архитектуру;
- эффективное использование электроэнергии подвижными станциями.

Таким образом, можно обозначить основные характеристики технологий пятого поколения СПС в сравнении с технологиями третьего и четвертого поколений (табл. 2).

**Таблица 2.** Основные характеристики технологий 3G/4G/5G

Параметр	3G: UMTS/HSPA	4G: LTE/LTE-A	5G
Ширина частотного канала, МГц	5/5	20/100	Более 100
Спектральная эффективность соты, (бит/с)/Гц	0,5/2	4/8	Более 10
Пиковая скорость, Мбит/с	2/40	300/1000	Более 10 000
Задержка, мс	50/20	10/10	0,1–1
Доля потерянных пакетов для услуг M2M (Machine-to-Machine) с гарантированным качеством	$10^{-2}$	$10^{-2}$	$10^{-2}$

Особенности технической реализации технологий пятого поколения СПС:

- обратная совместимость с предшествующими технологиями;
- частотные диапазоны от 6 до 60 и выше ГГц (в России необходима конверсия спектра);
- малые соты с радиусом от 50 до 100 м, «разгружающие» большие соты на основе перераспределения команд управления и пользовательского трафика – концепция «phantomной соты» («Phantom Cell»);
- использование многомерных антенн MIMO («Multiple Input/Multiple Output» – «Множественный вход/Множественный выход» – использование нескольких передающих и приемных антенн для одновременной передачи и приема) в режиме динамического формирования диаграмм направленности;
- полный дуплекс на одной частоте;
- новые методы модуляции.

Что касается инфраструктуры сетей пятого поколения СПС (см. рисунок), то сегодня можно говорить о следующих ее особенностях:

- повсеместное использование «облачных» («cloud») технологий:
  - в сетях радиодоступа (Cloud Radio Access Network, Cloud RAN) с программно-определяемой структурой (Software Defined Radio, SDR);

- в базовой сети (Cloud Core Network, Cloud CN) с программно определяемой структурой (Software Defended Network, SDN);
- полная виртуализация сетевых функций (Network Function Virtualization, NFW):
  - контроль и управление качеством обслуживания (Quality of Service, QoS) в реальном времени на основе устанавливаемых непосредственно во время соединения уровней QoS;
  - приоритизация трафика на основе его классификации (основные приоритеты – видео и M2M) с возможностью обучения этой процедуре;
  - подвижные базовые станции (Moving 5G Node);
  - подвижные транспортные сети (Moving 5G Backhaul): элементы сетевой инфраструктуры размещаются на подвижных единицах (автомобилях) и объединяются в mesh-сети.

## **2. Задачи, решаемые в рамках реализации концепции интеллектуальных транспортных систем**

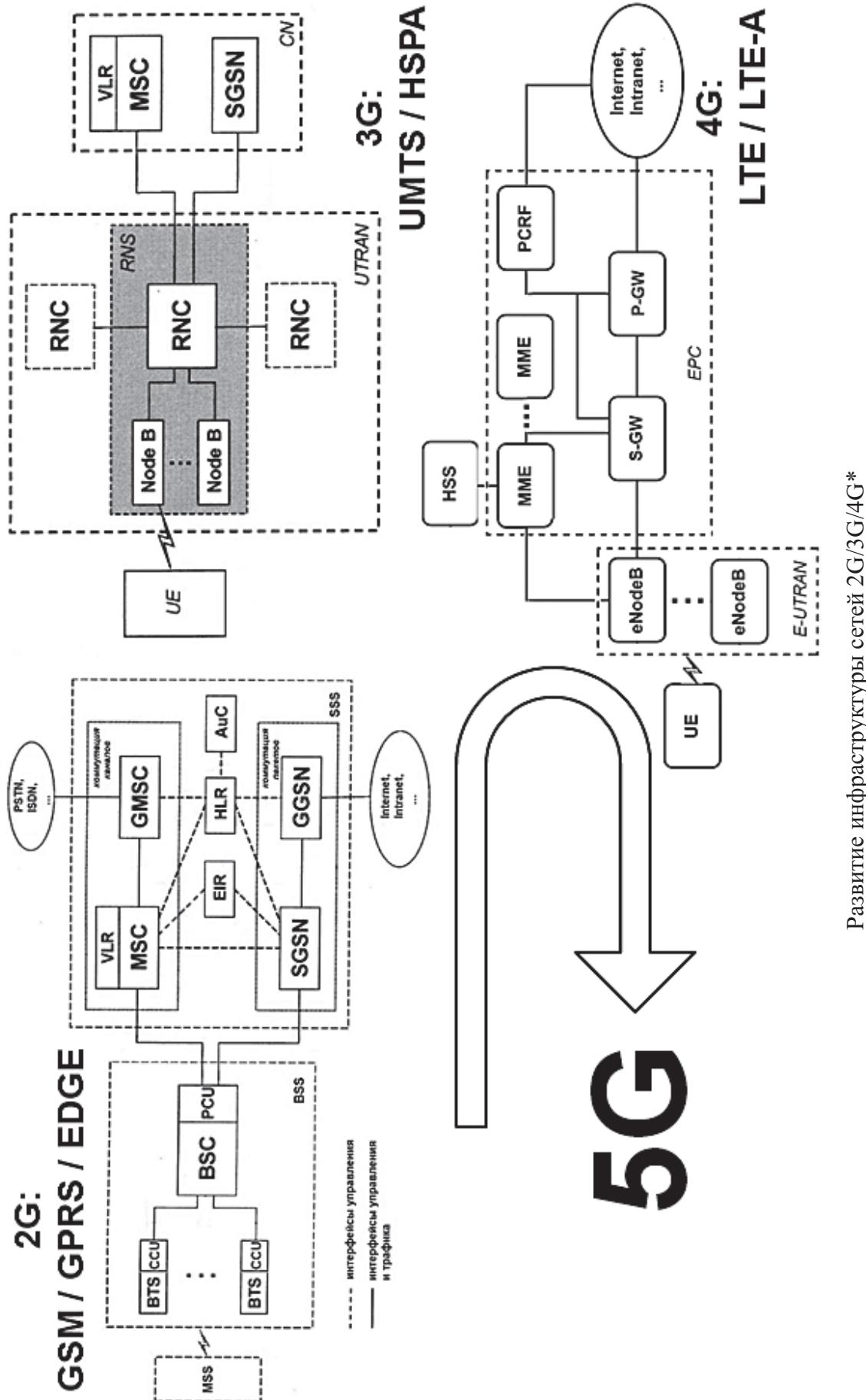
Состав задач, решаемых в рамках ИТС [7], в целом соответствует составу рабочих групп (Working Group, WG) технических комитетов (Technical Committee, TC) № 204 и 278, соответственно, Международной организации по стандартизации (International Organization for Standardization, ISO) и Европейского комитета по стандартизации (European Committee for Standardization, CEN), занятых стандартизацией ИТС (ISO/TC 204 и CEN/TC 278 Intelligent transport systems (ITS)) (табл. 3, 4).

В России в структуре Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарте) также создан технический комитет № 57 (ТК 57) «Интеллектуальные транспортные системы» (табл. 5).

Таким образом, для реализации большинства задач, стоящих перед ИТС, необходимо использовать современные технологии беспроводной связи с учетом описанных возможностей беспроводной связи пятого поколения (5G).

## **3. Реализация концепции интеллектуальных транспортных систем на железнодорожном транспорте на основе технологий беспроводной связи пятого поколения (5G)**

Рассмотренные возможности технологий пятого поколения СПС могут быть в полной мере применены в большинстве современных систем управления движением поездов, которые, в свою очередь, используют технологии беспроводной связи для обмена информацией между бортовым и наземным оборудованием (табл. 6).



Развитие инфраструктуры сетей 2G/3G/4G\*

Примечания к рисунку.

\* Для поддержки технологии GPRS в сеть стандарта GSM добавляются четыре основных новых элемента: сервисный узел поддержки GPRS (Serving GPRS Support Node, SGSN) – «пакетный коммутатор» – основной элемент сети GPRS, выполняющий функции обработки пакетов и преобразования кадров GSM в форматы, используемые набором протоколов TCP / IP; шлюзовой узел поддержки GPRS (Gateway GPRS Support Node, GGSN), обеспечивающий связь с IP-сетями; контроллер пакетов (Packet Controller Unit, PCU), объединенный с BSC; кодирующее устройство (Channel Codec Unit, CCU), входящее в состав BTS.

Система UMTS включает в себя базовую сеть (Core Network, CN), за основу которой берется SSS сети GSM/GPRS, а также сеть наземного радиодоступа UMTS (UMTS Terrestrial Radio Access Network, UTRAN) и оборудование пользователя (User Equipment, UE). Сеть UTRAN, в свою очередь, состоит из одной или нескольких подсистем радиосети (Radio Network Subsystem, RNS), каждая из которых включает в себя контроллер радиосети (Radio Network Controller, RNC) и одну или несколько базовых станций, обозначаемых как «Node B» («узел В»).

Система LTE характеризуется усовершенствованной сетевой архитектурой (System Architecture Evolution, SAE) (впоследствии – развитой пакетной системой – Evolved Packet System, EPS), которая отличается меньшим количеством узлов и, как следствие, значительным уменьшением времени задержки пакетов. Сеть SAE/EPS включает в себя развитую опорную сеть (Evolved Packet Core, EPC) и развитую сеть UTRAN (Evolved UTRAN, E-UTRAN). Сеть E-UTRAN содержит усовершенствованные базовые станции eNode B (Evolved Node B), обслуживающий шлюз (Serving Gateway, S-GW), пакетный шлюз (Packet Data Network Gateway, P-GW), узел управления мобильностью (Mobility Management Entity, MME), соединенный с сервером домашних абонентов (Home Subscriber Server, HSS), и управляющий сервер PCRF (Policy and Charging Resource Function – функция распределения ресурсов в соответствии с политикой обслуживания).

**Таблица 3.** Состав рабочих групп технического комитета № 204 «Интеллектуальные транспортные системы» (ИТС) Международной организации по стандартизации (ISO/TC 204)

Обозна- чение	Рабочая группа
WG 1	Architecture (Архитектура)
WG 3	ITS database technology (Технология баз данных ИТС)
WG 4	Automatic vehicle and equipment identification (Автоматическая идентификация транспортных средств и оборудования)
WG 5	Fee and toll collection (Взимание платежей)
WG 7	General fleet management and commercial/freight (Общий менеджмент парка коммерческого и грузового транспорта)
WG 8	Public transport/emergency (Общественный транспорт и транспорт экстренных служб)
WG 9	Integrated transport information, management and control (Обобщенная информация о транспорте, менеджмент и управление)
WG 10	Traveller information systems (Информационные системы для путешественников)
WG 14	Vehicle/roadway warning and control systems (Предупреждающие и управляющие системы на транспортном средстве и на дороге)
WG 16	Communications (Связь)
WG 17	Nomadic Devices in ITS Systems (Сменные устройства в ИТС)
WG 18	Cooperative systems (Взаимодействующие системы)

**Таблица 4.** Состав рабочих групп технического комитета № 278 «Интеллектуальные транспортные системы» (ИТС) Европейского комитета по стандартизации (CEN/TC 278)

Обозна- чение	Рабочая группа
WG 1	Electronic fee collection and access control (Электронное взимание платежей и управление доступом)
WG 2	Freight, Logistics and Commercial Vehicle Operations (Эксплуатация грузового и коммерческого транспорта)
WG 3	Public transport (Общественный транспорт)
WG 4	Traffic and traveller information (Информация о движении транспорта и информация для путешественников)
WG 5	Traffic control (Управление движением)
WG 7	ITS spatial data (Пространственные данные ИТС)
WG 8	Road traffic data (Данные о дорожном движении)
WG 9	Dedicated Short Range Communication, DSRC (Специализированная связь на коротких расстояниях)
WG 10	Man-machine interfaces (Человеко-машиинные интерфейсы)
WG 12	Automatic Vehicle Identification and Automatic Equipment Identification (Автоматическая идентификация транспортных средств и оборудования)

Обозна- чение	Рабочая группа
WG 13	Architecture and terminology (Архитектура и терминология)
WG 14	After theft systems for the recovery of stolen vehicles (Системы возврата угнанных транспортных средств)
WG 15	eSafety (Системы безопасности)
WG 16	Cooperative ITS (Взаимодействующие ИТС)
WG 17	Ad hoc group U-ITS (Специальные группы ИТС)

**Таблица 5.** Состав подкомитетов технического комитета № 57  
«Интеллектуальные транспортные системы» (ИТС) Росстандарта (ТК 57)

Обозна- чение	Рабочая группа
ПК 1	Архитектура ИТС, терминология, интеграция ИТС в ведомственные информационные системы
ПК 2	Управление и контроль на транспорте, управление дорожным движением. Информационные системы для участников движения
ПК 3	Бортовые интеллектуальные системы автомобилей. Кооперативные системы
ПК 4	Платные сервисы в ИТС
ПК 5	Системы управления подвижным составом и грузовым коммерческим транспортом
ПК 6	Общественный транспорт
ПК 7	Системы противодействия угонам и возврата угнанных транспортных средств

Развитие систем управления движением поездов с перспективой использования современных технологий беспроводной связи пятого поколения можно рассмотреть на примере Европейской системы управления движением поездов ETCS (European Train Control System), которая вместе с системой цифровой железнодорожной радиосвязи стандарта GSM-R (Global System for Mobile Communications – Railways – Глобальная система подвижной связи на железнодорожном транспорте) входит в состав Европейской системы управления железнодорожными перевозками ERTMS (European Rail Traffic Management System) [8].

ETCS уровня 1 представляет собой точечную локомотивную сигнализацию, использующую дискретную передачу и прием небольшого объема данных и динамический контроль скорости движения поезда. Основным средством обмена данными между локомотивом и инфраструктурой являются приемопередатчики Eurobalise, которые применяются для передачи на локомотив как постоянной (заранее заданной), так и переменной информации. Приемопередатчики второго типа работают под управлением напольных электронных модулей и передают на борт локомотива получаемую

**Таблица 6.** Некоторые существующие системы управления движением поездов на основе технологий беспроводной связи

Регион (страна)	Система	Особенности
Весь мир	CBTC – Communications-Based Train Control – Управление движением поездов на основе использования каналов связи	Используется группа стандартов IEEE 1474 (.1,.2,.3)
Евросоюз	ETCS – European Train Control System – Европейская система управления движением поездов	3 уровня (пока реализованы только уровни 1 и 2), используется стандарт GSM-R
США	ITCS – Incremental Train Control System – Поэтапная система управления движением поездов	Используются американские спецификации ATCS (Advanced Train Control System – Усовершенствованная система управления движением поездов)
Япония	ATACS – Advanced Train Administration and Communication System – Усовершенствованная система управления и связи с поездами	Во многом эквивалентна системе ETCS уровня 3, используется собственная технология беспроводной связи
Китай	CTCS – Chinese Train Control System – Китайская система управления движением поездов	Во многом аналогична системе ETCS, используется стандарт GSM-R

от них информацию (например, о показании находящегося впереди светофора). Помимо приемопередатчиков Eurobalise могут использоваться кабельные шлейфы Euroloop, уложенные на подошве рельса, или системы технологической железнодорожной радиосвязи. На основе информации от напольных устройств, а также данных о технических возможностях поезда бортовой компьютер в каждый момент времени вычисляет динамическое ограничение скорости, значение которого отображается в кабине машиниста. ETCS уровней 2 и 3 представляют собой непрерывную автоматическую локомотивную сигнализацию с функцией постоянной передачи и приема значительного объема данных и с динамическим контролем скорости движения поезда. Обмен данными между напольными и бортовыми устройствами происходит при помощи системы радиосвязи Euroradio, основу которой составляет стандарт GSM-R. Взаимодействие напольного и бортового оборудования координирует Центр блокировки на базе радиосвязи – RBC (Radio Block Centre), который регулирует движение на протяженном участке железнодорожной линии, хранит статистические данные о состоянии инфраструктуры и передает на поезд динамические данные о показаниях светофоров и положении стрелок, получаемые от систем централизации. В отличие от ETCS уровня 1, RBC идентифицирует каждый поезд индивидуально, а напольные приемопередатчики Eurobalise передают на борт только заранее заданную информацию и используются в основном для определения местоположения поезда. Основ-

ное различие между ETCS уровней 2 и 3 состоит в том, что ETCS уровня 2 отвечает только за передачу на локомотив данных о показаниях светофоров и контролирует скорость движения поезда, а ETCS уровня 3 дополнительно контролирует свободность пути, что обычно делают системы централизации, а также проверяет целостность состава и передает полученную информацию в RBC. Кроме того, ETCS уровня 3 разграничивает интервалы следования поездов при помощи подвижных блок-участков.

Возможности СПС пятого поколения можно использовать для реализации концепции ИТС как на обычном [9], так и на высокоскоростном железнодорожном транспорте [10].

## **Выводы**

В статье на основании возможностей беспроводной связи пятого поколения (5G) и задач, решаемых в рамках реализации концепции интеллектуальных транспортных систем, были рассмотрены перспективы реализации этой концепции на железнодорожном транспорте на основе технологий современной беспроводной связи на примере развития Европейской системы управления движением поездов ETCS.

Несмотря на то, что в настоящее время пока не разработан определенный стандарт 5G, уже можно говорить о его основных характеристиках и особенностях технической реализации. Тем более, что существует ряд требований, которые не могут быть удовлетворены имеющимися технологиями беспроводной связи третьего и четвертого поколений, в том числе – при создании интеллектуальных транспортных систем на железнодорожном транспорте. В настоящее время в мире успешно эксплуатируются системы управления движением поездов на основе технологий беспроводной связи (СВТС, ETCS, ITCS, ATACS, CTCS и других), развитие которых (в части обеспечения эффективности и безопасности перевозочного процесса, а также предоставления дополнительных услуг пассажирам и грузоотправителям) может быть основано на использовании технологий 5G.

## **Библиографический список**

1. ГОСТ Р 56829-2015. Интеллектуальные транспортные системы. Термины и определения.– М. : Стандартинформ, 2016.– 16 с.
2. Васильев В. Н. Системы связи на транспорте: тенденции развития и задачи регулирования / В. Н. Васильев, В. А. Григорьев, И. А. Хворов и др. // Электросвязь.– 2016.– № 2.– С. 18–23.
3. Григорьев В. А. Архитектура телекоммуникационной сети для транспортных систем / В. А. Григорьев, И. А. Хворов, Ю. А. Распаев // Электросвязь.– 2016.– № 2.– С. 24–26.

4. Скрынников В. Г. Будущий облик 5G / В. Г. Скрынников // Электросвязь. – 2013. – № 10. – С. 34–37.
5. Тихвинский В. О. Концептуальные аспекты создания 5G / В. О. Тихвинский, Г. С. Бочечка // Электросвязь. – 2013. – № 10. – С. 29–33.
6. Тихвинский В. О. Перспективы сетей 5G и требования к качеству их обслуживания / В. О. Тихвинский, Г. С. Бочечка // Электросвязь. – 2014. – № 10. – С. 40–43.
7. ГОСТ Р 56294-2014. Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектурам интеллектуальных транспортных систем. – М. : Стандартинформ, 2015. – 12 с.
8. Плеханов П. А. Вопросы обеспечения безопасности железнодорожных телекоммуникационных систем международных транспортных коридоров / П. А. Плеханов // Бюл. результатов научных исследований. – 2012. – № 3 (2). – С. 85–97.
9. Шматченко В. В. Расширение функциональной полноты и требований по безопасности к поездной радиосвязи при переходе с аналоговых на цифровые технологии / В. В. Шматченко, П. А. Плеханов, Д. Н. Роенков и др. // Бюл. результатов научных исследований. – 2015. – № 2 (15) – С. 61–71.
10. Роенков Д. Н. Основные требования к организации радиосвязи на высокоскоростной магистрали / Д. Н. Роенков, В. В. Шматченко, П. А. Плеханов и др. // Транспорт РФ. – 2015. – № 2 (57). – С. 49–52.

## **Implementation and development of intelligence transport systems applied to railway transport based on potential of fifth generation (5G) wireless communication**

P. A. Plekhanov

*“Electrical communication” department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

Author observes possibility of applying of fifth generation (5G) wireless network technologies for intelligence railway transport system concept realization.

**Keywords:** fifth generation wireless network; intelligence transport system; railway transport.

### **Сведения об авторе**

**ПЛЕХАНОВ Павел Андреевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрическая связь» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* pavelplekhanov@gmail.com

© Плеханов П. А., 2016

# *Военно-технические системы*

УДК 624.21.033.1:624.21.016

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГЛАВНЫХ БАЛОК ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРЖНЫХ МОСТОВ СРЕДСТВАМИ MS EXCEL**

**О. А. Хижавский**

Описана последовательность этапов определения оптимальных параметров главных балок пролетных строений с применением MS Excel. Показана эффективность методики путем сравнения полученных оптимальных параметров балок с аналогами. В заключение приведена теоретическая зависимость веса от длины конструкции пролетного строения из двутавровых балок.

**Ключевые слова:** восстановление железнодорожных мостов; оптимальное проектирование конструкций; математическое программирование; регрессионный анализ.

### **Введение**

Известно, что сроки восстановления мостовых переходов определяются в зависимости от создавшейся обстановки, объема и характера разрушений, климатических и гидро-геологических условий места восстановления, а также от технологических сроков. В свою очередь, технологические сроки зависят от принятых конструктивных, технологических и организационных решений, производительности машин и механизмов. То есть первоначально перед исследователями и инженерами стоит задача повышения уровня технологической рациональности конструкций (ТРК) железнодорожных мостов, при успешном решении которой повышаются темпы восстановления.

В соответствии с ГОСТ 14.201-83 [1], технологическая рациональность конструкции – это совокупность свойств изделия, выражающих его технологичность с точки зрения соответствия принятых конструктивных решений условиям производства и эксплуатации.

Уровень ТРК можно повысить посредством целесообразного выбора и построения состава и структуры изделия, его составных частей, конструктивных элементов, материалов и обеспечения их оптимальной преемственности.

В несущих конструкциях мостов уровень ТРК можно повысить в том числе за счет совершенствования методов конструирования и расчета. Классическая методика расчета главных балок пролетных строений мостов применяется на практике уже более 100 лет. Параметры сечения балок подбираются по классическому проверочному методу (рис. 1) [2].

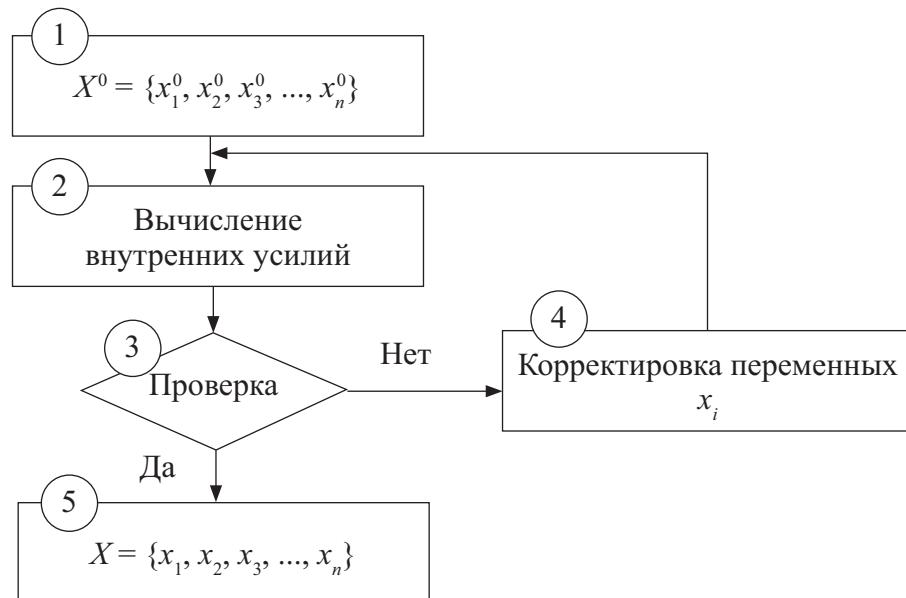


Рис. 1. Алгоритм классического проверочного метода подбора параметров

Несмотря на надежность указанного метода, в нем очень много субъективного. Например, начальные параметры, дальнейший подбор остальных параметров, выбор формы сечения конструкции инженер, производящий расчеты, назначает на основе интуиции, знаний и опыта. Таким образом, если собрать некоторое множество инженеров и поставить им независимо друг от друга задачу конструирования и расчета некоторой конструкции, удовлетворяющей определенным требованиям, то на выходе получится такое же множество конструктивных решений с разными параметрами сечений. Хотя все они будут удовлетворять необходимым требованиям (надежности, безопасности и др.), они не будут в прямом смысле оптимальными.

Между тем оптимально подобрать параметры сечения конструкции определенной формы позволяют методы математического программирования [3–6]. Раньше использовать указанные методы было довольно сложно, поскольку не было соответствующих программ для ЭВМ. С развитием ЭВМ и программного обеспечения это стало возможным, в частности благодаря надстройке «поиск решения» в среде MS EXCEL, где используется программа нелинейной оптимизации Generalized Reduced Gradient (GRG2). Данная программа разработана в США Леоном Ласдоном и Аланом Уореном и способна обрабатывать до 200 переменных. Подробнее методы описаны в работах [7–10].

Итак, задачу определения оптимальных параметров главных балок предлагаются решать поэтапно.

## **1. Обоснование критерия оптимальности и формирование цели оптимизации (обоснование целевой функции)**

Наиболее общим критерием экономической эффективности при сравнении конструкций пролетных строений будут приведенные затраты стоимости этих конструкций. Даже несмотря на значительное разнообразие конструктивных форм, структура стоимости металлических пролетных строений отличается определенной стабильностью (табл. 1) [11].

**Таблица 1.** Соотношение затрат на создание конструкции

Затраты	Соотношение затрат, %
Проектирование	2–3
Сталь и другие материалы	63–73
Изготовление	16–22
Транспортировка	3–7
Монтаж	5–20

Как видно из табл. 1, стоимость металлических конструкций определяется в основном стоимостью материалов. Следовательно, уменьшение металлоемкости является важнейшим условием выбора рациональной конструктивной формы. В свою очередь, снижение массы конструкции отражается на снижении трудоемкости изготовления и монтажа, так как эти факторы взаимосвязаны.

Критерием оптимальности пролетных строений классических разрезных систем служит минимизация площади поперечного сечения главных балок.

## **2. Обоснование оптимизационной математической модели**

Приведем пример модели для определения оптимальных параметров разрезных пролетных строений под нагрузку ВТ\* и скорость движения поездов 80 км/ч. Все ограничения модели приняты в соответствии с нормами ПВКМ-79 и ТУЖВМ [12–14].

---

\* ВТ – схема нагрузки от подвижного состава, принятая для восстановления краткосрочных и временных мостов. Расшифровывается как «военная тыловая». Аналогом является нагрузка СК по СНиПу.

Целевая функция минимизации площади поперечного сечения главной балки

$$A_f(h_w, s_w, b_{f1}, t_{f1}, b_{f2}, t_{f2}) \rightarrow \min.$$

Блок ограничений целевой функции:

- по площади поперечного сечения нижнего листа

$$A_{f1} = b_{f1}t_{f1};$$

- по площади поперечного сечения верхнего листа

$$A_{f2} = b_{f2}t_{f2};$$

- по площади стенки

$$A_{f3} = h_w s_w;$$

- по площади поперечного двутаврового сечения балки

$$A_f = \sum_{i=1}^3 A_{fi};$$

- по положению центра тяжести сечения относительно оси у

$$z_{cg} = \frac{0,5A_{f1}t_{f1} + A_{f2}(t_{f1} + t_{f2} + 0,5h_w) + A_{f3}(t_{f1} + t_{f2} + 0,5h_w)}{A_f};$$

- по статическому моменту инерции сечения относительно оси у

$$S_y = b_{f1}t_{f1}(z_{cg} - 0,5t_{f1}) + 0,5h_w(z_{cg} - t_{f1})^2;$$

- по моменту инерции сечения относительно оси у

$$J_y = \frac{b_{f1}t_{f1}^3 + b_{f2}t_{f2}^3 + s_w h_w^3}{12} + A_{f1}(z_{cg} - t_{f1})^2 + A_{f2}(h_w - z_{cg} - t_{f2})^2 + A_{f3}(z_{cg} - t_{f1} - 0,5h_w)^2;$$

- по нормативному весу главной балки

$$p_b^H = A_f \rho + p_r;$$

- по площади линии влияния от изгибающего момента, приложенного в центре главной балки

$$\omega_M = \frac{L^2}{8};$$

- по площади линии влияния от поперечной силы, приложенной у места опирания главной балки

$$\omega_Q = \frac{L}{2};$$

- по изгибающему моменту от действия постоянной и временной нагрузки

$$M = (n_d p_b^H + 0,5 n_t \gamma_v (1 + \mu) k(\lambda_{0,5})) \omega_M;$$

- по поперечной силе от действия постоянной и временной нагрузки

$$Q = (n_d p_b^H + 0,5 n_t \gamma_v (1 + \mu) k(\lambda_0)) \cdot \omega_Q;$$

- по максимальным нормальным напряжениям (I группа предельных состояний)

$$\sigma_{\max} = \frac{M z_{cg}}{J_y} \leq R_u;$$

- по максимальным касательным напряжениям (I группа предельных состояний)

$$\tau_{\max} = \frac{Q S_y}{J_y s_w} \leq 0,6 c'(\tau_{\max}, \tau_{cp}) R_o;$$

- по осредненным касательным напряжениям в стенке балки

$$\tau_{cp} = \frac{Q}{A_{f3}};$$

- по максимальным прогибам (II группа предельных состояний)

$$f_{\max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,5 \gamma_v k(\lambda_{0,5}) L^4}{E J_y} \leq \frac{L}{m_d};$$

- по толщине стенки в зависимости от расчетного сопротивления материала

$$s_w \geq \frac{1}{100} \sqrt{R_u};$$

$$8 \text{ мм} \leq s_w, t_{f1}, t_{f2} \leq 40 \text{ мм};$$

$$400 \text{ мм} \leq b_{f1}, b_{f2} \leq 1400 \text{ мм};$$

$$h_w \geq 0 \text{ мм.}$$

### 3. Реализация модели в среде MS EXCEL

Реализация модели происходит путем введения формул в ячейки электронной таблицы, связанные между собой. Для перевода в машинный код и работы над полноценным приложением – а именно программы для VBA – рекомендуется включить <запись макросов> на вкладке <Разработчик> (рис. 2).

### 4. Оптимизация параметров

Методика поиска на данном этапе заимствована из [15].

Для оптимизации параметров открыть вкладку <Данные> и запустить надстройку <Поиск решения> (рис. 3).

В поле <Установить целевую ячейку> ввести ссылку на целевую ячейку или имя целевой ячейки; установить переключатель в положение <Минимальному значению>; в поле <Изменяя ячейки> ввести имена изменяемых ячеек через запятую или ссылку на них; в поле <Ограничения> ввести имена ячеек или ссылки на них, содержащие значения ограничений. Для добавления, изменения или удаления ограничений использовать соответствующие кнопки управления.

Если необходимо настроить параметры оптимизации, выбрать опцию <Параметры> (рис. 4), после чего в поле <Максимальное время> оставить по умолчанию значение 100. Это время в секундах, отпускаемое на решение задачи. В поле <Предельное число итераций> поставить необходимое значение; в поле <Относительная погрешность> задать значение 0,000001, которое обеспечивает необходимую точность решений путем использования числа, вводимого в целях определения соответствия значения ограниченной ячейки нижней границе целевого значения. Поля <Допустимое отклонение> и <Сходимость> оставить по умолчанию. <Допустимое отклонение> применяется для целочисленного программирования. Когда относительное изменение в целевой ячейке за последние пять итераций становится меньше числа, указанного в поле <Сходимость>, поиск решения прекращается. В поле <Оценки> установить переключатель на <Квадратичная>, которая служит для квадратичной экстраполяции и дает лучшие результаты при нелинейном программировании. Для указания метода численного дифференцирования в целях вычисления частных производных целевых и ограничивающих функций

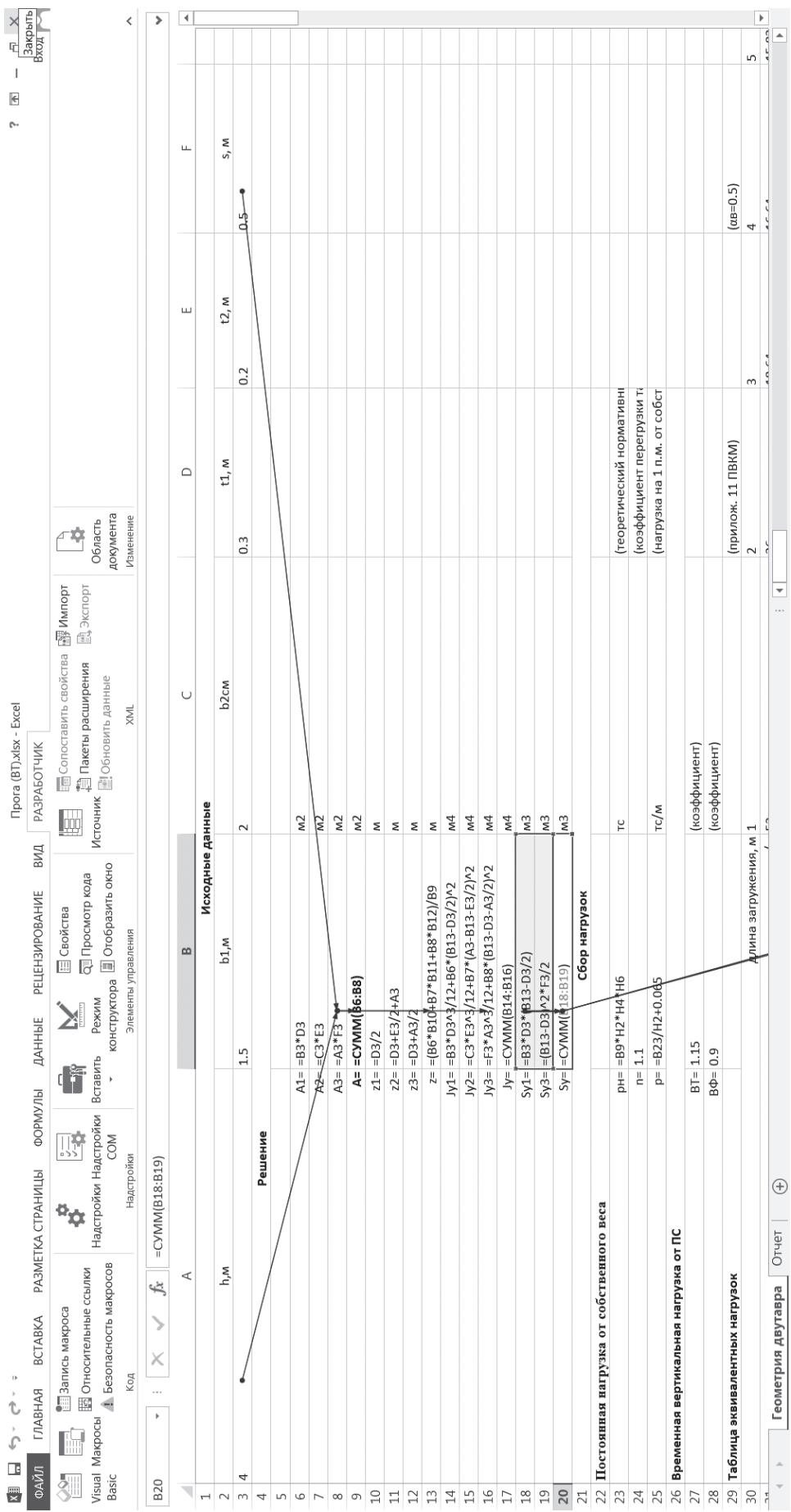


Рис. 2. Фрагмент реализации модели на листе EXCEL при помощи непосредственного ввода формул в ячейки таблицы

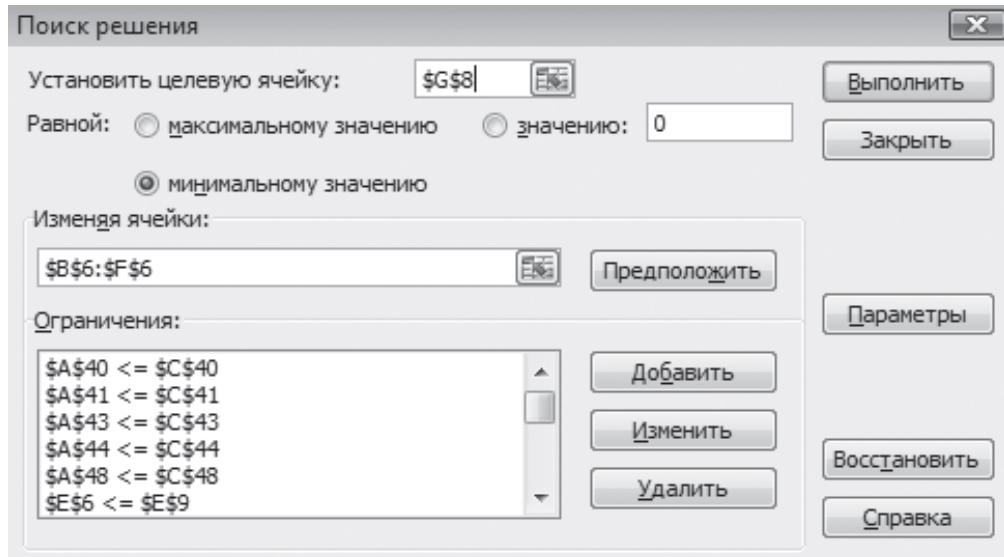


Рис. 3. Окно поиска решения

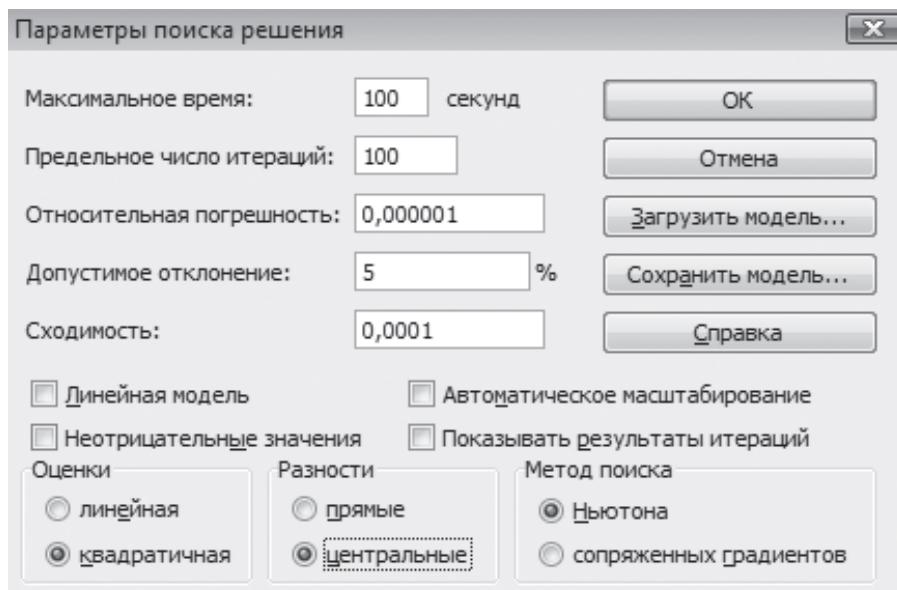


Рис. 4. Окно параметров поиска решения

в поле <Разности> установить переключатель в положение <Центральные>. Это связано с тем, что в используемой задаче велика скорость изменения ограничений. Поле <Метод поиска> оставить без изменений. Нажать кнопку <Ok>. Далее запустить программу, нажав кнопку <Выполнить>.

По окончании оптимизации на экране появится окно <Результаты поиска решения> (рис. 5), где курсором надо отметить тип отчета <Результаты. Устойчивость. Пределы> и нажать <Ok>.

Есть возможность объединить этапы 3, 4 путем написания кода непосредственно в среде Visual Basic for Applications (VBA) [16]. Она предназначена для более опытных пользователей, владеющих навыками программирования. Фрагмент примера написания такой программы для двутавровой балки приведен на рис. 6.

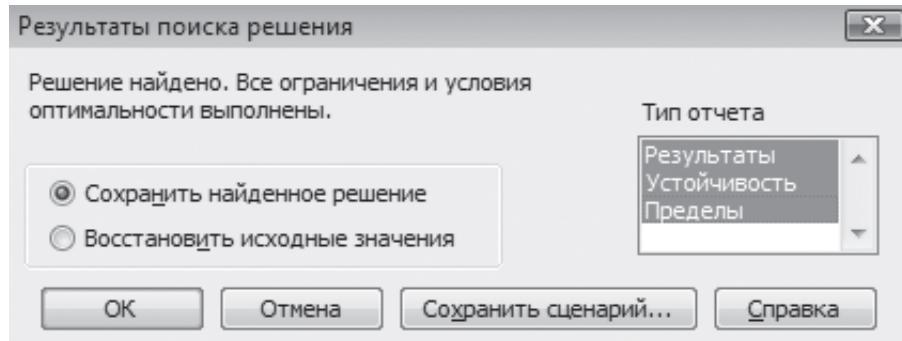


Рис. 5. Окно результатов поиска решения

```

Microsoft Visual Basic for Applications - Программа.xlsm [break] - [Module1 (Code)]
File Edit View Insert Format Debug Run Tools Add-Ins Window Help
Ln 53, Col 1
(General) | konec
Naprug_i_dwu
Progib_dwu
konec
End Sub
Public Sub Geometr_dwu()
Dim S_b1, S_b2, S_w, CT_b1, CT_b2, CT_hw, J_b1, J_b2, J_hw, St_verpol1, St_hw As Double
'Площадь поперечного сечения нижней полки
    S_b1 = b1_nizpol * t1_nizpol
'Площадь поперечного сечения верхней полки
    S_b2 = b2_verpol * t2_verpol
'Площадь поперечного сечения стенки
    S_w = hw * tw
'Площадь поперечного сечения двутавра
    S_dwu = S_b1 + S_b2 + S_w
'Центр тяжести нижней полки относительно у
    CT_b1 = t1_nizpol / 2
'Центр тяжести верхней полки относительно у
    CT_b2 = t1_nizpol + t2_verpol / 2 + hw
'Центр тяжести стенки относительно у
    CT_hw = t1_nizpol + hw / 2
'Центр тяжести двутавра относительно у
    CT_dwu = (S_b1 * CT_b1 + S_b2 * CT_b2 + S_w * CT_hw) / S_dwu
'Момент инерции нижней полки относительно у
    J_b1 = b1_nizpol * t1_nizpol ^ 3 / 12 + S_b1 * (CT_dwu - t1_nizpol / 2) ^ 2
'Момент инерции верхней полки относительно у
    J_b2 = b2_verpol * t2_verpol ^ 3 / 12 + S_b2 * (hw - CT_dwu + t2_verpol / 2 + t1_nizpol) ^ 2
'Момент инерции стенки относительно у
    J_hw = tw * hw ^ 3 / 12 + S_w * (CT_dwu - t1_nizpol - hw / 2) ^ 2
'Момент инерции сечения относительно у
    J_hw = tw * hw ^ 3 / 12 + S_w * (CT_dwu - t1_nizpol - hw / 2) ^ 2

```

Рис. 6. Пример написания кода программы в среде VBA

## 5. Анализ и оценка результатов оптимизации

Для нахождения веса  $P$  конструкции определенной длины в тоннах использована формула

$$P = 1,2Al\rho,$$

где 1,2 – коэффициент, учитывающий вес вспомогательных элементов в несущих конструкциях (связи, ребра жесткости и т. п.);  $A$  – площадь сечения конструкции, полученная в результате оптимизации,  $\text{м}^2$ ;  $L$  – длина конструкции,  $\text{м}$ ;  $\rho$  – плотность материала,  $\text{т}/\text{м}^3$ .

Для наглядности в табл. 2 сравниваются весовые показатели сборно-разборных пролетных строений современных и полученных в результате оптимизации.

**Таблица 2.** Сравнение весовых показателей сборно-разборных пролетных строений современных и полученных в результате оптимизации

Сборно-разборное пролетное строение	Длина конструкции $L$ , м	Проектная масса, т	Масса с учетом оптимальных параметров, т	Эффект, % (отношение проектной массы к массе с оптимальными параметрами)
СРП-18 НС-2007	18	26,2	18,8	72
СРП-23 НС-2007	23	37,7	31,1	83
СРП-33.6 НС-2007	33,6	58,2	72,5	–

Как видно из табл. 2, применяя методы нелинейного программирования по предложенной математической модели, можно значительно уменьшить массу сборно-разборных пролетных строений по сравнению с проектом. Это доказывает, что уровень технологической рациональности конструкции можно повысить за счет совершенствования методов конструирования и расчета, используя для определения параметров несущих конструкций методы математического программирования. Для длины 33,6 м показатели оптимальных параметров больше, но этот результат получен, напомню, для скорости движения 80 км/ч, а в проекте скорость 50 км/ч.

Зависимость массы конструкции пролетного строения балочной разрезной системы из двух двутавровых балок от его длины представлена на рис. 7. График аппроксимирован с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,99$  (это практически функциональная зависимость), формула для определения массы конструкции стального пролетного строения балочной разрезной системы из двух двутавровых балок

$$P = 0,17L^{2,4}. \quad (1)$$

## Выводы

По формуле (1), полученной из теоретической зависимости, определяются оптимальные весовые характеристики пролетных строений балочной

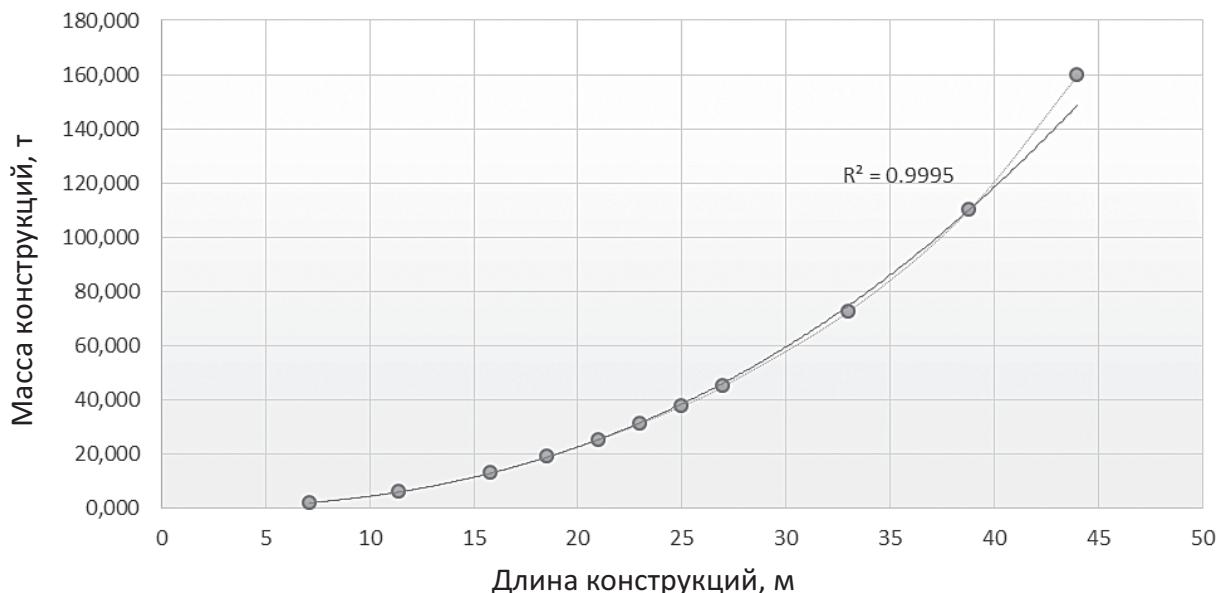


Рис. 7. График зависимости массы от длины пролетного строения

разрезной системы из двутавровых балок для основных длин пролетных строений, применяемых при восстановлении железнодорожных мостов.

Исследуя главные балки пролетных строений по предложенной методике, можно получить оптимальные геометрические параметры не только для балочных разрезных пролетных строений, но и для иных конструкций различных систем и форм с использованием других критериев оптимальности, систем ограничений и граничных условий.

## Библиографический список

1. ГОСТ 14.201-83. Обеспечение технологичности изделий.
2. Владимирский Р. С. Системотехника мостостроения / Р. С. Владимирский. – СПб. : Питер, 1994. – 52 с.
3. Баничук Н. В. Введение в оптимизацию конструкций / Н. В. Баничук. – М. : Наука, 1986. – 304 с.
4. Трофимович В. В. Оптимальное проектирование металлических конструкций / В. В. Трофимович, В. А. Пермяков. – Киев : Будівельник, 1981. – 136 с.
5. Palmer A. C. Optimal structural design by dynamic programming / A. C. Palmer // Proc. ASCE, J. Eng. Mech. Div.– 1968.– Vol. 94.– S. 6.
6. Лихтарников Я. М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций / Я. М. Лихтарников. – М. : Транспорт, 1987. – 191 с.
7. Курицкий Б. Я. Поиск оптимальных решений средствами EXCEL 7.0 / Б. Я. Курицкий. – СПб. : ВНВ-Петербург, 1997. – 384 с.
8. Васильев А. Н. Excel 2010 на примерах / А. Н. Васильев. – СПб. : БХВ-Петербург, 2010. – 432 с.
9. Долженков В. А. Microsoft Office Excel 2010 / В. А. Долженков, А. Б. Стученков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 816 с.

10. Гарнаев А. Ю. Microsoft Office Excel 2010 : разработка приложений / А. Ю. Гарнаев, Л. В. Рудикова. – СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 528 с.
11. Беленя Г. И. Металлические конструкции / Г. И. Беленя, А. Н. Гениев, В. А. Балдин. – М. : Стройиздат, 1976. – 560 с.
12. ПВКМ-79. Инструкция по проектированию железнодорожных временных и краткосрочных мостов и труб. – М. : ВНИИТС, 1982. – 216 с.
13. ТУВЖМ. Технические условия проектирования военных железнодорожных мостов. – М. : Воениздат, 1993. – 184 с.
14. Хижавский О. А. О необходимости создания универсальных мостовых конструкций для временного восстановления железнодорожных мостов (статья) / О. А. Хижавский // Науч.-тех. сб. – Вып. 28. – Ч. 2. – СПб. : ВИ (ЖДВ и ВОСО), 2014. – С. 69–71.
15. Хижавский О. А. Параметры сборно-разборного пролетного строения для обеспечения требований судоходства при восстановлении железнодорожных мостов : дис. ... канд. техн. наук / О. А. Хижавский. – СПб. : ВТИ (ЖДВ И ВОСО), 2011.
16. Уokenбах Дж. Excel 2010 : профессиональное программирование в VBA / Дж. Уokenбах ; пер. с англ. – М. : И. Д. Вильямс, 2012. – 944 с.

## **The method of evaluation of optimum parameters of railway bridges flying structures main beams by MS Excel means**

O. A. Hizhavskii<sup>1</sup>

*“Restoration of artificial structures” department  
Military Institute (Of railway troops and military transport)  
of Military academy of logistics*

Author describes the sequence of stages of flying structures main beams optimum parameters evaluation using MS Excel. The efficiency of method is shown by the comparison of obtained optimum parameters with analogues. Also author state the theoretical dependence of weight on the length of construction of flying structure made of I-beams.

**Keywords:** *railway bridges restoration; optimum construction design; mathematical programming; regression analysis.*

### **Сведения об авторе**

**ХИЖАВСКИЙ Олег Анатольевич** – кандидат технических наук, докторант кафедры «Восстановления искусственных сооружений» Военного института (железнодорожных войск и военных сообщений) Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулева;  
*e-mail:* hischa@mail.ru

© Хижавский О. А., 2016

# *Системы автоматизированного проектирования*

УДК 004.896+656.25

## **СВЕРКА ЧЕРТЕЖЕЙ НАПОЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ОТРАСЛЕВОГО ФОРМАТА**

**Д. В. Седых**

Актуальной задачей при проверке и экспертизе технической документации является сверка отдельных единиц технической документации друг с другом. Это актуально для ряда чертежей, получаемых в результате сквозного проектирования друг из друга. Например, схематический план станции является первичной схемой при любом проектировании устройств автоматики. На его основе строится двухниточный план станции и далее – схема канализации тягового тока. Все эти чертежи происходят друг из друга и содержат новые подмножества параметров и дополнительных элементов по сравнению с предыдущим чертежом. Использование описания рельсовых цепей в отраслевом формате с разработанной структурой позволило значительно упростить задачу сверки.

**Ключевые слова:** проектирование напольного технологического оборудования; АРМ-ВТД; экспертиза технической документации; рельсовые цепи; отраслевой формат технической документации.

### **Введение**

Проект железнодорожной автоматики содержит ряд чертежей, основанных на топологической модели станции, таких как схематический план, двухниточный план, схема канализации тягового тока.

Сверка данных чертежей выполняется в процессе строительства, обслуживания и модернизации устройств железнодорожной автоматики и телемеханики.

Самым сложным чертежом напольного технологического оборудования является двухниточный план станции, который формируется из схематического плана станции (рис. 1).

В процессе формирования двухниточного плана выполняются следующие работы:

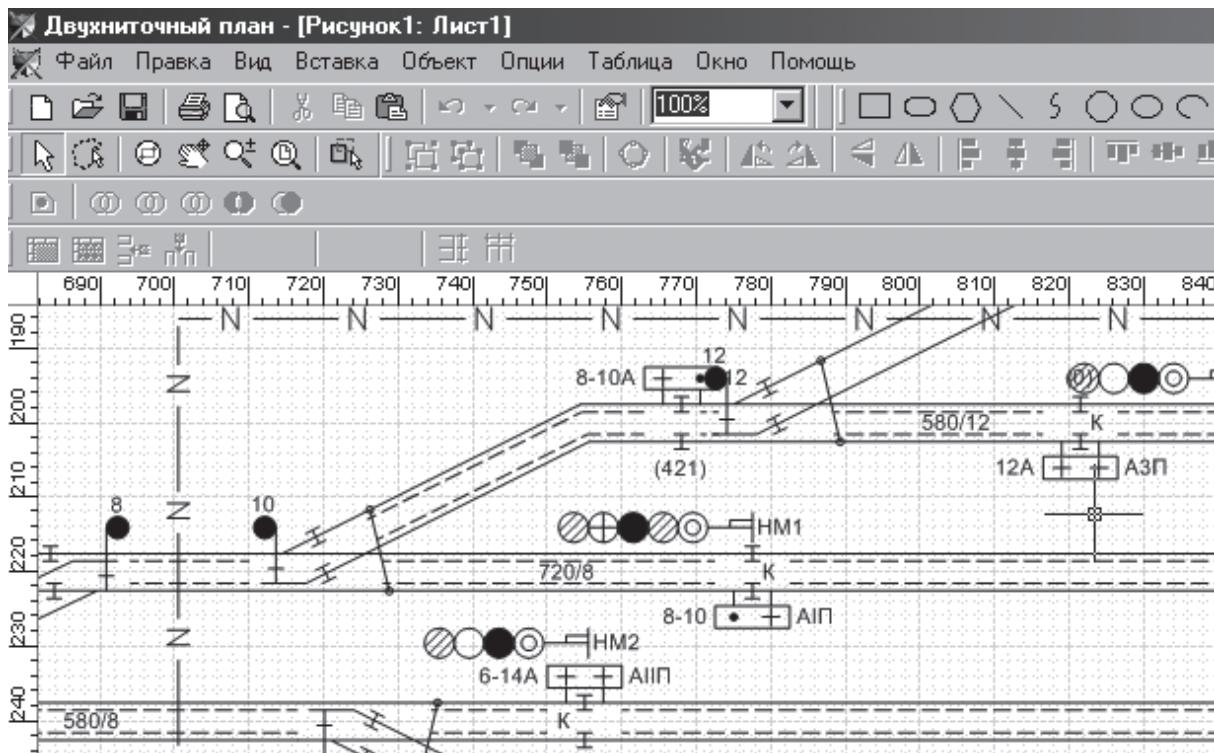


Рис. 1. Двухниточный план станции

- на чертеже расставляются элементы топологии станции аналогично элементам схематического плана, но в двухниточном виде (участки путей, стрелочные секции, стрелочные приводы, светофоры, шкафы, переезды и т. д.). Далее чертеж дополняется элементами оборудования рельсовых цепей и канализации тягового тока. Порядок выполнения двухниточного плана представлен ниже;
- на чертеже расставляются элементы путевого развития и элементы, связанные с путевым развитием, которые есть на схематическом плане станции (участки путей, стрелки, светофоры, переезды, тупики, изолирующие стыки и т. д.);
- заполняются свойства элементов (имена, ординаты, типы, марки и т. д.);
- пересчитываются ординаты элементов согласно нормам выполнения двухниточного плана;
- для путей задаются (где необходимо) дублирующие тяговые соединители;
- расставляется оборудование рельсовых цепей (ящики, коробки, муфты), обозначается тип установленного оборудования;
- для электротяги расставляются дроссель-трансформаторы, отсосы тягового тока, перемычки;
- на схеме обозначается место установки тяговой подстанции;
- определяются частоты для тональных рельсовых цепей или разбивается полярность для кодовых рельсовых цепей.

В случае внесения изменений в один из чертежей, если эти данные есть на другом чертеже, необходимо внести изменения и во второй чертеж.

В настоящие времена все работы по контролю и сверке схематического плана с двухниточным планом выполняются традиционным методом без применения компьютера.

## 1. Рельсовые цепи – основа сверки

Описание рельсовой цепи как обособленного объекта необходимо для сверки. Для этого нужно автоматическое формирование описания рельсовой цепи по двухниточному плану станции или по любому другому плану.

В отраслевом формате технической документации на устройства сигнализации, централизации и блокировки (ОФ-ТД СЦБ) описание рельсовой цепи вошло как отдельная составляющая описания формата двухниточных планов станций [1, 2]. Как и остальные сущности, описание включает в себя элементы и атрибуты.

Атрибуты описания рельсовой цепи можно разделить на несколько групп:

- графические, предназначенные для описания изображения рельсовой цепи на чертеже;
- параметры для описания характеристик рельсовой цепи и ее составляющих;
- флаги, обозначающие наличие определенных свойств у рельсовой цепи. Иногда могут дублировать другие описания параметров, но в одной комплексной оценке.

В зависимости от характеристик конкретной рельсовой цепи, для которой строится описание, атрибуты могут быть записаны в описание или нет. Правила формирования всех атрибутов даны в соответствующей документации на ОФ-ТД.

Понятие рельсовых цепей необходимо также для многих задач, например, для модулей автоматического расчета параметров рельсовых цепей, задач АСУ-Ш2, экспертизы технических решений [3–5], модулей ведения технической документации [6, 7] расчета параметров рельсовых цепей и др.

То есть с учетом формирования рельсовых цепей вся задача сверки может быть разбита на следующие этапы:

- 1) сравнение набора рельсовых цепей схем;
- 2) сравнение параметров рельсовых цепей;
- 3) сверка набора концов рельсовых цепей;
- 4) сверка параметров концов рельсовой цепи;
- 5) сверка топологических связей между рельсовыми цепями на двух схемах;
- 6) сравнение набора элементов двух схем;
- 7) сравнение параметрической составляющей элементов на двух схемах.

## 2. Журнал ошибок

После запуска модуля сверки схемы загружаются в модуль сравнения. После сравнения пользователю выводится журнал ошибок (рис. 2).

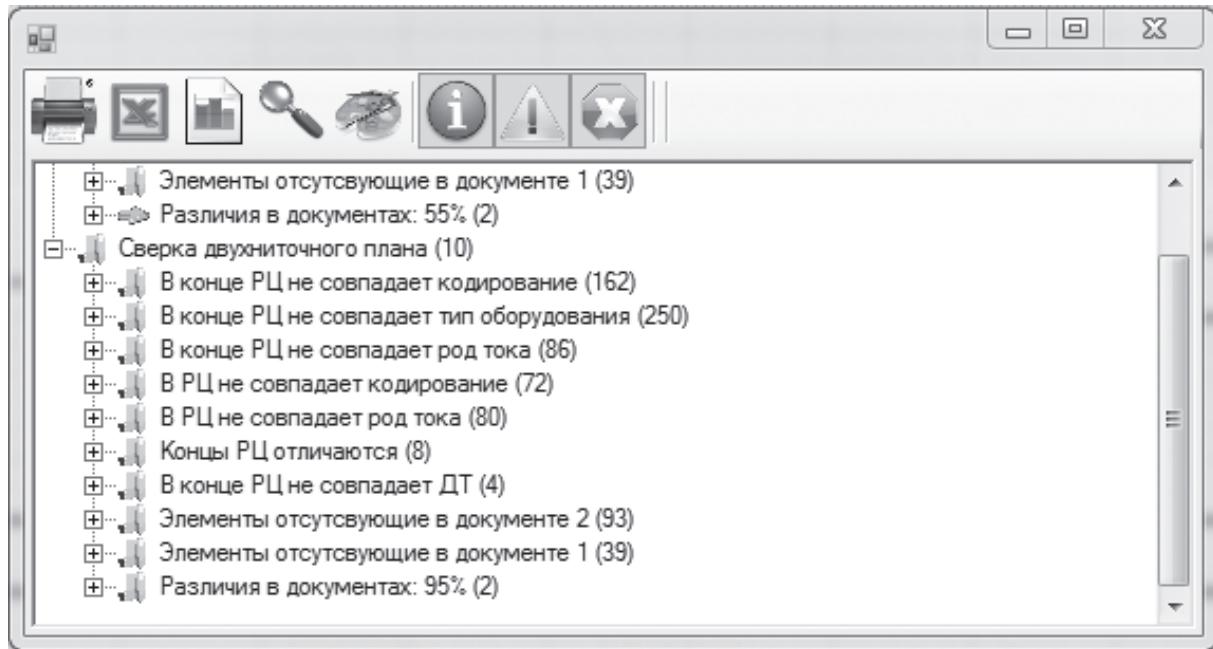


Рис. 2. Журнал ошибок сверки

Журнал ошибок позволяет:

- посмотреть всю информацию о найденных различиях на схемах: они будут автоматически сгруппированы по группам различий;
- подсветить элемент на схеме, по которому есть сообщение программы. Это может быть элемент, отсутствующий на одной из схем, или элемент, параметры которого различаются на разных схемах;
  - подсветить на схеме все ошибки по данной группе ошибок;
  - подсветить все элементы на схеме, по которым есть несоответствия;
  - вывести журнал ошибок на печать;
  - экспортовать журнал ошибок в MS Excel;
  - фильтровать ошибки по базовым типам критичности;
  - посмотреть сводный процент различия схем между собой;
  - информационно подсветить результат сравнения схем.

После сверки схем в журнале появляется ветка «Различия в документах». В имени данной ветки в конце отображается процент различий в документах. Внутри данной ветки есть пункты «Отличия документа 1» и «Отличия документа 2». Они позволяют информационно расцветить схему для визуальной демонстрации различий (рис. 3).

Цветовая маркировка элементов:

- без цвета (изначальный цвет) – элемент не участвовал в сравнении;
- красный – элемент отсутствует в другом документе;

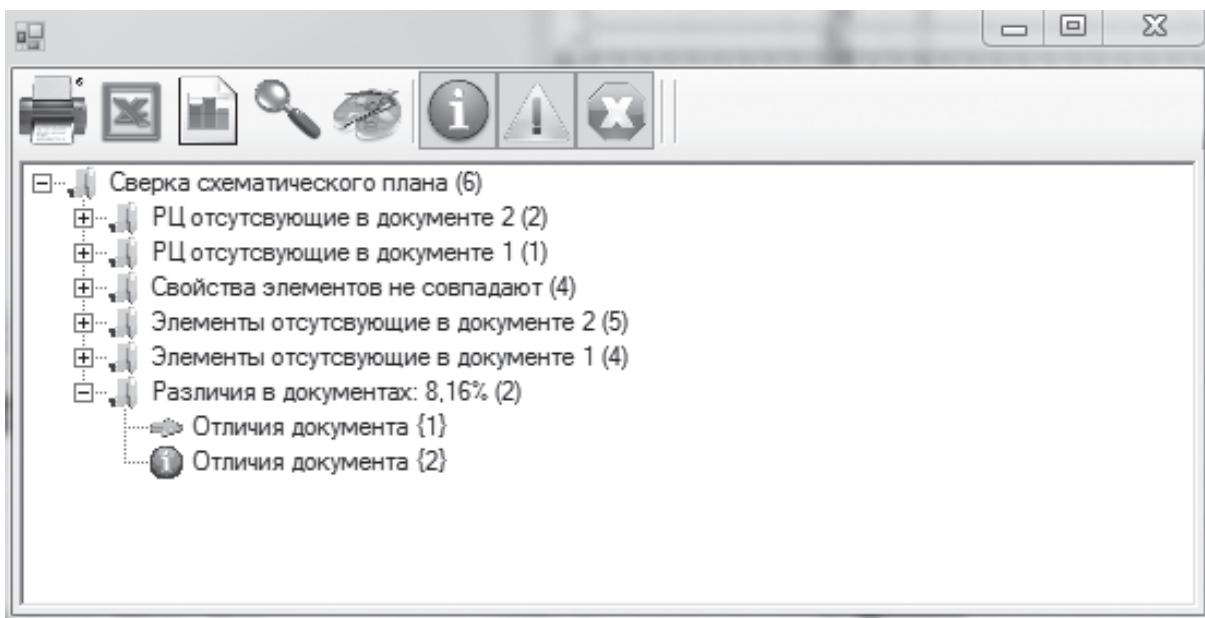


Рис. 3. Выбор различий на схемах

- желтый – элемент присутствует в другом документе, но есть различия параметров или связей элементов;
- зеленый – элемент полностью соответствует элементу на другой схеме как параметрически, так и по расположению.

## Выводы

Разработанные форматы и алгоритмы позволяют сравнить топологические схемы напольного технологического оборудования.

Модули предназначены для сверки:

- схематических планов станций;
- двухниточных планов станций;
- схем канализации тягового тока;
- исполненных кабельных сетей;
- кабельных сетей.

Сверка может производиться для данных видов схем в любых сочетаниях или для двух схем одного типа. Применение данных модулей показало высокую эффективность и наглядность результатов.

## Библиографический список

1. Седых Д. В. Применение отраслевого формата технической документации на устройства железнодорожной автоматики и телемеханики для интеграции приложений / Д. В. Седых, С. А. Суханов // Изв. ПГУПС. – 2005. – Вып. 3. – С. 74–79.

2. Балуев Н. Н. Проблемы внедрения отраслевого формата / Н. Н. Балуев, М. Н. Василенко, В. Г. Трохов, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 3. – С. 2.
3. Седых Д. В. Учет работы приборов с помощью АРМ-УРП / Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 3. – С. 7–8.
4. Горбачев А. М. Автоматизация анализа, экспертизы и сверки технической документации системы железнодорожной автоматики и телемеханики / А. М. Горбачев // Изв. ПГУПС. – 2012. – Вып. 4. – С. 73–78.
5. Безродный Б. Ф. Автоматизация проверки проектов на основе АРМ-ТЕСТ / Б. Ф. Безродный, М. Н. Василенко, Б. П. Денисов, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 3. – С. 22–24.
6. 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.
7. 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.

## Revise of outdoor equipment drawings based on branch format

D. V. Sedykh

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

Actual task in check and expertise of technical documentation is revise of technical documentation with each other. It is topical for the set of drawings received by through design from each other. For example station schematic plan is the primary scheme for any automation devices design. The two-line plan and traction current canalization scheme further are based on it. All this drawings are made from each other and contain new subsets of parameters and additional elements comparing to the previous drawing. Use of track circuit description in branch format allowed to simplify revise task a lot.

**Keywords:** outdoor equipment design; ARM-VTD; technical documentation expertise; track circuits; technical documentation branch format.

## Сведения об авторе

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

© Седых Д. В., 2016

## ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МОНТАЖНЫХ СХЕМ

**А.А.Матушев, Д.В.Седых, И.С.Ушаков**

Сегодня не существует эффективной системы проверки наличия ошибок в принципиальных электрических и монтажных схемах, рассматривающих их как различные способы описания одной и той же системы. Разработаны отраслевые форматы данных принципиальных и монтажных схем железнодорожной автоматики, но для их сравнения и корректировки необходимо представить схемы в виде единой модели, которая может быть построена по принципиальным или монтажным схемам. Разработанную модель предполагается использовать для экспертизы принципиальных и монтажных схем. Благодаря тому, что модель объединяет два вида схем, можно проверить соответствие принципиальных и монтажных схем одного проекта.

**Ключевые слова:** модель; АРМ-ВТД; экспертиза технической документации; распознавание; отраслевой формат технической документации.

### Введение

Построение моделей затруднено многообразием элементов, имеющихся в железнодорожной технической документации, и сложностью средств моделирования [1, 2], поэтому до настоящего времени не удавалось создать приемлемые технологии моделирования и реализовать рассматриваемые схемы. Основные требования, предъявляемые к модели с точки зрения экспертизы схем:

- целостность: в процессе построения модели должны быть определены все устройства и их составляющие;
- полнота: модель должна включать необходимый и точный набор логических характеристик каждого элемента;
- связность – наличие устойчивых связей между элементами и их свойствами.

### 1. Компоненты модели и ее структура

На основе названных требований была создана общая модель для принципиальных электрических и монтажных схем (рис. 1). Основные компоненты модели:

- рабочее пространство – корневой элемент, содержащий в себе все элементы схемы;
- лист схемы, содержащий в себе элементы с одного листа схемы;
- визуальный элемент листа схемы – все информационные фрагменты или части устройств;
  - части устройств – отдельные элементы различных устройств (контактов реле, обмотки реле и другие), которые в дальнейшем группируются в устройства;
  - выводы – специальные точки, входящие в состав электрического узла, определяющие место соединения нескольких элементов;
  - электрический узел – выводы элементов, соединенных вместе;
  - шлюз, предназначенный для описания различных переходов внутри схемы.

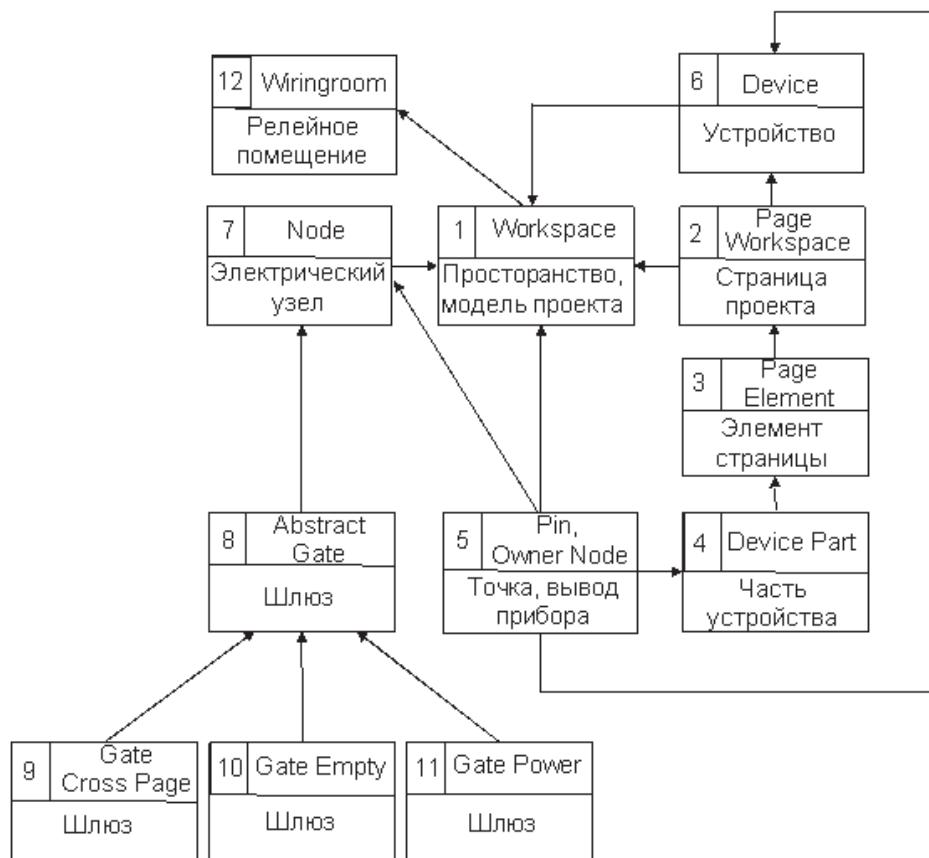
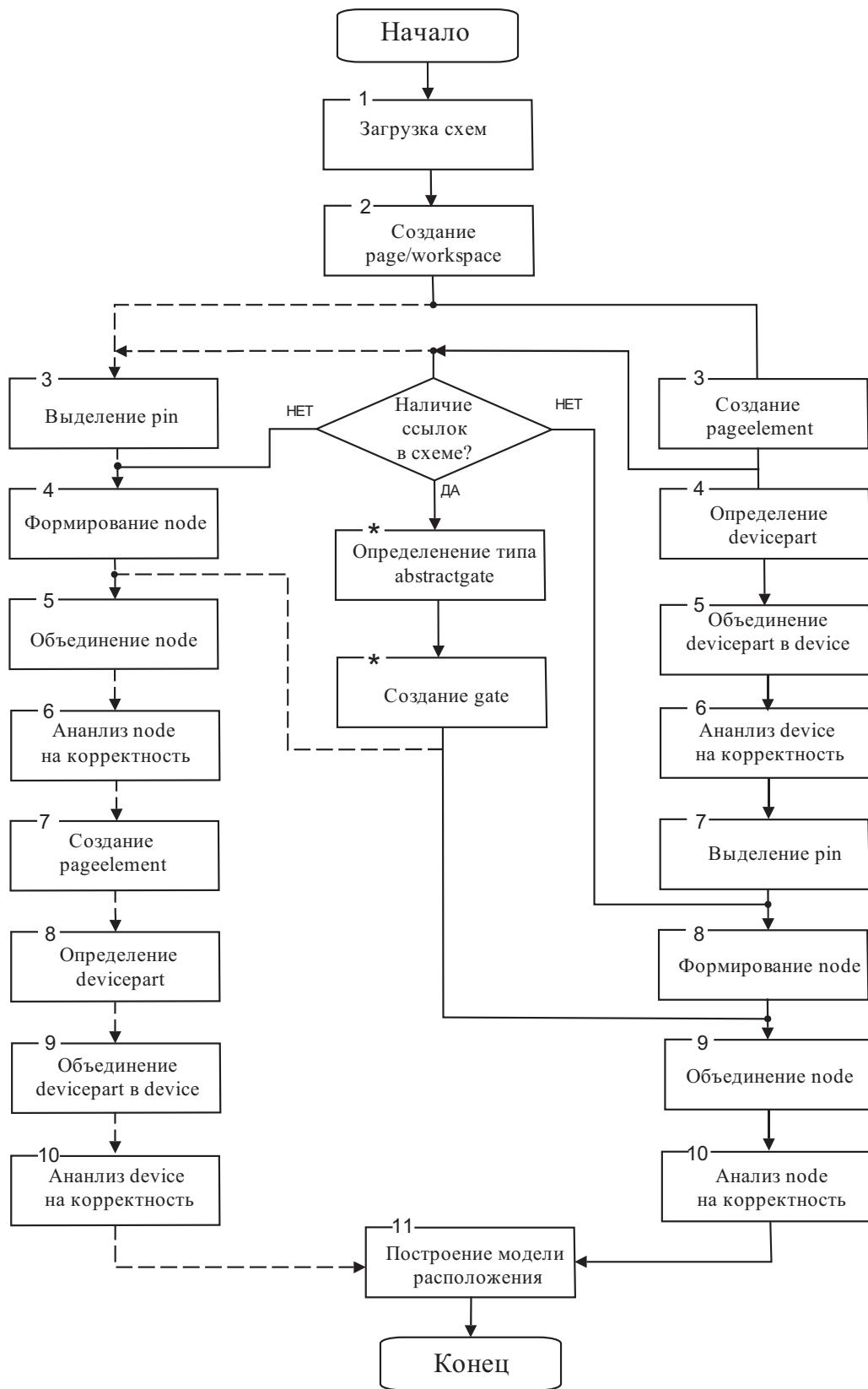


Рис. 1. Структурная схема модели

## 2. Алгоритм формирования модели

Разработан общий алгоритм построения модели схемы (рис. 2). Построение компьютерной модели схемы начинается с загрузки исходных данных, на основе которых будет создаваться модель. В качестве исходных данных



— монтажная схема

- - - - - принципиальная схема

**Рис. 2.** Алгоритм формирования модели

используются монтажные и принципиальные схемы в формате ОФ-ТД СЦБ [3, 4] из АРМ-ВТД [5, 6].

Алгоритм немного отличается для принципиальных и монтажных схем [5–8] по порядку загрузки элементов и их обработке.

Например, для монтажных схем процедура построения модели такова:

- создание pageelement;
- определение devicepart;
- объединение devicepart в device;
- анализ device на корректность;
- выделение pin;
- формирование node;
- группировка node;
- анализ node на корректность.

Помимо очевидных операций по загрузке элементов и их предобработке стоит выделить контроль найденных устройств на схемах на корректность. Данный процесс включает в себя следующие виды проверок:

- контроль целостности устройства (для реле – наличие обмотки, наличие контактов);
- наличие узлов питания;
- соответствие марке номиналов и других атрибутов;
- правильность адреса прибора;
- отсутствие повторного наименования у разных приборов;
- отсутствие повторного использования обмоток реле;
- отсутствие несуществующих клемм;
- наличие всех шин питания;
- наличие всех клеммных панелей;
- отсутствие элементов с одинаковым монтажным адресом;
- монтажные адреса всех device part, входящих в состав device;
- занятость контактного адреса устройства.

## Выводы

Разработанная модель может быть использована для экспертизы принципиальных и монтажных схем. Модель, построенная описанным способом, позволила объединить два вида схем в общее описание. Таким образом, можно проверить соответствие принципиальных и монтажных схем друг другу. Помимо сверки принципиальных и монтажных схем друг с другом модель позволяет быстро и эффективно проверять отдельные параметры устройств, а также выполнение нормативов.

Модуль экспертизы и корректировки схем с помощью предложенной модели позволит избежать множества схемных ошибок еще на стадии проектирования. Также модуль улучшит качество работы программного

комплекса распознавания монтажной технической документации, корректируя полученные данные.

## Библиографический список

1. Седых Д. В. Применение отраслевого формата технической документации на устройства железнодорожной автоматики и телемеханики для интеграции приложений / Д. В. Седых, С. А. Суханов // Изв. ПГУПС. – 2005. – Вып. 3. – С. 74–79.
2. Балуев Н. Н. Проблемы внедрения отраслевого формата / Н. Н. Балуев, М. Н. Василенко, В. Г. Трохов, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 3. – С. 2.
3. 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.
4. 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.
5. Седых Д. В. Учет работы приборов с помощью АРМ-УРП / Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 3. – С. 7–8.
6. Горбачев А. М. Автоматизация анализа, экспертизы и сверки технической документации системы железнодорожной автоматики и телемеханики / А. М. Горбачев // Изв. ПГУПС. – 2012. – Вып. 4. – С. 73–78.
7. Безродный Б. Ф. Автоматизация проверки проектов на основе АРМ-ТЕСТ / Б. Ф. Безродный, М. Н. Василенко, Б. П. Денисов, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 3. – С. 22–24.
8. Матушев А. А. Распознавание структуры монтажных схем ЖАТ / А. А. Матушев, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2015. – № 10. – С. 4–7.

## Summarized model of principal electric and assembly diagrams

A. A. Matushev, D. V. Sedykh, I. S. Ushakov,

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

Effective system of check of error occurrence in principal electric and assembly diagrams considering them as different ways of description of the same circuit does not exist nowadays. Branch data formats of principal electric and assembly diagrams are developed at the moment. But for the tasks of comparing and correction of them presentation of diagrams as the united model is needed; which could be formed based on principal electric or assembly diagrams.

The model developed is supposed to be used for the expertise of principal electric and assembly diagrams. Thanks to the fact it unites two types of diagrams it is possible to check accordance of principal electric and assembly diagrams

**Keywords:** *model; ARM-VTD; technical documentation expertise; recognition; technical documentation branch format.*

## Сведения об авторах

*МАТУШЕВ Андрей Александрович* – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* [dron\\_90@bk.ru](mailto:dron_90@bk.ru)

*СЕДЫХ Дмитрий Владимирович* – инженер кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* [sedyhdmmitriy@gmail.com](mailto:sedyhdmmitriy@gmail.com)

*УШАКОВ Иван Сергеевич* – инженер кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* [wsnzone@gmail.com](mailto:wsnzone@gmail.com)

© Матушев А. А., Седых Д. В., Ушаков И. С., 2016

# *Логистика*

УДК 656.2

## **РОЛЬ СЕТИ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ГРУЗОВОЙ И КОММЕРЧЕСКОЙ РАБОТЫ**

**Н. А. Гончарова, Ю. Д. Черненко**

Анализируется роль сети информационно-вычислительных центров ОАО «РЖД» в повышении эффективности грузовой и коммерческой работы. Выделены наиболее значимые этапы информатизации эксплуатационной работы на автомобильном и железнодорожном транспорте.

Рассматриваются перспективы использования сети информационно-вычислительных центров ОАО «РЖД» для организации мультимодальных перевозок.

**Ключевые слова:** информационно-вычислительные центры ОАО «РЖД»; автоматизированная система управления железнодорожным транспортом; автоматизированная система оперативного управления перевозками; автоматизированные рабочие места.

### **Введение**

Сеть информационно-вычислительных центров (ИВЦ) в настоящее время составляет основу информационного обеспечения эксплуатационной работы ОАО «РЖД». Информатизация рассматривается как средство для решения основных стратегических задач отрасли – увеличения объемов перевозок, повышения конкурентоспособности, сокращения общих логистических издержек.

На других видах транспорта также предпринимались попытки создать сети вычислительных центров, но они не были столь успешными, как на железной дороге. При переходе к рыночной экономике взаимодействие между информационными системами различных предприятий было нарушено. В настоящее время имеется потребность в таком взаимодействии.

### **1. Сеть ИВЦ в грузовой и коммерческой работе на железнодорожном транспорте**

Существенное повышение эффективности процессов грузовой и коммерческой работы на железнодорожном транспорте было достигнуто благодаря

созданию комплексной автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом (АСУЖТ). АСУЖТ позволила автоматизировать сбор, передачу и преобразование информации, а также выдачу управляющих воздействий. АСУЖТ функционирует на базе Главного вычислительного центра, дорожных ИВЦ, узловых (отделенческих) вычислительных центров (ВЦ), ВЦ сортировочных и грузовых станций, а также других крупных предприятий системы ОАО «РЖД». АСУЖТ представляет собой систему, состоящую из технических средств вычислительной техники, программного обеспечения, средств телекоммуникаций и экономико-математических методов, а также аппарата управления, принимающего решения на основе автоматизированной обработки информации [1].

Опираясь на ИВЦ, на всех дорогах сети функционирует автоматизированная система оперативного управления перевозками (АСОУП). Она предназначена для автоматизированной подготовки и представления информации о перевозочном процессе руководителям и оперативным работникам управлений дорог, отделений и станций для оперативного регулирования перевозок. Информационной основой АСОУП дороги является машинная модель перевозочного процесса на полигоне дороги. Информационная модель отражает текущее состояние эксплуатационной работы полигона [2]. В основном система используется для обслуживания оперативных сотрудников станций (операторов станционных технических центров (СТЦ) и товарных контор, станционных и маневровых диспетчеров), отделений железных дорог (поездных и локомотивных диспетчеров, дежурных по отделению), оперативно-распорядительных отделов служб перевозок, руководителей различных уровней.

На первом этапе создания АСОУП были реализованы модели поездов, локомотивов и специального подвижного состава. Система открыла широкие возможности для совершенствования управления эксплуатационной работой дорог. Она позволила руководству и оперативному персоналу магистралей и отделений получать целостное представление об эксплуатационной обстановке на контролируемых полигонах в моменты, близкие к реальному времени. Появились возможности прогнозирования и оперативного планирования предстоящей работы. Также система дала возможность контролировать соблюдение технологической дисциплины, принимать оперативные меры по ликвидации выявленных нарушений. АСОУП обеспечила выдачу оперативным работникам станций, отделений и управлений дорог комплекса технологических документов по каждому поезду [3]. Она стала базисом для создания ряда новых автоматизированных систем и комплексов задач в системе управления перевозочным процессом. Унификация основных проектных решений в области информационного, программного и технического обеспечения открыла широкие возможности для быстрого тиражирования и внедрения системы на сети железных дорог.

Общесистемные средства АСОУП создавались централизованно в виде типовых проектных решений, что позволило унифицировать главные процес-

сы обработки информации в дорожных ИВЦ. Создание и внедрение АСОУП обеспечило построение надежного фундамента вычислительной сети на железных дорогах России.

Следующим важным моментом после внедрения АСОУП стала разработка автоматизированных рабочих мест (АРМ) работников хозяйства перевозок. С середины 1990-х годов началось внедрение АРМ работников массовых профессий, связанных с выполнением операций грузовой и коммерческой работы на линейных подразделениях железных дорог (маневровых диспетчеров, дежурных по станциям, операторов СТЦ, операторов товарных контор, дежурных по локомотивным и вагонным депо) [4]. Внедрение АРМ позволило значительно сократить время выполнения операций грузовой и коммерческой работы за счет:

- сокращения времени поиска работниками информации, необходимой для заполнения документации;
- сведения к минимуму числа отказов устройств;
- снижения доли бумажных документов;
- снижения количества ошибок, возникающих под влиянием человеческого фактора.

Использование АРМ позволило увеличить производительность труда оперативных работников при решении задач с большим количеством счетных операций, повысило безопасность движения поездов и производства маневровой работы и в целом способствовало улучшению условий труда. Далее стало возможным построение комплексных систем, в которых отдельные АРМ оперативного персонала станций взаимосвязаны и взаимодействуют друг с другом, что повысило эффективность грузовой и коммерческой работы. В результате дополнения АСОУП АРМами была значительно повышена пропускная и перерабатывающая способность станций за счет устойчивого выполнения заданий по погрузке, выгрузке, переработке и пропуску поездопотока, соблюдения установленных нормативов и повышения производительности труда работников массовых профессий, при этом удалось добиться значительной экономии эксплуатационных расходов.

В настоящее время ОАО «РЖД» пытается создать единый универсальный информационный сервис, обеспечивающий планирование и управление эксплуатационной работой на основе оптимального взаимодействия всех участников перевозочного процесса на всех его этапах. Крупнейшими разработками в данном направлении являются АСОУП-3 и Интеллектуальная система управления железнодорожным транспортом [5].

## **2. Кустовые вычислительные центры на автомобильном транспорте**

Автоматизированные системы управления перевозочным процессом на автомобильном транспорте создавались еще в 1967–1980 гг. [6]. В этот пе-

риод были организованы кустовые вычислительные центры (КВЦ), в продолжение этой работы стали создаваться вычислительные центры коллективного пользования. Необходимыми предпосылками для этого были качественное наращивание математического аппарата, создание программных комплексов, появление возможностей для стыковки задач планирования перевозочного процесса с информационно-вычислительным комплексом. Внедрение КВЦ в деятельность автотранспортных предприятий значительно упростило решение задач оперативного планирования:

- определения кратчайших расстояний между пунктами транспортной сети;
- разработки маршрутов перевозок;
- оптимального закрепления маршрутов за автотранспортными предприятиями;
- разработки заданий водителям;
- перевозок грузов по маршрутам.

Существенным недостатком КВЦ было то, что они имели весьма ограниченные возможности реагировать на быстро меняющуюся оперативную обстановку. Для обеспечения оперативного управления процессом транспортировки требовалась достоверная информация с линии, получаемая по цепям обратной связи.

Совершенствование оперативного управления перевозочным процессом в 1980-е годы стало возможным за счет появления персональных ЭВМ, на основе которых начали создаваться АРМы работников, связанных с управлением перевозочным процессом. Анализ публикаций [7–12] позволяет сделать вывод, что в оперативном планировании грузовых автомобильных перевозок решалось конечное число задач, возникающих при использовании различных схем доставки грузов потребителю [13]. Использование КВЦ помогало решить такие важные из них, как определение кратчайшего расстояния, маршрутизация помашинных и мелкопартионных отправок, расчет минимального времени доставки груза.

Начало использования АРМов в деятельности КВЦ позволило:

- минимизировать простои подвижного состава и погрузочно-разгрузочных средств, возникающих из-за несогласованности их работы;
- уменьшить неравномерность процессов грузовой и коммерческой работы;
- снизить количество ошибок, возникающих под влиянием человеческого фактора;
- повысить качество разработки заданий водителям и упростить оценку их выполнения;
- усовершенствовать систему оценки эффективности труда работников автомобильного транспорта.

В 1990–2000 гг. произошли коренные изменения в экономике страны, в автотранспортной отрасли следствием этого стало разукрупнение и изменение собственности предприятий. Это привело к нарушению связей между

автотранспортными предприятиями, что сделало невозможным дальнейшее функционирование КВЦ. С отсутствием государственного централизованного планирования деятельности предприятий такие центры имеют крайне ограниченные возможности применения.

### **3. Перспективы использования сети ИВЦ ОАО «РЖД» в организации мультимодальных перевозок**

В целях своевременного выполнения принятых заявок и беспрепятственной передачи грузов на другие виды транспорта (при организации мультимодальных перевозок) ОАО «РЖД» в настоящее время выполняет непрерывное планирование перевозок грузов. Переход к новой прогрессивной технологии непрерывного планирования на железнодорожном транспорте позволила сеть ИВЦ.

На данном этапе смешанные (осуществляемые не по единому перевозочному документу) железнодорожно-автомобильные перевозки носят массовый характер. При их организации перевозочный процесс, начатый на железнодорожном транспорте, продолжается после передачи груза на автомобильный транспорт. Автомобильный транспорт является наиболее гибким и мобильным компонентом транспортной системы.

Интеграция автотранспортных предприятий и координация их деятельности с сетью ИВЦ позволила бы успешно решать следующие задачи транспортной логистики:

- обеспечения технической и технологической сопряженности участников транспортного процесса;
- обеспечения технологического единства транспортно-складского хозяйства;
- совместного планирования транспортного и складского процессов.

Мощная сеть ИВЦ ОАО «РЖД» могла бы стать базой для создания компьютерной системы контроля и планирования мультимодальных перевозок. Основными результатами работы такой системы станут:

- сокращение сроков доставки грузов;
- сокращение времени простоя вагонов и других транспортных средств;
- ускорение оборачиваемости контейнеров.

На первом этапе сеть ИВЦ помогла бы решить ряд технологических задач из области организации комплексной системы эксплуатации железнодорожного и автомобильного транспорта:

- разработку согласованных контактных графиков работы взаимодействующих видов транспорта, грузоотправителей и грузополучателей;
- составление взаимоувязанных с интересами грузоотправителей и грузополучателей графиков прибытия и отправления разных видов транспорта;
- организацию комплексных технологических процессов работы в крупных узлах.

Создание единой информационной системы управления перевозочным процессом обеспечит повышение качества информационного обеспечения за счет формирования единой базы достоверных данных на основе консолидации разных информационных источников, объектов и событий перевозочного процесса. Создание универсального информационного сервиса также повысило бы точность получаемых данных о перевозочном процессе с возможностью анализа его истории по архивным данным, что упростило бы процесс выявления трендов, зависимостей и формирования прогнозов.

## **Выводы**

В современных условиях постоянно увеличивается доля мультимодальных перевозок, в связи с чем растет и потребность в координации работы различных видов транспорта. Создание сети единых центров, управляющей перевозочным процессом, на основе существующей сети ИВЦ ОАО «РЖД» позволило бы кардинально повысить эффективность логистических процессов. В данный момент этот процесс затруднен в связи с отсутствием согласованности действий транспортных предприятий, принадлежащих разным собственникам. ОАО «РЖД» могло бы на базе имеющейся сети создать систему управления мультимодальными перевозками, что существенно повысило бы их качество.

Актуальной задачей на следующем этапе могла бы стать разработка общего алгоритма оперативного планирования перевозочного процесса, основанного на логистическом подходе. При формировании такого алгоритма необходимо учитывать многообразие вариантов взаимодействия внутри классической схемы (поставщик – перевозчик – грузополучатель) и в перспективе – широкое распространение более сложных схем организации перевозок (с включением в классическую схему логистических посредников).

## **Библиографический список**

1. Зверев В.И. Автоматизированные системы управления на железнодорожном транспорте : конспект лекций / В.И. Зверев, А.С. Коляда. – Иркутск : ИрГУПС, 2002.– 57 с.
2. Автоматизированная система управления перевозками на железной дороге (АСОУП). – URL : <http://pktbcki.ru>.
3. Распоряжение ОАО РЖД от 25.01.2013 г. № 161 р «Об организации проведения переписи вагонов грузового парка с использованием автоматизированных систем на сети железных дорог ОАО „РЖД“».
4. Коровяковский Е. К. Основы коммерческой деятельности на железнодорожном транспорте : учеб. пособие / Е. К. Коровяковский, И. Ю. Лашкова, С. В. Синицына. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2009. – 102 с.

5. Павловский А. Оптимально интегрировать / А. Павловский // Пульт управления.– 2015.– № 4.– С. 32–34.
6. Горев А. Э. Технология, организация и управление грузовыми автомобильными перевозками : учеб. пособие / А. Э. Горев, Л. О. Штерн.– СПб. : СПбГАСУ, 1999.– 183 с.
7. Бобарыкин В. А. Математические методы решения автотранспортных задач : учеб. пособие / В. А. Бобарыкин.– Л. : СЗПИ, 1986.– 84 с.
8. Вельможин А. В. Теория транспортных процессов и систем : учеб. для вузов / А. В. Вельможин, В. А. Гудков, Л. Б. Миротин.– М. : Транспорт, 1998.– 167 с.
9. Геронимус Б. Л. Совершенствование оперативного планирования доставки продукции автомобильным транспортом / Б. Л. Геронимус, Н. И. Максимова // Рынок и логистика / под ред. М. Р. Гордона.– М. : Экономика, 1993.– С. 117–127.
10. Житков В. А. Классификация транспортных ситуаций при планировании грузовых автомобильных перевозок / В. А. Житков, К. В. Ким // Методы оптимизации перевозочного процесса на автотранспорте.– М., 1976.– С. 7–16.
11. Кожин А. П. Математические методы в планировании и управлении грузовыми автомобильными перевозками / А. П. Кожин.– М. : Высш. шк., 1979.– 304 с.
12. Лукинский В. С. Иерархия методов решения задач автотранспортных перевозок в транспортной логистике / В. С. Лукинский, И. А. Пластуняк, И. А. Цвиринько // Вестн. ун-та. Сер. Управление на транспорте : сб. научн. трудов.– М. : ГУУ, 2001.– С. 140–148.
13. Пластуняк И. А. Применение принципов логистики при организации грузовых автомобильных перевозок : автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / И. А. Пластуняк.– СПб., 2003.

## **Role of data processing center net in improvement of cargo and commercial work efficiency**

\*N.A. Goncharova, \*\*Yu. D. Chernenko,

\*“Logistics and commerce” department  
*Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*  
\*\*St. Petersburg data processing center  
*(structural unit of Main data processing center –  
branch of JSC “RZD”)*

Role of data processing center net in improvement of cargo and commercial work efficiency of stations is analyzed. The most important stages of informatization of operational work on railway transport are highlighted.

**Keywords:** data processing center of JSC “RZD”; automated railway transport control system; automated operational traffic management system; workstations.

## **Сведения об авторах**

*ГОНЧАРОВА Наталья Александровна* – ассистент кафедры «Логистика и коммерческая работа» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;

*e-mail:* nataliegoncharova@list.ru

*ЧЕРНЕНКО Юлия Дмитриевна* – технолог 2 категории производственного отдела Санкт-Петербургского информационно-вычислительного центра (структурного подразделения Главного вычислительного центра – филиала ОАО «Российские железные дороги»)

*e-mail:* jukula1994@mail.ru

© Гончарова Н. А., Черненко Ю. Д., 2016

# *Архитектура и строительство*

УДК 004+692

## **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ ВОКЗАЛОВ**

**Е. О. Смирнова**

Приводится обзор методов, направленных на сокращение водо-, электро- и теплопотребления здания вокзала. Рассматриваются энергосберегающие решения, применение нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, а также архитектурные решения в интерьере, способствующие максимально эффективному использованию здания.

**Ключевые слова:** энергоэффективность; возобновляемые источники энергии; нетрадиционные источники энергии; устойчивое развитие; «зеленое» строительство; вокзал; экономия энергии.

### **Введение**

Численность населения, а вместе с ней и потребности человечества, неизменно растут. Потребительский подход к природе привел к нерациональному использованию невозобновляемых источников энергии, к разрушению экосистем, загрязнениям, и как следствие – к ухудшению здоровья и качества жизни самого человека. На фоне этого возникло понятие «устойчивое развитие» – развитие, при котором нынешние поколения удовлетворяют свои потребности, не лишая будущие поколения возможности удовлетворять собственные нужды, собственные потребности [1]. Одной из сторон практической реализации модели устойчивого развития является «зеленое» строительство, основная цель которого – снижение уровня потребления энергетических и материальных ресурсов при одновременном повышении уровня качества самих зданий и условий пребывания в них.

Известно, что здания всего мира используют около 40 % всей потребляемой первичной энергии, 67 % всего электричества, 40 % всего сырья и 14 % всех запасов питьевой воды, а также производят 35 % всех выбросов углекислого газа и чуть ли не половину всех твердых городских отходов. В то время как при рациональном подходе и использовании современных технологий можно возводить здания, практически не потребляющие энергии и не загрязняющие окружающую среду [2].

Вокзалы являются общественными зданиями с высокой проходимостью людей (около 1,5 тысяч человек в час) и используют порядка 30 % всей энер-

гии, потребляемой зданиями. Мировой опыт проектирования и реконструкции вокзалов показывает, что можно не только сократить количество потребляемой энергии, но и отдавать избыточную энергию в городскую сеть.

В данной работе рассматриваются существующие решения, направленные на улучшение качества зданий вокзалов, а также на снижение уровня энергопотребления зданиями.

## 1. Энергосберегающие решения

Экономия электрической энергии:

- системы автоматического управления наружным и внутренним освещением;
- использование светодиодных ламп;
- использование естественного освещения;
- использование зеркальных ламп в системах уличного освещения;
- использование автоматических выключателей в системах дежурного освещения;
- установка инфракрасных датчиков движения и присутствия.

Экономия тепловой энергии:

- использование тепловых насосов;
- использование теплообменных аппаратов, в том числе вентиляции с рекуперацией тепла;
- тепловизионный мониторинг ограждающих конструкций здания, ликвидация мостиков холода и других недостатков;
- совершенствование теплоизоляции ограждающих конструкций;
- установка теплоотражающих экранов за радиаторами отопления [3].

Экономия воды:

- сбор дождевой воды и ее последующая фильтрация с целью использования (например, для мытья полов здания);
- установка счетчиков расхода горячей и холодной воды;
- установка кранов с инфракрасными датчиками движения, которые препятствуют избыточному использованию воды;
- посадка адаптивных растений на прилегающей территории, которые требуют минимального искусственного полива.

## 2. Использование нетрадиционных и возобновляемых источников энергии

Выработка электроэнергии:

- установка солнечных батарей на кровле здания с максимально освещенной стороны. Принцип действия основан на прямом преобразовании электромагнитной энергии в электрическую с помощью фотоэлементов [4];

- ветроэлектрогенераторы в виде заграждающих щитов здания со специальными креплениями в виде поступательных генераторов, в которых от механических перемещений и давлений, производимых рабочими телами, будет вырабатываться электроэнергия (также предотвращают перегрев здания, способствуют дополнительной шумоизоляции); устанавливаются на стенах здания с ветреной стороны [5];

- использование экологически чистой плитки Pavegen в покрытии полов здания и на прилегающей территории. Принцип действия: при нажатии на плитку устройство из гибкого водонепроницаемого материала прогибается примерно на 5 мм, что создает энергию, которую механизм преобразует в электричество. Далее ватты либо сохраняются в литиевом полимерном аккумуляторе, либо сразу же используются на освещение;

- использование специальных турникетов и дверей, основанных на толкательных движениях. Вращение турникетов и дверей приводят к выработке электричества;

- использование пьезоэлементов в покрытии пола в местах массового скопления людей на вокзале. Принцип действия: пьезоэлементы производят электричество от давления и вибрации, которую они получают, когда люди наступают на них [6].

Выработка тепловой энергии:

- обогрев воды за счет применения солнечного коллектора. Жидкость, нагреваемая в коллекторе, при прохождении определенного цикла отдает свое тепло поступающей холодной воде;
- использование геотермальной энергии – постоянной температуры земли ниже уровня промерзания или подземных водоемов;
- использование тепловых насосов.

### **3. Архитектурные решения**

Возможны:

- максимальное остекление южных фасадов и минимальное – северных фасадов зданий;
- применение светопрозрачных наружных ограждающих конструкций с повышенными теплозащитными характеристиками, оборудованных вентиляционными клапанами;
- установка дополнительных тамбуров при входах в здание;
- установка доводчиков входных дверей;
- максимальное использование естественного освещения помещений для снижения затрат электрической энергии;
- связь помещений без лишних коридоров, холлов и темных помещений [7];
- использование непрерывной теплоизоляционной оболочки здания;

- разработка максимально герметичной формы здания;
  - минимальная площадь наружных стен с изломами и углами [8];
  - организация максимально возможной естественной вентиляции здания за счет атриумных пространств и других архитектурных решений;
- применение фасадных технологий: double-skin [9], системы вентилируемых фасадов и других.

Все применяемые решения должны быть целесообразны и экономически обоснованы. При выборе тех или иных решений, направленных на повышение устойчивости здания, необходимо помнить о социально-экономических, климатических, природных и других условиях, обусловленных местонахождением вокзала.

Например, для северных районов и участков с холодным климатом будет целесообразно обратить внимание на решения, направленные на сохранение тепла, в то же время для более жарких регионов необходимо использовать решения, связанные с защитой здания от перегрева и с организацией свободной циркуляции свежего воздуха. Универсальные системы, такие как выработка электроэнергии за счет механических движений, будут полезны и целесообразны на всех вокзалах, так как поток людей составляет, как минимум, 1,5 тысячи человек в час. Выработанная энергия может составлять в среднем 4600 кВт·ч энергии в год от использования только специальных турникетов [6].

## **Выводы**

В данной статье рассмотрены различные решения, направленные на повышение энергоэффективности вокзалов. Применение даже нескольких решений существенно сократит расходы на электро-, водо- и теплоснабжение здания. Экономическая эффективность – окупаемость – зависит от выбранных решений, потока людей, площади вокзала и других факторов, однако в среднем расходы на обеспечение здания энергией падают на 20–30 %.

## **Библиографический список**

1. Бегун Т. В. Устойчивое развитие: определение, концепция и факторы в контексте моногородов // Экономика, управление, финансы : материалы II междунар. науч. конф., Пермь, дек. 2012 г. – Пермь : Меркурий, 2012. – С. 158–163.
2. Зеленые стандарты. – URL : <http://зеленые-стандарты.рф>.
3. Типовые технологии энергосбережения для зданий и сооружений. – URL : <http://tomsk.energosberezhenie-dpo.ru/media/catalog/af23c1f4-35ae-44b8-a04d-e1c7cc181045.pdf>.
4. Баскаков А. П. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / А. П. Баскаков, А. В. Мунц. – М. : Бастет, 2013. – 81 с.

5. Выработка электроэнергии при помощи линейных генераторов.– URL : <http://www.eprussia.ru/epr/235/15659.htm>.
6. 10 альтернативных источников энергии.– URL : <http://recyclemag.ru/article/10-neobychnyh-alternativnyh-istochnikov-energii>.
7. Архитектурные решения и энергоэффективность.– URL : <http://www.spbenergo.com/talk/koroljev1.html>.
8. Архитектурные и инженерные решения.– URL : [http://www.ingenieria.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=142](http://www.ingenieria.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=142).
9. Двойное остекление (фасады double skin).– URL : <http://www.alpicagroup.ru/dvojnoe-osteklenie.html>.
10. Вентилируемый фасад.– URL : <http://vodotopim.ru/uteplenie/ventiliruemiy-fasad.php>.

## **Energy efficient solutions in design and reconstruction of station buildings**

E. O. Smirnova

*“Architecture” department of the Institute of Civil Engineering  
Ural Federal University  
named after the first President of Russia B. N. Yeltsin*

Author observes methods that allow reducing water, electric and heat consumption of station building. Energy efficient solutions, unconventional and renewable energy sources are considered as well as architecture solutions causing the most effective use of building.

**Keywords:** *energy efficient; renewable energy sources; unconventional energy sources; sustainable development; “green” building; station building; energy savings.*

### **Сведения об авторе**

*СМИРНОВА Екатерина Олеговна* – магистр кафедры архитектуры строительного института Уральского федерального университета им. первого президента России Б. Н. Ельцина;  
*e-mail:* catherina.smirnova.usaaa@gmail.com

© Смирнова Е. О., 2016

## **АВТОРЫ**

Белоусов С. В.	67	Сапожников Вл. В.	9
Бенета Э. В.	95	Седых Д. В.	125, 131
Гончарова Н. А.	137	Смирнова Е. О.	145
Грошев Г. М.	76	Сугоровский А. В.	76
Ефанов Д. В.	9, 38	Сугоровский Ан. В.	76
Иванов Р. И.	82	Тимошенков М. В.	38
Канаев А. К.	89, 95	Тришин Н. А.	47
Матушев А. А.	131	Тукмачев В. Ф.	89
Никитин Д. А.	28	Ушаков И. С.	131
Осадчий Г. В.	57	Фомин Д. В.	57
Пивоваров Д. В.	17	Хижавский О. А.	113
Плеханов П. А.	102	Черненко Ю. Д.	137
Порошин А. А.	72	Чухонин В. М.	57
Правдухина А. А.	38	Щагина В. А.	9
Сапожников Вал. В.	9	Яшин М. Г.	82

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ**

Сборник материалов секции  
«Информационные технологии на транспорте»  
юбилейной XV Санкт-Петербургской международной конференции  
«Региональная информатика – 2016»,  
Санкт-Петербург, 26–28 октября 2016 г.

Под ред. Вал. В. Сапожникова

Редактор, корректор *С. А. Зинченко*  
Компьютерная верстка *А. А. Стукановой*

Подписано в печать с оригинал-макета 27.12.2016.  
Формат 60×84/9,5. Бумага для множ. апп. Печать ризография.  
Усл. печ. л. 9,375. Тираж 500 экз. Заказ

ФГБОУ ВО ПГУПС. 190031, СПб., Московский пр., 9.  
Типография ФГБОУ ВО ПГУПС. 190031, СПб., Московский пр., 9.