

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
**«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»**

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ
АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ**

Сборник научных трудов
кафедры «Автоматика и телемеханика
на железных дорогах»

Санкт-Петербург
ПГУПС
2012

УДК 656.25
T19

T19 **Теоретические и практические аспекты развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. трудов / под ред. Вл. В. Сапожникова. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2012. – 117 с.**

ISBN 978-5-7641-0416-4

Сборник научных трудов подготовлен кафедрой «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения (ПГУПС). В него включены статьи, посвященные развитию современной автоматики и телемеханики на железных дорогах Российской Федерации. Статьи написаны сотрудниками, аспирантами и студентами кафедры. В них затронуты такие вопросы, как проектирование контролепригодных схем автоматики, исследование качества работы аппаратуры, повышение характеристик надежности средств автоматики, электронный документооборот технической документации, техническое диагностирование и мониторинг систем железнодорожной автоматики и телемеханики, информационные технологии на транспорте и в процессе обучения.

Сборник предназначен для разработчиков устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики, аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

УДК 656.25

Редакционная коллегия: д-р техн. наук **В. В. Сапожников**, д-р техн. наук **Вл. В. Сапожников**, канд. техн. наук **Д. В. Ефанов**.

ISBN 978-5-7641-0416-4

© Петербургский государственный
университет путей сообщения, 2012

БЕЗОПАСНОСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

УДК 681.518.5:004.052.32

В. В. Сапожников, д-р техн. наук

Вл. В. Сапожников, д-р техн. наук

Д. В. Ефанов, канд. техн. наук

А. А. Блюдов

Двоичные коды с суммированием, имеющие минимальное число необнаруживаемых искажений информационных разрядов

Введение

Ключевыми характеристиками избыточных кодов, применяемых для организации схем функционального диагностирования комбинационных дискретных устройств [1], являются обнаружающая способность и избыточность. Кроме влияния на обнаружающую способность кода, избыточность определяет сложность, быстродействие и тестируемость контрольного оборудования схемы диагностирования: чем ниже избыточность, тем проще сама схема.

Известно достаточно большое число разнообразных равномерных помехоустойчивых кодов, применяемых в схемах функционального контроля [2]. Каждый из них имеет свои особенные правила построения контрольных разрядов. Среди разделимых кодов используются коды паритета, коды с повторением и коды с суммированием. Первый тип кодов имеет всего один контрольный разряд, однако при этом не обнаруживает 50 % искажений информационных векторов, второй – имеет двойную избыточность, но обнаруживает все искажения в информационной составляющей. Коды с суммированием по своим характеристикам (как избыточности, так и обнаружающей способности) находятся между кодами паритета и кодами с повторением.

Число контрольных разрядов k у классических кодов с суммированием (кодов Бергера, $S(n, m)$ -кодов) равно $k = \lceil \log_2(m+1) \rceil$, где m – число информационных разрядов [3]. Но данный тип кодов не обнаруживает при различной длине информационных векторов $m \in [2; 15]$ от 14,5 % до 22,5 % искажений информационного вектора [4]. Улучшенными характе-

ристиками по обнаружению искажений информационных векторов обладают модифицированные коды с суммированием ($RSM(n, m)$ -коды) [5]–[7], например, при той же длине контрольных векторов, что и у кодов Бергера, они не обнаруживают почти вдвое меньше искажений. Число контрольных разрядов в модифицированных кодах с суммированием может быть выбрано из диапазона $2 \leq k \leq \lceil \log_2(m+1) \rceil$, что определит и их обнаруживающую способность.

Необнаруживаемые ошибки в информационных векторах разделимых кодов искажают информационные векторы так, что не нарушается их соответствие контрольному вектору. Это может произойти лишь в том случае, если информационный вектор кода с данным контрольным вектором при искажении перешел в информационный вектор с таким же контрольным вектором. У различных кодов различное распределение информационных векторов по одинаковым контрольным, с этим связана и вариация обнаруживающих способностей кодов [5], [8]: в классических кодах с суммированием данное распределение менее равномерно, чем в модифицированных.

Минимум необнаруживаемых искажений информационных векторов будет достигнут тогда, когда все информационные векторы будут классифицированы на группы веса контрольных векторов равномерно. Число контрольных групп – это общее число разнообразных контрольных векторов – 2^k . В каждой такой группе должно размещаться по 2^{m-k} информационных вектора. Это приводит к тому, что общее количество необнаруживаемых искажений составляет в оптимальных кодах для данного k :

$$N_n = 2^m (2^{m-k} - 1). \quad (1)$$

В данной работе изложены принципы получения новых разделимых кодов, названных $\Omega(n, m)$ -кодами, обладающих равномерным распределением информационных векторов среди контрольных векторов и имеющих смещение минимума ошибок к ошибкам малой кратности.

1 Принципы построения $\Omega(n, m)$ -кодов

$\Omega(n, m)$ -код строится с использованием операций суммирования групп информационных разрядов по модулю два. При этом число контрольных разрядов k может быть выбрано заранее. Целесообразно брать k из области $2 \leq k \leq \lceil \log_2(m+1) \rceil$, тогда избыточность кода не будет превышать избыточности кодов с суммированием.

Построим код $\Omega(6, 4)$, удовлетворяющий поставленным ранее целям, задавая контрольные разряды системой линейных функций:

$$\begin{cases} \alpha_1 = x_1 \oplus x_2 \oplus x_3 \oplus x_4; \\ \alpha_2 = x_1 \oplus x_2 \oplus x_3. \end{cases} \quad (2)$$

Для построения контрольного разряда α_2 кода $\Omega(6, 4)$ можно взять и другое сочетание трех информационных разрядов из четырех.

В табл. 1 приведены все векторы кода $\Omega(6, 4)$. Контрольному вектору $\langle \alpha_1 \alpha_2 \rangle$ эквивалентно десятичное число V : $V \in [0; 2^2 - 1]$.

Таблица 1

**Код $\Omega(6, 4)$ с оптимальным
разбиением информационных
векторов**

№	x_4	x_3	x_2	x_1	α_1	α_2	V
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	1	1
2	0	0	1	0	1	1	3
3	0	0	1	1	1	0	2
4	0	1	0	0	1	1	3
5	0	1	0	1	1	0	2
6	0	1	1	0	0	0	0
7	0	1	1	1	0	1	1
8	1	0	0	0	1	1	3
9	1	0	0	1	1	0	2
10	1	0	1	0	0	0	0
11	1	0	1	1	0	1	1
12	1	1	0	0	0	0	0
13	1	1	0	1	0	1	1
14	1	1	1	0	1	1	3
15	1	1	1	1	1	0	2

Разбивая информационные векторы на группы V , получаем равномерное распределение (табл. 2). Ошибка будет необнаруживаемой в том и только в том случае, если она переведет один кодовый вектор группы V в другой кодовый вектор этой же группы. Подсчет количества необнаруживаемых искажений по каждой кратности дает такой результат: в коде $\Omega(6, 4)$ в каждой группе V для каждого информационного вектора существует ровно по три искажения кратности $d = 2$, т. е. в группе всего 12 таких искажений, а в коде – 48.

Таблица 2

Распределение информационных векторов на группы V в коде $\Omega(6, 4)$

Код $\Omega(6, 4)$					
Группа V	0	1	2	3	Всего
Информационные векторы	0000	0001	0011	0010	4 группы по 4 вектора
	0110	0111	0101	0100	
	1010	1011	1001	1000	
	1100	1101	1111	1110	
Число необнаруживаемых ошибок кратности $d = 2$	12	12	12	12	48
Всего необнаруживаемых искажений в группе	12	12	12	12	48

Анализируя табл. 2, заметим, что в группах с четным V присутствуют информационные векторы с четным весом r , а в группах с нечетным V – информационные векторы с нечетным весом r . Перестановка второго и третьего информационных векторов групп $V = 0$, $V = 1$ и $V = 2$, $V = 3$ приводит к тому, что в каждой группе появляются кодовые векторы с большим кодовым расстоянием, нежели ранее присутствовавшие там. Это, в свою очередь, приводит к перераспределению необнаруживаемых искажений – появляются необнаруживаемые ошибки кратности $d = 3$, а число двукратных искажений сокращается (табл. 3).

Таблица 3

Перераспределение информационных векторов в коде $\Omega(6, 4)$

Код					
Группа V	0	1	2	3	Всего
Информационные векторы	0000	0001	0011	0010	4 группы по 4 вектора
	0111	0110	0100	0101	
	1011	1010	1000	1001	
	1100	1101	1111	1110	
Число необнаруживаемых ошибок кратности $d = 2$	4	4	4	4	16
Число необнаруживаемых ошибок кратности $d = 3$	8	8	8	8	32
Всего необнаруживаемых искажений в группе	12	12	12	12	48

Учитывая меньшую вероятность возникновения ошибок больших кратностей, можно сделать вывод о том, что подобная перестановка кодовых векторов привела к улучшению обнаруживающих способностей кода $\Omega(6, 4)$ (табл. 2). Будем код $\Omega(n, m)$, полученный обозначенными выше перестановками и обладающий улучшенными обнаруживающими способностями, обозначать как $\Omega^*(n, m)$ -код.

Правила получения контрольных разрядов α_1 и α_2 нетрудно formalизовать, поменяв местами соответствующие контрольные векторы в табл. 1, а затем произведя над ними ряд преобразований:

$$\begin{aligned}
 \alpha_1 &= \overline{x_4} \overline{x_3} \overline{x_2} \overline{x_1} \vee \\
 &\vee \overline{x_4} \overline{x_3} \overline{x_2} \overline{x_1} \vee \overline{x_4} \overline{x_3} \overline{x_2} \overline{x_1} \vee \overline{x_4} \overline{x_3} \overline{x_2} \overline{x_1} \vee \overline{x_4} \overline{x_3} \overline{x_2} \overline{x_1} = \\
 &= \overline{x_4} \overline{x_3} \overline{x_2} \vee \overline{x_4} \overline{x_3} \overline{x_2} \vee \overline{x_4} \overline{x_3} \overline{x_2} \vee \overline{x_4} \overline{x_3} \overline{x_2} = \\
 &= \overline{x_4} (\overline{x_3} \overline{x_2} \vee \overline{x_3} \overline{x_2}) \vee x_4 (\overline{x_3} \overline{x_2} \vee x_3 \overline{x_2}) = \\
 &= \overline{x_4} (x_2 \oplus x_3) \vee x_4 \overline{x_2 \oplus x_3} = \overline{x_4} (x_2 \oplus x_3) \vee x_4 (1 \oplus x_2 \oplus x_3) = \\
 &= x_2 \oplus x_3 \oplus x_4. \\
 \alpha_2 &= \overline{x_4} \overline{x_3} \overline{x_2} \overline{x_1} \vee \\
 &\vee \overline{x_4} \overline{x_3} \overline{x_2} \overline{x_1} \vee \overline{x_4} \overline{x_3} \overline{x_2} \overline{x_1} \vee \overline{x_4} \overline{x_3} \overline{x_2} \overline{x_1} \vee \overline{x_4} \overline{x_3} \overline{x_2} \overline{x_1} = \\
 &= \overline{x_1} \overline{x_2} (\overline{x_4} \overline{x_3} \vee \overline{x_4} \overline{x_3} \vee x_4 \overline{x_3} \vee x_4 x_3) \vee \overline{x_2} \overline{x_1} (\overline{x_4} \overline{x_3} \vee \overline{x_4} \overline{x_3} \vee x_4 \overline{x_3} \vee x_4 x_3) = \\
 &= \overline{x_1} \overline{x_2} \vee x_1 \overline{x_2} = x_1 \oplus x_2.
 \end{aligned} \tag{3}$$

Функции (3) и (4) есть выражения, описывающие контрольные разряды кода $\Omega^*(6, 4)$.

Отметим, что существуют также и другие способы получения кода с равномерным распределением и минимумом необнаруживаемых ошибок малых кратностей. Для примера можно привести такой способ составления контрольных разрядов: $\alpha_1 = x_1 \oplus x_2 \oplus x_3 \oplus x_4$, $\alpha_2 = x_1$. При перегруппировке центральных членов групп $V = 0$, $V = 3$ и $V = 1$, $V = 2$ кода, чьи контрольные векторы получаются по обозначенным выше формулам, получаем также код с минимумом необнаруживаемых ошибок малой кратности.

Исследуя коды $\Omega(n, m)$ при увеличении m , можем сделать следующий вывод. Перестановка половины информационных векторов относительно соседних групп V , образующих центральную область столбца информационных векторов каждой группы, приводит к смещению необнаруживаемых искажений в сторону большей кратности. При этом следует по-

менять местами по 2^{m-k-1} информационных вектора групп V_{2r} и V_{2r+1} , где $r = 0, 1, 2\dots$

Например, в коде $\Omega(8, 5)$ можно получить контрольные разряды на основании системы:

$$\begin{cases} \alpha_1 = x_1 \oplus x_2; \\ \alpha_2 = x_3 \oplus x_4; \\ \alpha_3 = x_1 \oplus x_2 \oplus x_3 \oplus x_4 \oplus x_5. \end{cases} \quad (5)$$

При размещении информационных векторов в группы V получаем, что в коде $\Omega(8, 5)$ для каждого вектора среди необнаруживаемых существуют две ошибки кратности $d = 2$ и по одной ошибке кратности $d = 4$, т. е. всего 64 двукратных и 32 четырехкратных (табл. 4).

Таблица 4

Распределение информационных векторов на группы V в коде $\Omega(8, 5)$

Группа V	Код								Всего
	0	1	2	3	4	5	6	7	
Информационные векторы	00000	00001	00011	00010	01001	01000	01010	01011	8 групп по 4 вектора
	00110	00111	00101	00100	01111	01110	01100	01101	
	11000	11001	11011	11010	10001	10000	10010	10011	
	11110	11111	11101	11100	10111	10110	10100	10101	
Число необнаруживаемых ошибок кратности $d=2$	8	8	8	8	8	8	8	8	64
Число необнаруживаемых ошибок кратности $d = 4$	4	4	4	4	4	4	4	4	32
Всего необнаруживаемых искажений в группе	12	12	12	12	12	12	12	12	96

Повторение проделанной для предыдущего кода $\Omega^*(6, 4)$ операции перестановки между собой двух средних членов соседних групп V_{2r} и V_{2r+1} , где $r = 0, 1, 2\dots$, приводит к тому, что ошибки кратности $d = 2$ вообще выходят из класса необнаруживаемых, их место полностью занимают ошибки кратности $d = 3$. Общее число ошибок сохраняется. Таким образом, в модифицированном коде $\Omega^*(8, 5)$ нет необнаруживаемых ошибок кратностей $d \leq 2$ (табл. 5).

Таблица 5

Перераспределение информационных векторов в коде $\Omega^*(8, 5)$

Группа V	Код								Всего
	0	1	2	3	4	5	6	7	
Информационные векторы	00000	00001	00011	00010	01001	01000	01010	01011	8 групп по 4 вектора
	00111	00110	00100	00101	01110	01111	01101	01100	
	11001	11000	11010	11011	10000	10001	10011	10010	
	11110	11111	11101	11100	10111	10110	10100	10101	
Число необнаруживаемых ошибок кратности $d = 3$	8	8	8	8	8	8	8	8	64
Число необнаруживаемых ошибок кратности $d = 4$	4	4	4	4	4	4	4	4	32
Всего необнаруживаемых искажений в группе	12	12	12	12	12	12	12	12	96

Выписывая дизъюнктивную совершенную нормальную форму функций контрольных разрядов нового кода $\Omega^*(8, 5)$, получаем систему:

$$\begin{cases} \alpha_1 = x_4 \oplus x_5; \\ \alpha_2 = x_2 \oplus x_3; \\ \alpha_3 = x_1 \oplus x_2 \oplus x_4. \end{cases} \quad (6)$$

Код с числом информационных разрядов $m = 5$ можно построить и при меньшем числе контрольных разрядов $k -$ код $\Omega^*(7, 5)$. Контрольные разряды такого кода могут быть описаны следующими выражениями:

$$\begin{cases} \alpha_1 = x_3 \oplus x_4 \oplus x_5; \\ \alpha_2 = x_1 \oplus x_2 \oplus x_3. \end{cases} \quad (7)$$

2 Сравнение свойств по обнаружению ошибок $\Omega(n, m)$ -кодов и кодов с суммированием

Сравним обнаруживающие способности новых кодов $\Omega(n, m)$ и $\Omega^*(n, m)$ с некоторыми известными разделимыми кодами, используемыми в схемах функционального контроля. Для сравнения выберем коды Бергера ($S(n, m)$ -коды) и модифицированные коды с суммированием ($RSM(n, m, \alpha)$ -коды). Правила образования обозначенных кодов изложены в [7], [8].

В табл. 6 и 7 даны коды с длиной информационного вектора $m = 4$ и $m = 5$ соответственно.

Таблица 6

Коды с длиной информационного вектора $m = 4$

Код	Коды с длиной информационного вектора $m = 4$						Всего необнаруживаемых ошибок	Коэффициент эффективности, ξ		
	Число необнаруживаемых ошибок кратности d			Доля необнаруживаемых ошибок кратности d от общего числа ошибок той же кратности						
	$d = 2$	$d = 3$	$d = 4$	β_2	β_3	β_4				
$S(7, 4)$	48	0	6	0,5	0	0,375	54	1,125		
$\Omega(6, 4)$	48	0	0	0,5	0	0	48	1		
$\Omega^*(6, 4)$	16	32	0	0,167	0,5	0	48	1		
$RS2(6, 4, 1)$	48	0	0	0,5	0	0	48	1		
$RS2(6, 4, 2)$	32	0	16	0,333	0	1	48	1		

Таблица 7

Коды с длиной информационного вектора $m = 5$

Код	Коды с длиной информационного вектора $m = 5$						Всего необнаруживаемых ошибок	Коэффициент эффективности, ξ		
	Число необнаруживаемых ошибок кратности d			Доля необнаруживаемых ошибок кратности d от общего числа ошибок той же кратности						
	$d = 2$	$d = 3$	$d = 4$	β_2	β_3	β_4				
$S(8, 5)$	160	0	60	0,5	0	0,375	220	2,292		
$\Omega(8, 5)$	64	0	32	0,2	0	0,2	96	1		
$\Omega^*(8, 5)$	0	64	32	0	0,2	0,2	96	1		
$RS4(8, 5, 1)$	96	0	16	0,3	0	0,1	112	1,167		
$RS4(8, 5, 2)$	64	0	48	0,2	0	0,3	112	1,167		
$\Omega(7, 5)$	128	0	96	0,4	0	0,6	224	1		
$\Omega^*(7, 5)$	64	128	32	0,2	0,4	0,2	224	1		
$RS2(7, 5, 1)$	192	0	32	0,6	0	0,2	224	1		
$RS2(7, 5, 2)$	128	0	96	0,4	0	0,6	224	1		

При одинаковом числе контрольных разрядов и общем количестве необнаруживаемых искажений код $\Omega(6, 4)$ по своим характеристикам подобен коду $RS2(6, 4, 1)$ и представляется худшим в сравнении с $RS2(6, 4, 2)$ кодом за счет большего количества необнаруживаемых ошибок меньшей кратности. Модификация – код $\Omega^*(6, 4)$ – за счет перераспределения ошибок и сдвига их числа в сторону большей кратности обладает улучшенными характеристиками в сравнении со всеми рассмотренными кодами.

Среди рассматриваемых в табл. 7 кодов с длиной контрольного вектора, равной $k = 3$, коды $\Omega(8, 5)$ и $\Omega^*(8, 5)$ имеют меньше всего необнаруживаемых ошибок. Сравнивая их между собой, отметим качественный приоритет кода $\Omega^*(8, 5)$ над $\Omega(8, 5)$ за счет полного отсутствия двукратных необнаруживаемых искажений.

В последних столбцах табл. 6 и 7 даны коэффициенты эффективности кодов, определенные как отношения числа необнаруживаемых ошибок во взятом коде к некоторому эталонному значению (им обладают коды $\Omega(n, m)$ и $\Omega^*(n, m)$, т. к. содержат минимальное число необнаруживаемых искажений при заданном k):

$$\xi = \frac{N_n}{N_\Omega}. \quad (8)$$

Зная доли необнаруживаемых искажений заданной кратности d от общего числа искажений той же кратности (табл. 6 и 7) и принимая допущение о равновероятности появления информационных векторов кодов, а также о независимости искажений каждого разряда, можно определить вероятность возникновения необнаруживаемой ошибки в информационных векторах кодов [9]:

$$Q_m = \sum_{d \in D} Q_{m,d} = \sum_{d \in D} \beta_d C_m^d p^{m-d} (1-p)^d, \quad (9)$$

где p – вероятность отсутствия искажения одного информационного разряда;

D – множество кратностей необнаруживаемых искажений.

Рассчитанные вероятности возникновения необнаруживаемых искажений приведены в табл. 8. Новые коды при модификации (любые $\Omega^*(n, m)$ -коды) обладают минимальными вероятностями возникновения необнаруживаемых искажений, в том числе искажений малой кратности $d = 2$.

Таблица 8

Вероятностные характеристики кодов

Код	$Q_{m,d}$			Q_m
	$d = 2$	$d = 3$	$d = 4$	
1	2	3	4	5
$S(7, 4)$	0,0243	0	0,0000375	0,0243375
$\Omega(6, 4)$	0,0243	0	0	0,0243
$\Omega^*(6, 4)$	0,0081	0,0018	0	0,0099
$RS2(6, 4)\text{-a1}$	0,0243	0	0	0,0243
$RS2(6, 4)\text{-a2}$	0,0162	0	0,0001	0,0163
$S(8, 5)$	0,03645	0	0,00016875	0,0366188

Окончание табл. 8

1	2	3	4	5
$\Omega(8, 5)$	0,01458	0	0,00009	0,01467
$\Omega^*(8, 5)$	0	0,00162	0,00009	0,00171
$RS4(8, 5)\text{-}\alpha_1$	0,02187	0	0,000045	0,021915
$RS4(8, 5)\text{-}\alpha_2$	0,01458	0	0,000135	0,014715
$\Omega(7, 5)$	0,02916	0	0,00027	0,02943
$\Omega^*(7, 5)$	0,01458	0,00324	0,00009	0,01791
$RS2(7, 5)\text{-}\alpha_1$	0,04374	0	0,00009	0,04383
$RS2(7, 5)\text{-}\alpha_2$	0,02916	0	0,00027	0,02943

3 Тестеры $\Omega(n, m)$ -кодов

В схеме функционального контроля элементом, осуществляющим проверку соответствия появляющихся векторов некоторому, заранее выбранному коду, является тестер [1], [2], [10]. Рассмотрим синтез тестеров для кодов $\Omega^*(n, m)$.

Поскольку код $\Omega^*(n, m)$ – разделимый, тестер легко представляется в виде классической структуры совокупности генератора и компаратора (рис. 1), применимой в любой схеме функционального контроля, полученной по методу вычисления контрольных разрядов [10]. Генератор по значениям информационных разрядов, выступающих в схеме функционального контроля в качестве выходов контролируемого логического устройства, вычисляет функции a_1, a_2, \dots, a_k . В свою очередь эти же функции формируются блоком дополнительной логики. Компаратор проводит сравнение функций. В случае совпадения одноименных a_i на выходах компаратора z_1 и z_2 формируется парафазный сигнал $<01>$ или $<10>$. В противном случае (если действует помеха) парафазность нарушается.

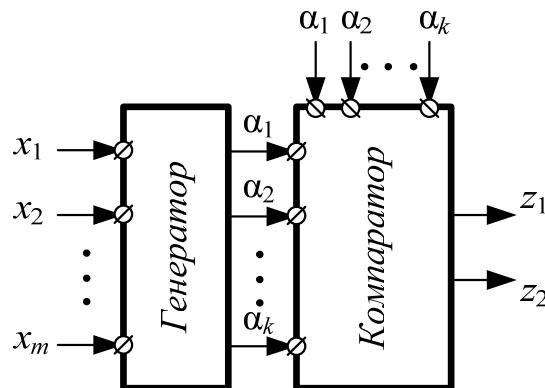


Рис. 1 Схема тестера

Компаратор строится на основе каскадного соединения самопроверяемых модулей сравнения парафазных сигналов *TRC* (*two-rail checker*) по аналогии с тестерами кодов с суммированием [11]. Генератор синтезируется по линейным функциям, описывающим контрольные разряды (см. формулы (3)–(7)). Используются сумматоры по модулю два (*mod 2*). Синтез по такому принципу позволяет получать самопроверяемые тестеры для кодов $\Omega^*(n, m)$. На рис. 2 в качестве примера приводится тестер кода $\Omega^*(8, 5)$.

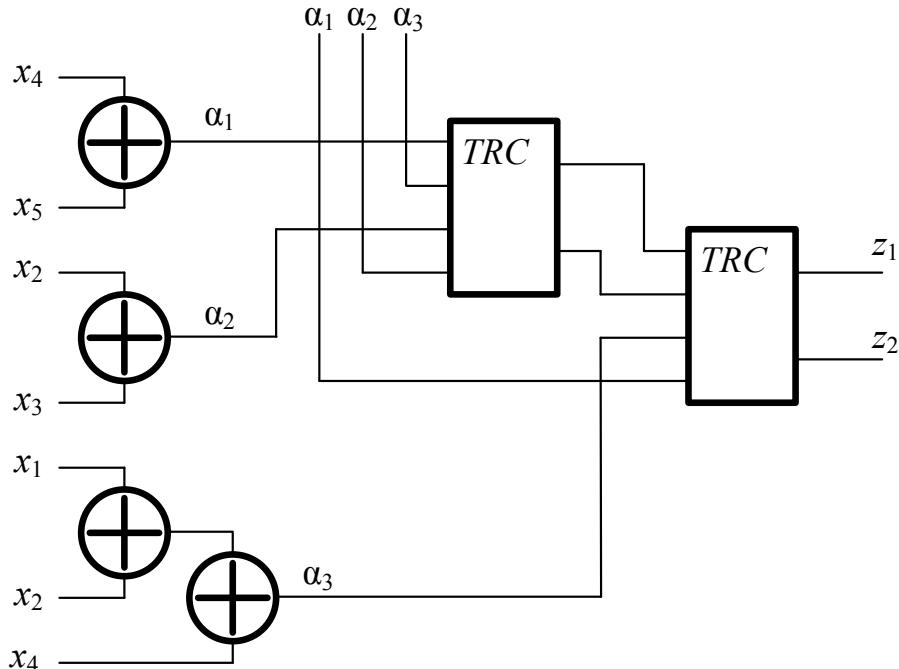


Рис. 2 Схема тестера кода $\Omega^*(8, 5)$

Заключение

Завершая изложение, отметим, что полученные в настоящей работе новые разделимые коды $\Omega(n, m)$ и $\Omega^*(n, m)$ позволяют организовывать схемы функционального диагностирования, обладающие улучшенными характеристиками по обнаружению искажений в контролируемых выходах комбинационных логических устройств.

Библиографический список

1. Сапожников В. В. Основы технической диагностики / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – М. : Маршрут, 2004. – 316 с. – ISBN 5-89035-123-0.
2. Lala P. K. Self-checking and Fault-tolerant Digital Design / University of Arkansas, 2001. – 216 p. – ISBN 0124343708.
3. Berger J. M. A note on error detection codes for asymmetric channels / Information and Control. – 1961. – 4, № 3. – Pp. 68–73.

4. Сапожников В. В. Предельные свойства кода с суммированием / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2010. – Вып. 3. – С. 290–299. – ISSN 1815-588 X.
5. Concurrent Error Detection Based on New Code with Modulo Weighted Transitions between Information Bits / V. Mehov, V. Saposhnikov, Vl. Saposhnikov, D. Urganskov // IEEE East-West Design&Test Workshop (EWDTW 07), Yerevan, Armenia. – 2007. – Pp. – 21–26.
6. Мехов В. Б. Контроль комбинационных схем на основе модифицированных кодов с суммированием / В. Б. Мехов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2008. – № 8. – С. 153–165. – ISSN 0005-2310.
7. Блюдов А. А. Модифицированный код с суммированием для организации контроля комбинационных схем / А. А. Блюдов., В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2012. – № 1. – С. 169–177.– ISSN 0005-2310.
8. Ефанов Д. В. О свойствах кода с суммированием в схемах функционального контроля / Д. В. Ефанов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2010. – № 6. – С. 155–162. – ISSN 0005-2310.
9. Сапожников В. В. Вероятностные свойства кода с суммированием в схемах функционального контроля / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Автоматика и телемеханика железных дорог России. Техника, технология, сертификация : Сб. науч. трудов. – СПб. : ПГУПС, 2011. – С. 3–13. – ISBN 978-5-7641-0030-2.
10. Сапожников В. В. Самопроверяемые дискретные устройства / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 224 с. – ISBN 5-283-04605-2.
11. Мельников А. Г. Синтез самопроверяющихся тестеров для кодов с суммированием / А. Г. Мельников, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Проблемы передачи информации. – Т. XXII. – 1986. – № 2. – С. 85–97.

П. А. Плеханов

Обеспечение безопасной передачи данных в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи

Все системы передачи данных, используемые сегодня в контуре безопасного управления движением поездов (в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи – ЖАТС) как на отечественных, так и на зарубежных железных дорогах, можно разделить на два больших класса – «закрытые» и «открытые» системы [1].

Закрытой системой передачи данных (closed transmission system) является система, объединяющая установленное количество (или установленное максимальное количество) участников и обладающая фиксированными и хорошо известными возможностями, в которой риск несанкционированного доступа считается пренебрежимо малым. *Открытая система* передачи данных (open transmission system) представляет собой систему, объединяющую неизвестное количество участников и имеющую неизвестные, непостоянны и неподтвержденные возможности по предоставлению услуг связи, при использовании которой следует оценить риск несанкционированного доступа.

Таким образом, в случае организации передачи данных в системах ЖАТС с помощью собственной железнодорожной телекоммуникационной сети (например, при помощи сетей радиосвязи стандартов GSM-R и TETRA, сетей проводной и радиосвязи собственных уникальных стандартов) мы имеем дело с закрытой системой передачи данных. В случае же использования каналов связи сетей коммерческих операторов (например, сетей сотовой связи стандарта GSM) имеет место открытая система передачи данных.

Рассмотрим основные угрозы и способы их устранения при использовании открытых систем связи как наиболее уязвимых с точки зрения возникновения опасных событий [2], [3].

Каждая угроза может быть рассмотрена как набор опасных событий, ее создающих. Идентифицировав опасные события, необходимо построить зависимость между ними и возможными угрозами. Это делается для подтверждения отсутствия дополнительных угроз и проверки корректности применения принятого подхода. Зависимость (матрица) «Опасные события/Угрозы» может быть представлена в виде табл. 1.

Таблица 1

Матрица «Опасные события/Угрозы»

Опасные события	Угрозы						
	Повторение сообщения	Удаление сообщения	Вставка сообщения	Переупорядочение сообщения	Искажение сообщения	Задержка сообщения	Подмена сообщения
Систематические отказы аппаратных средств	X	X	X	X	X	X	X ¹⁾
Систематические отказы программных средств	X	X	X	X	X	X	X ¹⁾
Помехи по соседнему каналу		X	X		X		X ¹⁾
Обрыв проводов		X			X	X	
Расстройка антенн		X			X		
Ошибки коммутации кабельной сети		X	X		X	X	X ¹⁾
Случайные отказы аппаратных средств	X	X	X	X	X	X	X ¹⁾
Старение аппаратных средств	X	X	X	X	X	X	X ¹⁾
Использование некалиброванных (непроверенных) инструментов	X	X	X	X	X	X	X ¹⁾
Использование инструментов не по назначению	X	X	X	X	X	X	X ¹⁾
Неправильная замена аппаратных средств	X	X	X	X	X	X	X ¹⁾
Эффекты замирания сигнала		X		X	X	X	
Электромагнитные помехи		X			X		
Ошибки человека	X	X	X	X	X	X	X ¹⁾
Тепловой шум		X			X		
Магнитные бури		X			X	X	
Пожары		X			X	X	
Землетрясения		X			X	X	
Грозовые разряды		X			X	X	
Перегрузка системы связи		X				X	
Подслушивание телефонных разговоров с помощью специальных устройств	X	X	X	X	X	X	X ¹⁾
Повреждение или разрушение аппаратных средств		X			X	X	
Недопустимые модификации программного обеспечения	X	X	X	X	X	X	X ²⁾
Передача неразрешенных сообщений	X		X				X ²⁾
Мониторинг каналов ³⁾							

Примечания.

1. В этом случае правильное сообщение передается по неверному адресу; возможным противодействием является задание адреса отправителя.

2. В этом случае сообщение является мошенническим с самого начала; необходима серьезная защита, например, использование ключа.

3. Опасное событие «мониторинг каналов» само по себе угрозы не представляет; угрозой могут быть последствия раскрытия полученной при мониторинге информации, а это – предмет требований по секретности конкретного применения открытой системы связи.

Для снижения риска [4], связанного с выявленными угрозами, должны быть рассмотрены и применены в той степени, которая диктуется спецификой конкретного приложения, следующие функции обеспечения безопасности:

- проверка достоверности сообщения – состояния информации, в котором она может быть использована по назначению и известен источник ее происхождения;
- проверка целостности сообщения – состояния полноты и неизменности информации;
- проверка своевременности сообщения – состояния информации, определяющего ее доступность в срок и в соответствии с требованиями;
- проверка упорядоченности потока сообщений.

При доказательстве безопасности должно быть показано, что в соответствии с матрицей «Угрозы/Меры защиты» (табл. 2) для каждой возможной угрозы предусмотрено противодействие в виде одного или нескольких средств защиты.

Таблица 2

Матрица «Угрозы/Меры защиты»

Угрозы	Меры защиты							
	Порядковый номер	Метка времени	Интервал между сообщениями	Идентификаторы передающего и приемного устройств	Квитирование принятого сообщения	Процедура идентификации сообщения	Код безопасности	Методы криптографической защиты
Повторение сообщения	X	X						
Удаление сообщения	X							
Вставка сообщения	X			X ²⁾	X ¹⁾	X ¹⁾		
Переупорядочение сообщений	X	X						
Искажение сообщения							X ³⁾	X
Задержка сообщения		X	X					
Подмена сообщения					X ¹⁾	X ¹⁾		X ³⁾

Примечания.

1. Зависит от специфики приложения.
2. Применимо только к идентификатору источника. Детектирование вставки сообщения только от неверного источника. Если уникальный идентификатор не может быть определен из-за того, что пользователь неизвестен, то следует пользоваться методами криптографической защиты.
3. Выбор и применение кодов безопасности и методов криптографической защиты должны осуществляться в соответствии:
 - с наличием или отсутствием возможности управления несанкционированным доступом;
 - типом используемого криптографического кодирования;
 - наличием или отсутствием изолированности безопасного процесса защиты доступа к системе связи от безопасного прикладного процесса.

Существует много возможных факторов, которые необходимо учитывать при рассмотрении реальных систем связи, поскольку ими определяются решения по противодействию идентифицированным угрозам. Возможно, например, что система железнодорожной сигнализации использует канал передачи данных корпоративного или коммерческого оператора в соответствии с договором, условиями которого ограничивается ответственность этого оператора. Важна также степень защиты информации, уже реализованная в используемой сети. От этого в значительной степени может зависеть значимость угроз для пользовательских данных, а следовательно, и требования к мерам защиты.

В табл. 3 приведена возможная классификация реальных систем связи, а в табл. 4 – предварительная оценка угроз, возможных для каждого класса.

Таблица 3

Классы систем связи

Класс	Основные характеристики	Примеры
1	2	3
Класс 1	Все свойства известны и остаются постоянными в течение всего срока службы. Одна пользовательская группа.	Частные местные сети, сети PROFIBUS (Process Fieldbus – спецификация открытой высокоскоростной шины для цифрового технологического оборудования) и MVB (Multipurpose Vehicle Bus – многоцелевая транспортная шина), не меняющие своих характеристик в течение всего срока службы.
Класс 2	Некоторые свойства известны и остаются постоянными в течение всего срока службы. Ограниченнная зона связевого покрытия. Ограничения на хранение данных по объему и сроку. Одна пользовательская группа.	Такие же, как и в классе 1, но существует возможность замены одной системы связи на другую в течение срока службы.
Класс 3	Некоторые свойства известны и остаются постоянными в течение всего срока службы. Ограниченнная зона связевого покрытия. Практически отсутствуют ограничения на хранение данных по объему и сроку. Известны многочисленные пользовательские группы.	Сети LAN (Local Area Network – локальная (вычислительная) сеть).

Окончание табл. 3

1	2	3
Класс 4	Свойства неизвестны и/или меняются в течение срока службы. Использование только сетей с известными возможностями по защите данных. Известны многочисленные пользовательские группы.	Сети WAN (Wide Area Network – глобальная или региональная (вычислительная) сеть), принадлежащие железным дорогам.
Класс 5	Свойства неизвестны и/или меняются в течение срока службы. Использование сетей с не всегда известными возможностями по защите данных. Многочисленные пользовательские группы.	Сети PTN (Public Telephone Network – телефонная сеть общего пользования), используемые в непредсказуемые моменты времени.
Класс 6	Свойства неизвестны и/или меняются в течение срока службы. Использование общественной сети связи. Редкие ошибки. Многочисленные пользовательские группы.	Сети PTN.
Класс 7	Свойства неизвестны и/или меняются в течение срока службы. Использование сети связи общего пользования. Частые ошибки.	Сеть Интернет.

Таблица 4

Матрица «Класс системы/Угрозы»

Класс системы	Угрозы						
	Повторение сообщения	Удаление сообщения	Вставка сообщения	Переупорядочение сообщения	Искажение сообщения	Задержка сообщения	Подмена сообщения
Класс 1	++	++	+	+	++	++	-
Класс 2	++	++	++	+	++	++	-
Класс 3	++	++	++	++	++	++	-
Класс 4	++	++	++	++	++	++	-
Класс 5	++	++	++	++	++	++	-
Класс 6	++	++	++	++	++	++	+
Класс 7	++	++	++	++	++	++	++

Обозначения.

- Угрозой можно пренебречь.
- + Угроза существует, но появляется редко; эффективны простые меры по защите данных.
- ++ Угроза существует; для эффективного противодействия требуются комплексные меры защиты данных.

Представленная выше степень обобщения не позволяет сопоставить класс системы связи с тем или иным уровнем полноты безопасности и мерами защиты, необходимыми для противодействия угрозам в этом классе систем. Для этого необходимо детально рассматривать специфику конкретного приложения.

Библиографический список

1. *Плеханов П.А.* Вопросы обеспечения безопасности железнодорожных телекоммуникационных систем международных транспортных коридоров / П. А. Плеханов // Бюллетень результатов научных исследований. – 2012. – № 3 (2). – С. 85–97.
2. *BS EN 50159:2010 Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Safety-related communication in transmission systems.* – М. : ФГУП «Стандартинформ», 2010. – 68 с.
3. *Ефанов Д. В.* Обеспечение безопасности движения за счет технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов, П. А. Плеханов // Транспорт Урала. – 2011. – № 3 (30). – С. 44–48.
4. *Ефанов Д. В.* Непрерывное диагностирование устройств СЦБ / Д. В. Ефанов, П. А. Плеханов // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 6. – С. 18–20.

В. М. Чухонин, канд. техн. наук
Г. В. Осадчий

Алгебраические преобразования в парафазных автоматах

Построение современных систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) на компьютерной элементной базе становится общепринятой нормой. Среди многочисленных задач, решаемых разработчиками таких систем, является повышение надежности программного обеспечения (ПО). Одно из направлений решения поставленной задачи – это использование самопроверяемых программ, базирующихся на достижениях в области аппаратной реализации [1], [2].

По мнению авторов, использование самопроверяемых парафазных автоматов для программной реализации весьма перспективно.

В работах [3], [4] рассмотрены методы синтеза парафазных автоматов при схемной реализации, однако вопрос получения алгебраического описания парафазного автомата, необходимого для программной реализации, минуя описание по схеме, не рассмотрен.

В парафазных схемах для представления двоичной переменной X в парафазном виде выделяются две фазы–линии: единичная линия с обозначением (X^1) и нулевая линия (X^0).

Ставится вопрос, в каком отношении находятся X^1 , X^0 и значения переменной X в ее прямом и инверсном виде в функциях алгебры логики (ФАЛ).

Рассмотрим схему (рис. 1), которая показывает преобразование однофазного сигнала в парафазный.

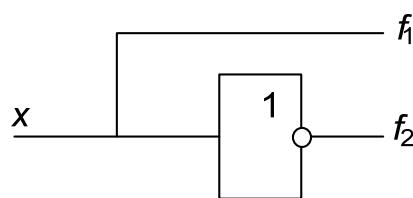


Рис. 1 Преобразование однофазного сигнала в парафазный

В соответствии с рис. 1 $f_1 = x$, $f_2 = \bar{x}$.

В табл. 1 приведено поведение схемы, представленной на рис. 1, при задании логических сигналов переменной X . В табл. 2 показано, как кодируется логическая «1» и логический «0» в парафазной логике [3].

Таблица 1

X	f_1	f_2
0	0	1
1	1	0

Таблица 2

X	X^1	X^0
0	0	1
1	1	0

Табл. 1 и 2 эквивалентны. Таким образом, логично сделать вывод, что имеет место следующее соотношение:

$$X \rightarrow \begin{cases} x = x^1; \\ \bar{x} = x^0. \end{cases} \quad (1)$$

Прямое значение переменной X равно единичной фазе X^1 , а инверсное значение переменной \bar{x} равно нулевой фазе X^0 .

Особенность парафазной схемы состоит в следующем: значения на единичном (f^1) и на нулевом (f^0) выходах являются инверсными при наличии парафазных сигналов на входах схемы, а сама схема исправна.

В дальнейшем будем рассматривать ФАЛ, заданные в виде дизъюнктивной нормальной формы (ДНФ). Очевидно, что ДНФ отражает поведение ФАЛ на множестве наборов, на которых выходной сигнал равен «1». Инверсное значение ДНФ (ОДНФ) равно «0» на том же множестве входных наборов, при которых ДНФ равна «1», и наоборот.

Следовательно, если в ДНФ и ОДНФ заменить входные переменные (буквы), которые могут быть в прямом и инверсном виде, на их эквивалентные значения в парафазном представлении, то ДНФ будет соответствовать единичной функции (f^1), а ОДНФ – нулевой функции (f^0) в парафазных схемах.

Например, $f = x_1 \bar{x}_2 x_3 \vee x_4 x_5$,

$$\bar{f} = \bar{x}_1 \bar{x}_4 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_5 \vee x_2 \bar{x}_4 \vee x_2 \bar{x}_5 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_4 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_5.$$

Запишем входные переменные в их парафазном представлении, тогда:

$$f^1 = x_1^1 x_2^0 x_3^1 \vee x_4^1 x_5^1;$$

$$f^0 = x_1^0 x_4^0 \vee x_1^0 x_5^0 \vee x_2^1 x_4^0 \vee x_2^1 x_5^0 \vee x_3^0 x_4^0 \vee x_2^0 x_5^0.$$

Функции f^1 и f^0 представляют собой алгебраическую парафазную запись исходной функции f .

В [3] приведен пример схемы (рис. 2), построенной на парафазных элементах в базисе {И, ИЛИ, НЕ} по формуле

$$f = \overline{x_1 \vee x_2 \cdot x_3 \cdot x_4}. \quad (2)$$

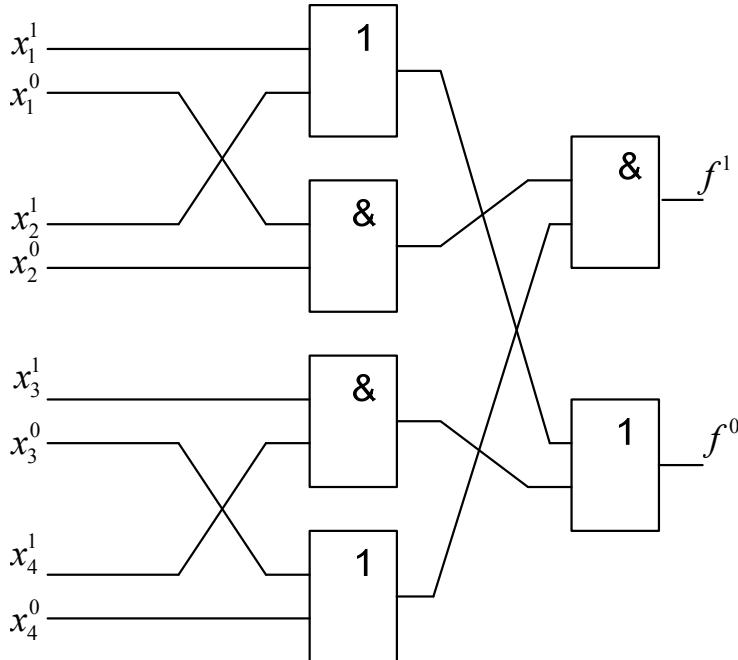


Рис. 2 Схема по функции (2)

По этой схеме можно записать формулы для f^1 и f^0 :

$$f^1 = x_1^0 x_2^0 x_3^0 \vee x_1^0 x_2^0 x_4^0; \quad (3)$$

$$f^0 = x_1^1 \vee x_2^1 \vee x_3^1 x_4^1. \quad (4)$$

Поставим задачу: получить формулы, эквивалентные (3) и (4), путем алгебраических преобразований, рассмотренных выше.

Имеем:

$$f = \overline{x_1 \vee x_2} \cdot \overline{x_3 x_4} = \overline{x_1} \overline{x_2} (\overline{x_3} \vee \overline{x_4}) = \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} \vee \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_4}; \quad (5)$$

$$\overline{f} = \overline{\overline{x_1 \vee x_2} \cdot \overline{x_3 x_4}} = \overline{\overline{x_1} \vee \overline{x_2}} \vee \overline{\overline{x_3} \overline{x_4}} = x_1 \vee x_2 \vee x_3 x_4. \quad (6)$$

Проведем замену входных переменных на их парафазные представления в формулах (5) и (6) и получим f^1 и f^0 , представленные в формулах (7) и (8):

$$f^1 = x_1^0 x_2^0 x_3^0 \vee x_1^0 x_2^0 x_4^0; \quad (7)$$

$$f^0 = x_1^1 \vee x_2^1 \vee x_3^1 x_4^1. \quad (8)$$

Сравнение формул (3) и (7), (4) и (8) показывает, что они эквивалентны. Это подтверждает правильность подхода для получения алгебраической формы записи парафазных реализаций.

По формулам (7) и (8) на рис. 3 построена парафазная схема, не содержащая парафазных логических элементов.

Теперь необходимо показать, что полученные формулы обладают свойством самопроверки, как и реализация на парафазных элементах. Для этого надо знать, что является тестом парафазной схемы.

Рассмотрим таблицу истинности (ТИ) функции «И» в однофазном виде (табл. 3); в табл. 4 представлена ТИ функции «И» в парафазном виде. Для перехода от табл. 3 к табл. 4 каждый входной и выходной сигнал табл. 3 заменен своим парафазным представлением.

Таблица 3

X_1	X_2	f
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Таблица 4

X_1	X_2	f
$x_1^1 x_1^0$	$x_2^1 x_2^0$	$f^1 f^0$
01	01	01
01	10	01
10	01	01
10	10	10

Очевидно, что табл. 3 является тривиальным тестом для однофазного представления функции «И», а табл. 4 – тривиальным тестом парафазной функции «И». Справедливость этого утверждения строится на том, что каждый парафазный сигнал является следствием однофазного сигнала (см. рис. 1), поэтому длина парафазного теста определяется той же формулой, что и для однофазных схем: 2^n , где n – число однофазных входов (в однофазных схемах (формулах) либо количество парафазных входов (в парафазных схемах (формулах).

Следовательно, алгебраическая запись парафазной функции по формулам (7) и (8) (схема рис. 3) обладает свойством самопроверки, как и парафазная схема (см. рис. 2), построенная на парафазных элементах И, ИЛИ, НЕ, что обеспечивается подачей тривиального теста на входы для схем рис. 2 и 3.

Рассмотрим еще один способ получения парафазных ФАЛ по парафазной ТИ в виде дизъюнктивной совершенной нормальной формы (ДСНФ) или конъюнктивной совершенной нормальной формы (КСНФ).

Табл. 5 – это таблица истинности функции (2), а в табл. 6 содержатся ее парафазные представления.

Получим алгебраическую запись функции f^1 как ДСНФ, а f^0 – как КСНФ, используя парафазную ТИ (табл. 6).

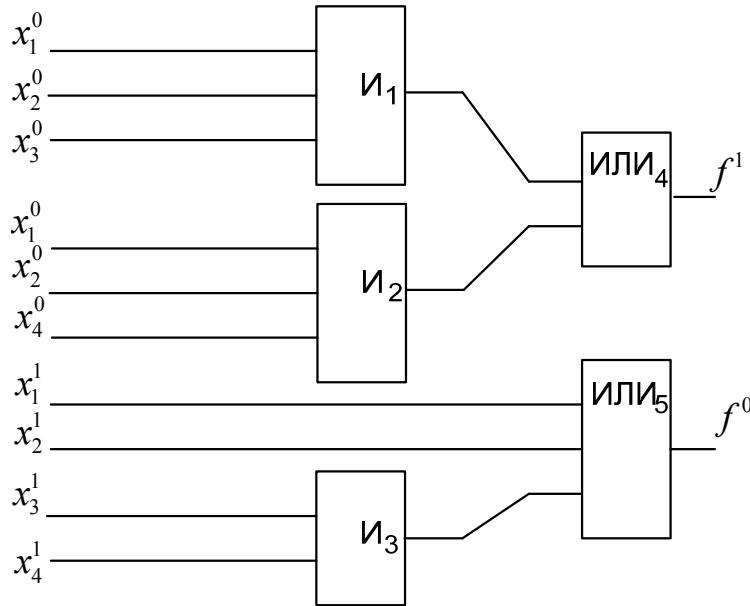


Рис. 3 Схема, построенная по формулам (7) и (8)

Таблица 5

№	X_4	X_3	X_2	X_1	f
0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0
3	0	0	1	1	0
4	0	1	0	0	1
5	0	1	0	1	0
6	0	1	1	0	0
7	0	1	1	1	0
8	1	0	0	0	1
9	1	0	0	1	0
10	1	0	1	0	0
11	1	0	1	1	0
12	1	1	0	0	0
13	1	1	0	1	0
14	1	1	1	0	0
15	1	1	1	1	0

Таблица 6

№	X_4	X_3	X_2	X_1	f
	$x_4^1 x_4^0$	$x_3^1 x_3^0$	$x_2^1 x_2^0$	$x_1^1 x_1^0$	$f^1 f^0$
0	01	01	01	01	10
1	01	01	01	10	01
2	01	01	10	01	01
3	01	01	10	10	01
4	01	10	01	01	10
5	01	10	01	10	01
6	01	10	10	01	01
7	01	10	10	10	01
8	10	01	01	01	10
9	10	01	01	10	01
10	10	01	10	01	01
11	10	01	10	10	01
12	10	10	01	01	01
13	10	10	01	10	01
14	10	10	10	01	01
15	10	10	10	10	01

Тогда для функции f^1 имеем:

$$f^1 = \overline{x_4^1} x_4^0 \overline{x_3^1} x_3^0 \overline{x_2^1} x_2^0 \overline{x_1^1} x_1^0 \vee \overline{x_4^1} x_4^0 x_3^1 \overline{x_3^0} \overline{x_2^1} x_2^0 \overline{x_1^1} x_1^0 \vee \\ \vee x_4^1 \overline{x_4^0} \overline{x_3^1} x_3^0 \overline{x_2^1} x_2^0 \overline{x_1^1} x_1^0.$$

Исходя из того, что $\overline{x_1^1} = x_1^0$; $\overline{x_2^1} = x_2^0$; $\overline{x_3^1} = x_3^0$; $\overline{x_4^1} = x_4^0$; $\overline{x_1^0} = x_1^1$; $\overline{x_2^0} = x_2^1$; $\overline{x_3^0} = x_3^1$; $\overline{x_4^0} = x_4^1$ следует:

$$f^1 = (x_4^0 x_4^0)(x_3^0 x_3^0)(x_2^0 x_2^0)(x_1^0 x_1^0) \vee (x_4^0 x_4^0)(x_3^1 x_3^1)(x_2^0 x_2^0)(x_1^1 x_1^1) \vee \\ \vee (x_4^1 x_4^1)(x_3^0 x_3^0)(x_2^0 x_2^0)(x_1^0 x_1^0).$$

Упрощая выражение и действуя в соответствии с законами алгебры логики, приходим к следующим преобразованиям вышеприведенной ФАЛ:

$$f^1 = (x_4^0 x_3^0 x_2^0 x_1^0 \vee x_4^0 x_3^1 x_2^0 x_1^0 \vee x_4^1 x_3^0 x_2^0 x_1^0) = x_1^0 x_2^0 x_3^0 \vee x_1^0 x_2^0 x_4^0. \quad (9)$$

Формула (9) соответствует формуле (7).

Для функции f^0 имеют место аналогичные преобразования, как и для формулы (9). Выполнив их, получаем:

$$f^0 = x_1^1 \vee x_2^1 \vee x_3^1 x_4^1. \quad (10)$$

Формула (10) соответствует формуле (8).

Таким образом, справедливо равенство формул (3), (7) и (9), а также (4), (8) и (10).

Рассмотрим получение алгебраической парофазной реализации элементарных ФАЛ от двух переменных по парофазной ТИ на примере функции «исключающее ИЛИ» (модуля сравнения [3], показанного на рис. 4). Произведем замену:

$$\alpha_1 \rightarrow x_1^1; \alpha_2 \rightarrow x_1^0; \beta_1 \rightarrow x_2^1; \beta_2 \rightarrow x_2^0; z_1 \rightarrow f^0; z_2 \rightarrow f^1.$$

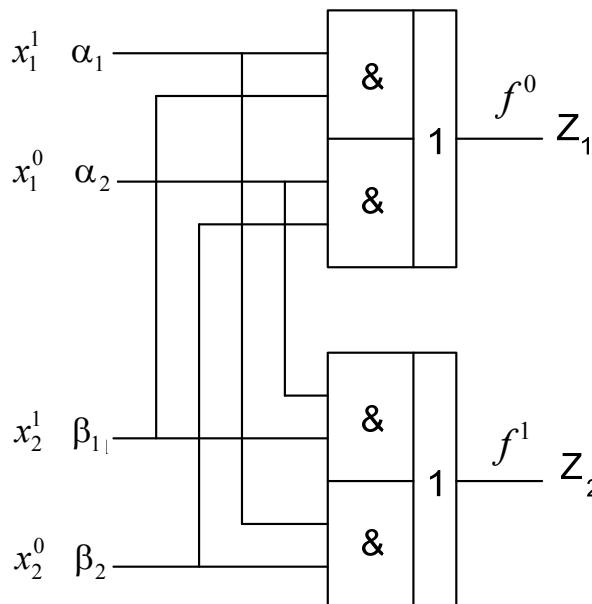


Рис. 4 Модуль сравнения парофазных сигналов

По схеме рис. 4 запишем формулы для f^1 , f^0 , тогда:

$$f^0 = z_1 = x_1^1 x_2^1 \vee x_1^0 x_2^0; \quad (11)$$

$$f^1 = z_2 = x_1^0 x_2^1 \vee x_1^1 x_2^0. \quad (12)$$

В табл. 7 представлена ТИ функции исключающего «ИЛИ» (сложения по модулю два) в парафазном виде.

Таблица 7

X_1	X_2	f
$x_1^1 x_1^0$	$x_2^1 x_2^0$	$f^1 f^0$
01	01	01
01	10	10
10	01	10
10	10	01

Запишем f^1 , f^0 в виде СДНФ по табл. 8 тогда:

$$f^0 = x_1^1 x_2^1 \vee x_1^0 x_2^0; \quad (13)$$

$$f^1 = x_1^0 x_2^1 \vee x_1^1 x_2^0. \quad (14)$$

Сравнение формул (11) и (13), (12) и (14) показывает, что они совпадают, т. е. алгебраическая парафазная запись однозначно описывает известный модуль сравнения.

Анализ других элементарных ФАЛ [3, табл. 2.4] показывает, что если их ТИ представить в парафазном виде, получить алгебраическую запись в парафазном виде и реализовать в виде логических схем (как это сделано для функции исключающего ИЛИ), то получаем еще 9 вариантов модулей сравнения парафазных сигналов. Это функции $f_1, f_2, f_4, f_7, f_8, f_9, f_{11}, f_{13}, f_{14}$ (см. [3, табл. 2.4]).

Сформулируем **выводы** по проделанной работе.

1. Парафазная реализация однотактных автоматов может быть получена:

- в виде схемы (при использовании парафазной реализации И, ИЛИ, НЕ);
- путем алгебраических преобразований по ДНФ и ОДНФ;
- по парафазной ТИ в виде ДСНФ или КСНФ.

2. Алгебраическая форма задания парафазных функций позволяет построить самопроверяющую схему, не используя парафазные элементы.

3. Алгебраическая запись однотактных автоматов в парафазном виде позволяет использовать эти автоматы в программных реализациях алгоритмов управления (например, используя метод непосредственного вычисления булевых функций [5]) для повышения надежности ПО.

4. Предложено 9 новых вариантов модулей сравнения парафазных сигналов.

Библиографический список

1. *Майерс Г.* Искусство тестирования программ / Г. Майерс. – М. : Финансы и статистика, 1982. – 174 с.
2. *Браун К.* Быстрое тестирование / К. Браун, Р. Калбертсон, Г. Кобб. – СПб. : «Вильямс», 2002. – 384 с.
3. *Сапожников В. В..* Теория дискретных устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / В. В. Сапожников, Ю. А. Кравцов, Вл. В. Сапожников. – М., 2001. – 307 с.
4. *Сапожников В. В.* Синтез самодвойственных дискретных систем / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Р. Ш. Валиев; под ред. В. В. Сапожникова. – СПб. : Элмор, 2006. – 224 с. – ISBN 5-7399-0130-8.
5. *Обнаружение ошибок в программных реализациях самопроверяемых тестеров в микропроцессорных системах* / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, А. В. Харитонов, В. М. Чухонин // Автоматика и телемеханика. – 1989. – № 12. – С. 129–140. – ISSN 0005-2310.

КАЧЕСТВО РАБОТЫ СИСТЕМ И УСТРОЙСТВ

УДК 656.25

А. Д. Манаков, д-р техн. наук
Н. Н. Балуев
А. Г. Кабецкий
А. А. Трошин

Исследование бесконтактного коммутатора тока на пожарную опасность

Введение

Возникновение пожаров на объектах ОАО «РЖД» связано с большими материальными потерями и массовой задержкой поездов. Начиная с 2007 г. в ОАО «РЖД» реализуется инновационный проект по созданию автоматических систем охранно-пожарной, пожарной сигнализации и пожаротушения на объектах компании. Реализуются мероприятия по недопущению пожаров на объектах. Разрабатываются технические решения: по комплексной защите технических средств и устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), связи, управления электроснабжением; от проникновения атмосферных и коммутационных перенапряжений и сверхтоков; по дистанционному отключению всех источников электроснабжения постов электрической централизации (ЭЦ), диспетчерской централизации (ДЦ), горочной автоматической централизации (ГАЦ) при возникновении аварийных ситуаций; по защите бытовой электросети от возгораний в результате ее неисправности на постах ЭЦ, ДЦ, ГАЦ и др. [1].

Одной из проблем, влияющих на безопасность движения поездов, являются пожары, обусловленные ошибками проектирования систем ЖАТ, нарушениями технологии производства работ при замене рельсов на участках с электрической тягой поездов на переменном токе.

Цель работы – исследование пожарной опасности бесконтактного коммутатора тока.

Бесконтактный коммутатор тока

Бесконтактный коммутатор тока (БКТ) предназначен для формирования импульсов переменного тока в кодируемых рельсовых цепях [2]. Электрическая схема БКТ приведена на рис. 1. Принцип работы БКТ состоит в пропуске переменного тока попарно силовыми элементами VS1,

VD4 и VS2, VD3 для соответствующей полуволны тока. Например, установлены все перемычки: 11-12, 31-32, 51-52, 71-72, и при пропуске положительной полуволны тока возникает мгновенная полярность напряжения на клемме (Кл.): Кл. 11 – плюс \oplus , а на Кл. 71 – минус \ominus . Тогда при замкнутом контакте реле Т первоначально создается цепь тока управления тиристором VS2: \oplus – Кл. 11 – VD3 – Кл. 33 – фронтовой контакт (T^Φ) реле Т – Кл. 53 – VD2 – Кл. 51 – Кл. 52 – управляющий электрод (УЭ) VS2 – Кл. 72 – Кл. 71 – \ominus . После открытия тиристора VS2 создается силовая цепь тока: \oplus – Кл. 11 – VD3–VS2 – Кл. 72 – Кл. 71 – \ominus . Если действует отрицательная полуволна тока, то сначала создается цепь управления тиристором VS1: \oplus – Кл. 71 – VD4 – Кл. 33 – T^Φ – Кл. 53 – VD1 – Кл. 31 – Кл. 32 – УЭ VS1 – Кл. 12 – Кл. 11 – \ominus , а затем – силовая цепь: \oplus – Кл. 71 – VD4–VS1 – Кл. 12 – Кл. 11 – \ominus .

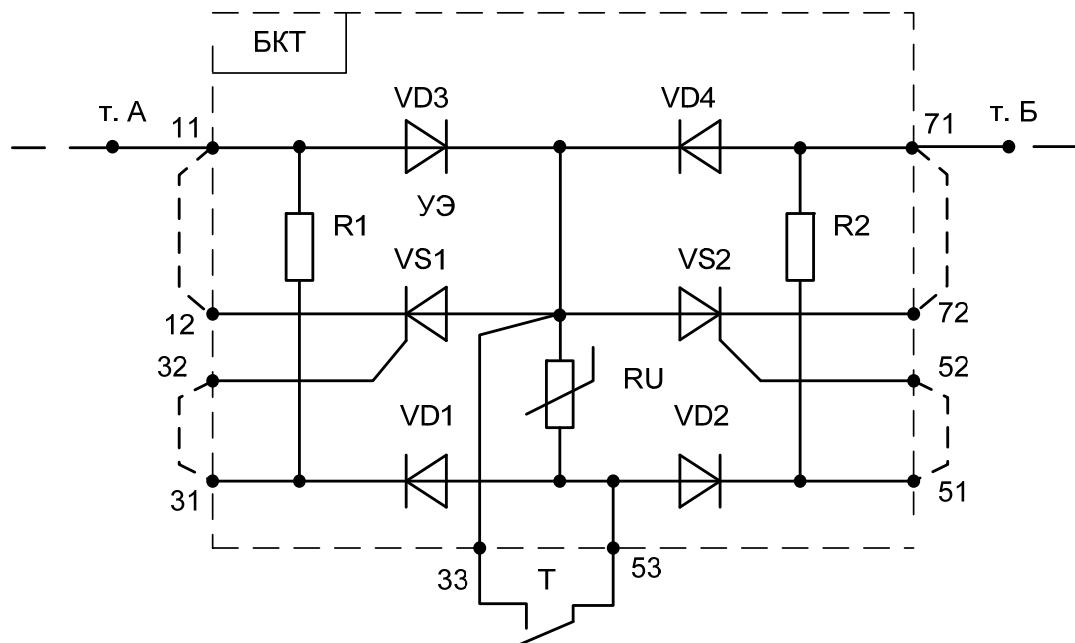


Рис. 1 Схема БКТ

При условии, когда перемычек нет, БКТ также выполняет свои функции по пропуску кодов сигнального тока (рис. 2). При положительной полуволне тока: \oplus – Кл. 11 – VD3 – Кл. 33 – T^Φ – Кл. 53 – VD2 – R2 – Кл. 71 – \ominus , а при отрицательной полуволне тока: \oplus – Кл. 71 – VD4 – Кл. 33 – T^Φ – Кл. 53 – VD1 – R1 – Кл. 11 – \ominus . В рассмотренном случае сигнальный ток проходит по элементам управления тиристоров, но при этом тиристоры не включаются, так как при отсутствии перемычек они не связаны со схемой.

Определим сигнальный ток, проходящий в этом случае по элементам БКТ. Задаем ток кодирования в рельсовой линии при электрической тяге на переменном токе, который равен 1,5 А. Тогда с учетом коэффициентов трансформации дроссель-трансформатора ДТ1-150 $n_{\text{ДТ}} = 3$ и изолирующего трансформатора $n_{\text{ИТ}} = 9,15$ сигнальный ток в элементах БКТ равен 27 мА. Мощность, рассеиваемая на сопротивлениях R_1 и R_2 (100 Ом, 2 Вт), равна 0,07 Вт. При отсутствии внешних перемычек БКТ будет работать без внешних проявлений отклонений от нормы.

Имея связь с рельсовой линией, элементы БКТ подвергаются воздействию энергии тяговой сети при обрыве контактного провода; перекрытии изоляции контактной сети; в результате загрязнения химически активными элементами и воздействия атмосферного электричества; асимметрии рельсовой линии (короткое замыкание изолирующих стыков, лопнувший рельс, обрыв стыковых соединителей и одной полуобмотки дроссель-трансформаторов). Тяговый ток асимметрии трансформируется в цепь подключения БКТ и при отсутствии внешних перемычек оказывает недопустимый нагрев сопротивлений R_1 и R_2 , что приводит к возникновению пожара в блоке БКТ.

Приведем результаты исследования БКТ на пожарную опасность. Исследования проводились методами физического и математического моделирования.

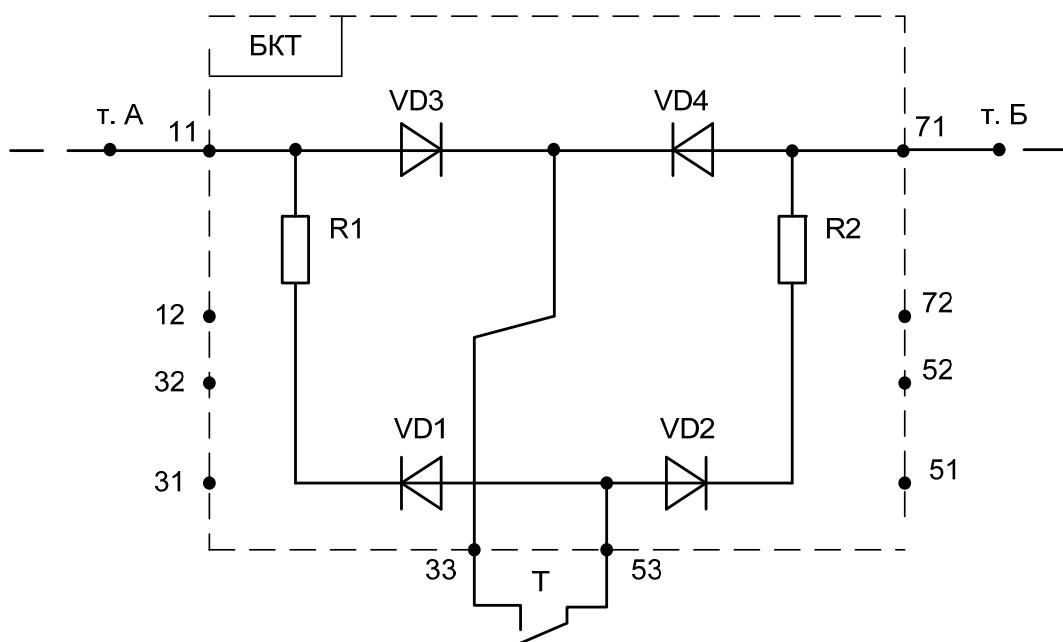


Рис. 2 Схема БКТ при отсутствии внешних перемычек
(11-12, 71-72, 31-32 и 51-52)

Физическое моделирование

Исследования влияния тока асимметрии на элементы БКТ проводились на макете кодовой рельсовой цепи, представленной на рис. 3. Ограничивающее сопротивление тока короткого замыкания рельсовой цепи (R_0), равное 200 Ом, составлялось из 18 штук сопротивлений типа С5-35В-16-100±5 %, включенных последовательно-параллельно. Ток на выходе БКТ определялся по падению напряжения на сопротивлении шунта ($R_{ш}$), равном 0,08 Ом. Расчетный тяговый ток асимметрии в реальной рельсовой линии определялся путем умножения действующего тока на выходе БКТ на коэффициенты трансформации дроссель-трансформатора ДТ1-150 (при асимметрии $n_{ДТ} = 6$) и трансформатора ПРТ-АУЗ ($n_{ПРТ-АУЗ} = 9,15$). Исправная работа макета рельсовой цепи контролировалась по осциллографу напряжения на сопротивлении R_5 , включенном последовательно с контактом путевого реле П.

При отсутствии в схеме БКТ внешних перемычек (11-12, 71-72, 31-32 и 51-52) и тока асимметрии макет рельсовой цепи работает нормально, путевое реле повторяет работу трансмиттерного реле Т. Напряжение на путевом реле равно 3,9 В (действующее значение).

Во время подачи с помощью ЛАТРа тока асимметрии частотой 50 Гц прекращалась импульсная работа путевого реле (рис. 4, луч 1). Осциллограмма суммарного тока асимметрии частотой 50 Гц и сигнального тока частотой 25 Гц показана на рис. 4, луч 2. Из осциллограммы суммарного тока следует, что по элементам БКТ протекают полуволны тока с различной амплитудой и длительностью. Для определения количества теплового воздействия такого сложного тока на сопротивления R_1 и R_2 в работе предлагается использовать численный метод расчета энергии, рассеиваемой на сопротивлении для каждой полуволны тока, проходящего по сопротивлениям.

Каждая полуволна тока, отличающаяся длительностью (Θ) и амплитудой (I_M), описывается выражением:

$$i(t) = I_M \sin\left(\frac{\pi}{\Theta} \cdot t + \psi\right), \quad (1)$$

где I_M – максимальное значение полуволны тока;

Θ – длительность полуволны тока;

ψ – начальная фаза тока.

Алгоритм расчета энергии, рассеиваемой на сопротивлениях R_1 и R_2 , состоит в следующем. Каждая полуволна тока длительностью Θ делится на конечное число интервалов (n). По выражению (1) определяется значение тока в середине расчетного интервала (j) и делается допущение, что на

рассматриваемом интервале ток не изменяется и равен току в середине интервала j . Определяется энергия, рассеиваемая на сопротивлении $R_1(R_2)$, на рассматриваемом интервале j :

$$W_j = (i_j)^2 \Delta t R_1,$$

где i_j – ток в середине интервала;

Δt – длительность интервала j .

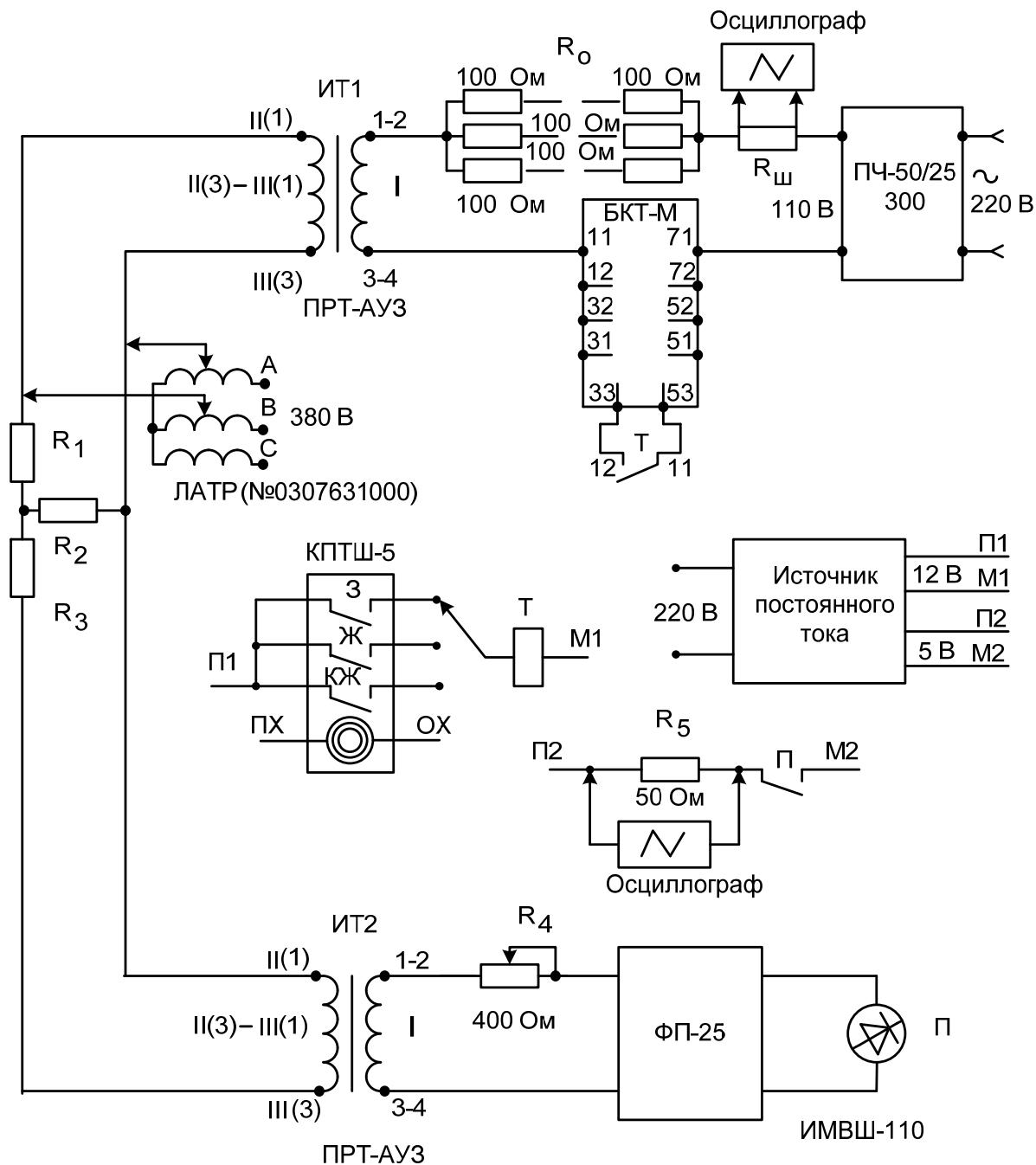


Рис. 3 Схема испытания БКТ на пожарную опасность

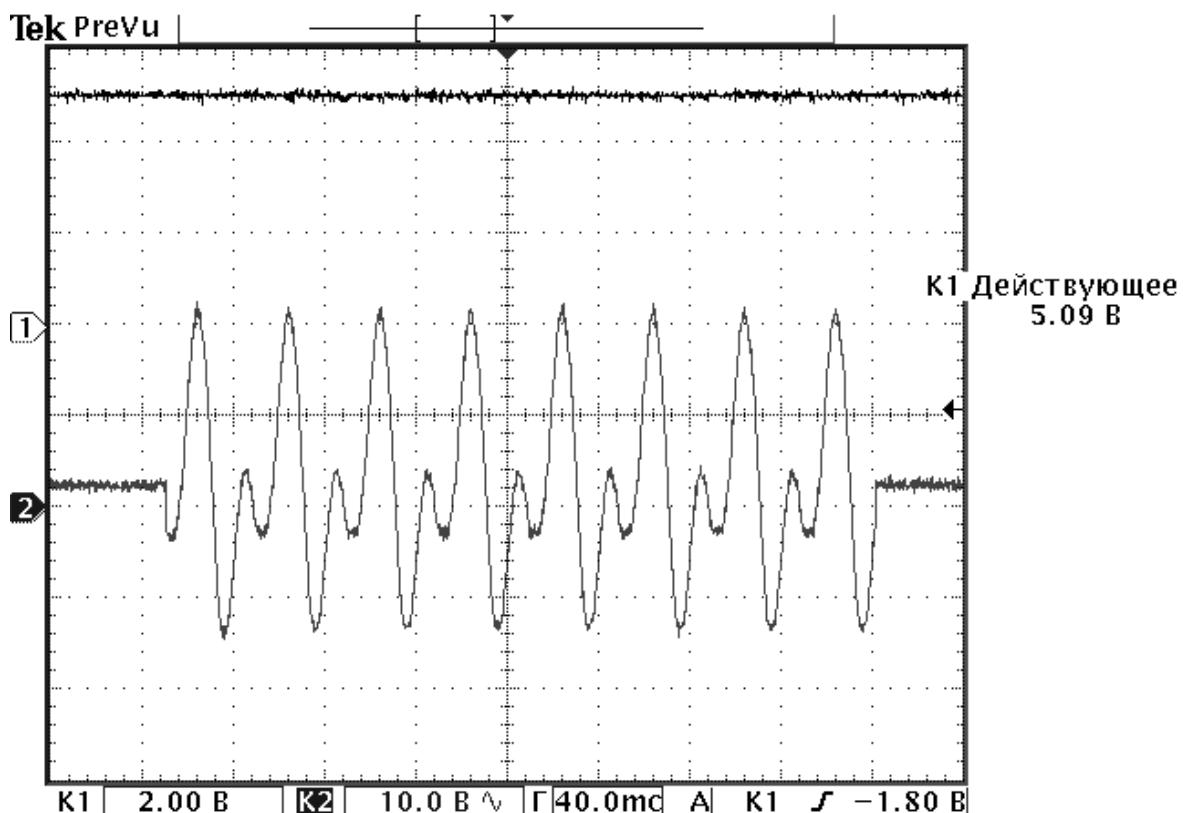


Рис. 4. Осциллографмы напряжений:
луч 1. Падение напряжения на сопротивлении R_5 ;
луч 2. Напряжение, измеренное на элементе сопротивления R_0 (100 Ом)

Энергия, рассеиваемая на сопротивлении $R_1(R_2)$ за полуволну Θ :

$$W_{\Theta} = \sum_{J=1}^n W_J,$$

где n – количество интервалов, на которые делится длительность полуволны Θ .

Суммируя энергию, рассеиваемую на сопротивлениях R_1 и R_2 за секунду, определяем затрачиваемую и сравниваем ее с допустимой.

По рассмотренному алгоритму была составлена программа в среде Delphi.

С увеличением тока асимметрии в рельсовой линии до 35,3 А произошло обугливание лакокрасочного покрытия сопротивлений R_1 и R_2 в БКТ. Дальнейшее увеличение тока асимметрии до 47 А привело к возгоранию изоляции монтажного провода, соприкасающегося с сопротивлением R_2 (рис. 5).

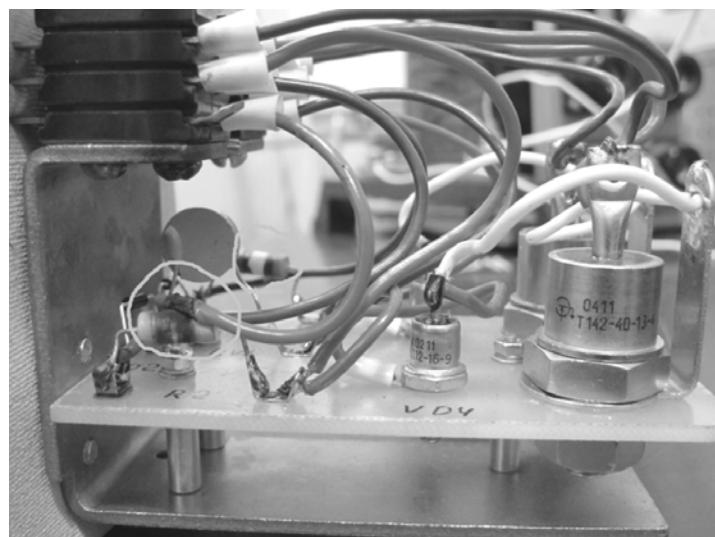


Рис. 5 Фотография БКТ-М после воздействия тока, эквивалентного току асимметрии, равному 47 А

После возгорания изоляции в БКТ были проведены измерения величин сопротивлений $R_1 = 130,9$ Ом и $R_2 = 53,9$ Ом. На рис. 6 представлены осциллограммы напряжений после возгорания в БКТ. Из осциллограммы напряжения на втором луче следует, что БКТ не пропускает отрицательную полуволну тока и работает как однофазный выпрямитель.

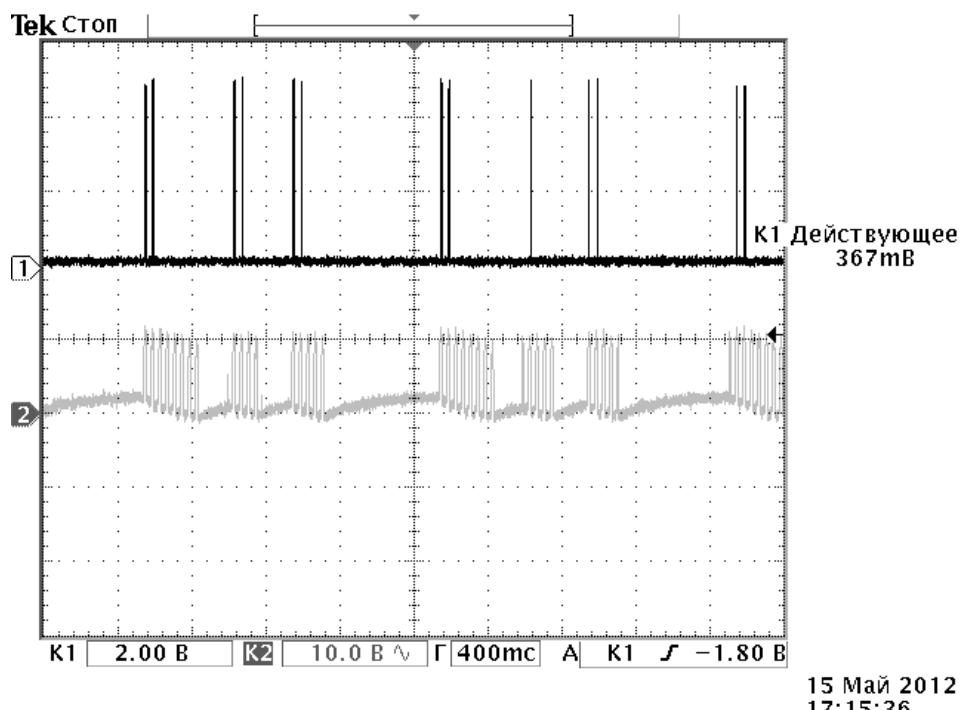


Рис. 6 Осциллограммы напряжений:
луч 1. Падение напряжения на сопротивлении R_5 ;
луч 2. Напряжение, измеренное на элементе сопротивления R_0 (100 Ом)

Математическое моделирование

Исследование электрической схемы БКТ проводилось с помощью программы аналогового моделирования PSpice. Схема замещения модели показана на рис. 7.

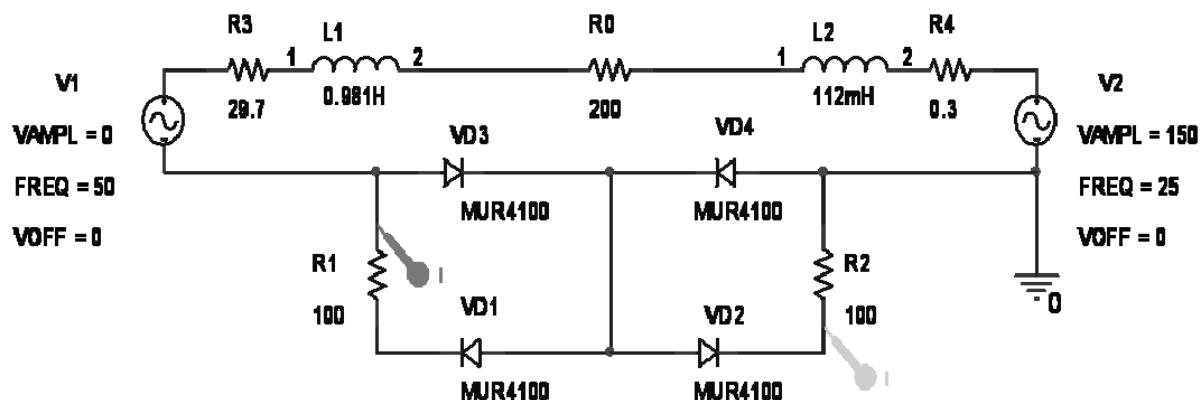


Рис. 7 Схема замещения питающего конца рельсовой цепи при отсутствии внешних перемычек в БКТ и действии тягового тока асимметрии

На рис. 7 V_1 – напряжение на первичной обмотке изолирующего трансформатора ИТ1 (см. рис. 3); V_2 – напряжение на выходе преобразователя частоты (ПЧ 50/25-300); R_3 – сопротивление первичной обмотки трансформатора ПРТ-А, R_4 – сопротивление катушки индуктивности резонансного контура ПЧ-50/25-300, L_1 – индуктивность рассеяния первичной обмотки трансформатора ПРТ-А, L_2 – индуктивность катушки индуктивности резонансного контура ПЧ-50/25-300.

Адекватность модели реальным процессам проверялась путем сопоставления осциллограмм сигнального тока, измеренного на макете рельсовой цепи и рассчитанного на математической модели, при этом тяговый ток асимметрии принимался равным нулю ($V_1 = 0$). Амплитуда измеренного на макете сигнального тока равна 362 мА, а амплитуда расчетного сигнального тока – 400 мА. Ошибка моделирования составила 10 %.

Разработанная модель позволяет анализировать как раздельное воздействие тягового тока асимметрии и сигнального тока на сопротивления R_1 и R_2 , так и суммарное воздействие указанных токов. Принимая равным нулю напряжение на ПЧ-50/25-300 ($V_2 = 0$) и изменяя напряжение $V_1 = \text{vary}$, которое пропорционально току асимметрии, задаем ток в элементах БКТ. Умножая ток на выходе БКТ на коэффициенты трансформации дроссель-трансформатора ДТ1-150 (при асимметрии $n_{\text{ДТ}} = 6$) и трансформатора ПРТ-АУЗ ($n_{\text{ПРТ-АУЗ}} = 9,15$), рассчитываем тяговый ток асимметрии в реальной рельсовой линии, приводящий к соответствующему воздействию на элементы БКТ. По разработанной программе численным методом опреде-

лялась мощность, рассеиваемая на сопротивлениях R_1 и R_2 . Сравнивая величину действующей мощности с допустимой величиной, устанавливаем возможность возникновения пожара в БКТ при действии определенной величины тягового тока асимметрии.

Согласно [3, с. 123], расчетный максимальный ток асимметрии равен 12,5 А (действующее значение), что составляет (5 % от максимального тока, равного 250 А. Определим мощность, рассеиваемую на сопротивлениях R_1 и R_2 , при допустимом токе асимметрии 17,5 А (амплитудное значение). С учетом коэффициентов трансформации ДТ-1-150 (при асимметрии $n_{ДТ} = 6$) и ПРТ-АУЗ ($n_{ПРТ-АУЗ} = 9,15$) ток на выходе БКТ равен 319 мА. При условии $V_2 = 0$ В подбираем напряжение источника V_1 , при котором ток на выходе БКТ равен 319 мА. Это напряжение равно 154 В (амплитудное значение).

На рис. 8 показана осциллограмма суммарного тока по элементам БКТ при $V_1 = 154$ В и $V_2 = 150$ В. Для указанного тока определим энергию, рассеиваемую на сопротивлениях R_1 и R_2 , по предложенному алгоритму. Результаты численного расчета энергии на каждой полуволне тока сведены в табл. 1. Из таблицы следует, что малыми полуволнами при расчете мощности, рассеиваемой на сопротивлениях R_1 и R_2 , можно пренебречь.

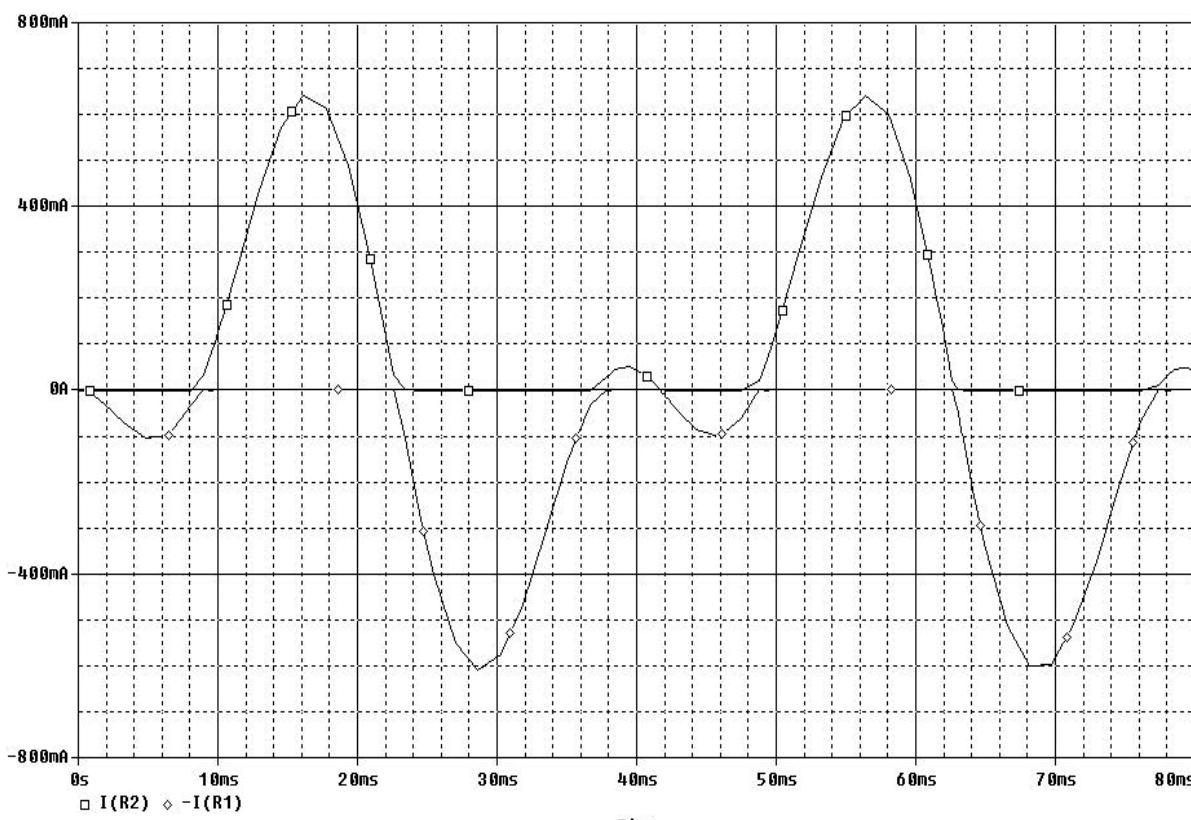


Рис. 8 Осциллограммы тока через сопротивление R_1 (нижние полуволны) и R_2 (верхние полуволны)

Таблица 1

**Энергия, рассеиваемая на сопротивлениях R_1 и R_2
на каждой полуволне тока**

Характеристика полуволны тока	Длительность полуволны тока, мс	Амплитуда тока, мА	Энергия, Дж
Большая положительная полуволна (R_2)	14	640	0,287
Малая положительная полуволна (R_2)	5	50	0,0006
Большая отрицательная полуволна (R_1)	14	600	0,252
Малая отрицательная полуволна (R_1)	7	100	0,0035

Для определения мощности, рассеиваемой на сопротивлениях R_1 и R_2 , необходимо знать, сколько полуволн тока укладываются по времени в интервал, равный одной секунде при кодовых сигналах в рельсовую линию типа КЖ, Ж и З. Исследования на макете показали, что для кода КЖ таких полуволн 10 для каждого сопротивления R_1 и R_2 , для кодов Ж и З – 18. Данные по расчету мощности, рассеиваемой на сопротивлениях R_1 и R_2 , представлены в табл. 2. Результаты расчета показывают, что даже при допустимой асимметрии тягового тока на участках с электрической тягой переменного тока отсутствие перемычек в схеме БКТ приводит к перегреву сопротивлений R_1 и R_2 .

Таблица 2

**Мощность, рассеиваемая на сопротивлениях R_1 и R_2
при различных кодах сигнального тока**

Наименование сопротивления БКТ	Мощность, рассеиваемая на сопротивлении, Вт		
	Вид кодовой комбинации, посылаемый БКТ в рельсовую линию		
	КЖ	Ж	З
R_1	2,87	5,17	5,17
R_2	2,52	4,54	4,54

Предлагается для предотвращения пожара установить в схеме БКТ внутренние перемычки между клеммами 11-12, 31-32, 51-52, 71-72, как это предусмотрено в схеме БКТ-2М. При отсутствии внутренних перемычек в БКТ предлагается предусмотреть токовую защиту в виде предохранителя, включенного последовательно с контактом трансмиттерного реле.

Заключение

В работе рассмотрены причины и условия возникновения пожара в БКТ. Проведены исследования работы БКТ на физической модели кодовой рельсовой цепи при отсутствии внешних перемычек в БКТ и действии тягового тока асимметрии. Предложен алгоритм численного расчета энергии, действующей на элементы БКТ от каждой полуволны синусоидального тока при изменении длительности полуволны и амплитуды тока. Составлена программа в среде Delphi и проведены расчеты. Разработана математическая модель рельсовой цепи со стороны включения БКТ для исследования влияния тягового тока асимметрии на элементы БКТ. Показано, что даже при допустимой асимметрии тягового тока в 12,5 А мощность, рассеиваемая на сопротивлениях БКТ, превышает допустимую величину в 1,4 раза для кода КЖ и в 2,6 раза для кодов Ж и З. Предложены меры, исключающие возникновение пожара в схеме БКТ.

Библиографический список

1. Столяров А. В. Обеспечение пожарной безопасности на объектах и подвижном составе ОАО «РЖД» / А. В. Столяров, О. А. Прокопенко // Журнал-каталог «Средства спасения. Противопожарная защита. Российские инновационные системы». Вып. 10.
2. Сороко В. И. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: Справочник: в 2 кн. Кн. 2. – 3-е изд. / В. И. Сороко, Е. Н. Розенберг. – М. : НПФ «Планета», 2000. – 1008 с.
3. Аркадов В. С. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание / В. С. Аркадов, Ю. А. Кравцов, Б. М. Степенский. – М. : Транспорт, 1990. – 295 с.

A. A. Красногоров, канд. техн. наук

Исследование причин размагничивания постоянного магнита реле КШ1-80 в схемах смены направления

Введение

В схемах смены направления широко применяются комбинированные реле типа КШ1-80. После внедрения проектного решения по включению обмоток реле в разные линейные провода появились отказы этих реле в виде размагничивания постоянного магнита.

Исследование причин отказа

Особенностью реле КШ1-80, конструкция которого схематически показана на рис. 1, является следующее свойство [1]. При правильном включении обмоток [2] $W1$ и $W2$, показанном на рис. 1, и протекании тока управления I_y на постоянный магнит NS воздействует незначительное магнитное поле, напряженность которого является разницей электромагнитных полей, создаваемых обмотками $W1$ и $W2$, т. к. потоки этих полей $\Phi1$ и $\Phi2$ в постоянном магните проходят в противоположных направлениях.

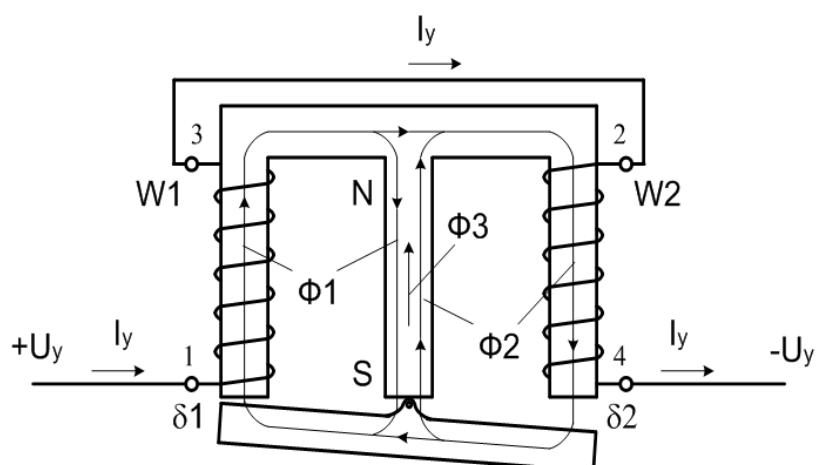


Рис. 1 Правильное включение обмоток реле КШ1-80

Наличие остаточного магнитного потока $\Delta\Phi = \Phi1 - \Phi2$ обусловлено главным образом разными воздушными зазорами между сердечниками обмоток и притянутым $\delta1$ и отведенным $\delta2$ концами поляризованного якоря. Причем в начальный момент подачи тока I_y в обмотки результирующий поток $\Delta\Phi$ будет иметь направление, противоположное направлению пото-

ка Φ_3 постоянного магнита, но после переключения поляризованного якоря поток $\Delta\Phi$ изменяет свое направление на противоположное и действует совместно с потоком Φ_3 постоянного магнита.

Рассмотренное свойство полностью исключает возможность перемагничивания постоянного магнита при любом значении тока, протекающего через обмотки реле, при условии их исправности и правильного соединения. На основании приведенного анализа можно с полной уверенностью утверждать, что размагничивание постоянного магнита не может произойти от рабочего тока или тока помехи, действующего по цепям, аналогичным цепям рабочего тока.

Совсем другие процессы происходят при подаче тока I_y только в одну из обмоток $W1$ или $W2$. В этом случае, как показано на рис. 2, значительная часть магнитного потока будет проходить через постоянный магнит и при соответствующем направлении тока противодействовать потоку постоянного магнита. При определенном значении тока (2–4 А) может произойти частичное или полное размагничивание постоянного магнита.

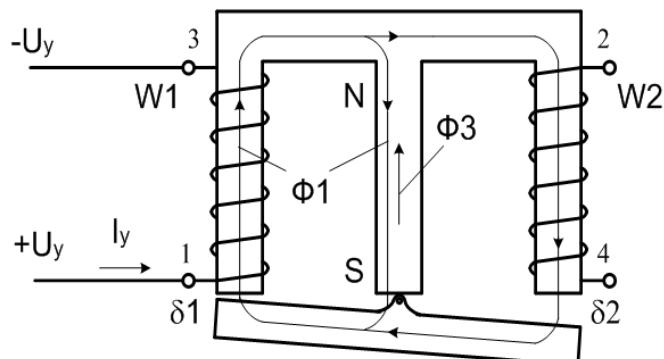


Рис. 2 Подача тока только в одну из обмоток
реле КШ1-80

Еще больше ситуация усугубляется при протекании тока одновременно в обеих обмотках в направлениях, показанных на рис. 3. Здесь потоку Φ_3 постоянного магнита противодействует сумма потоков $\Delta\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$ магнитных полей обеих обмоток. В данном случае размагничивание постоянного магнита произойдет при протекании через каждую обмотку 1–2 А.

При использовании реле КШ1-80 в качестве реле 2Н в схеме смены направления ситуация, похожая на ситуацию на рис. 2, может появиться в случае, показанном на рис. 4.

Здесь воздействие мощного перенапряжения [3] на провод 2ЧН, например в результате грозового разряда, и срабатывание только разрядника

Качество работы систем и устройств

КЧЧ-10Р17, имеющего наименьшее напряжение пробоя по сравнению с разрядником КЧЧ-11Р9, вызовет протекание тока помехи I_p только через обмотку 1–3 реле 2Н. При определенных направлениях и величине тока размагничивание постоянного магнита неизбежно.

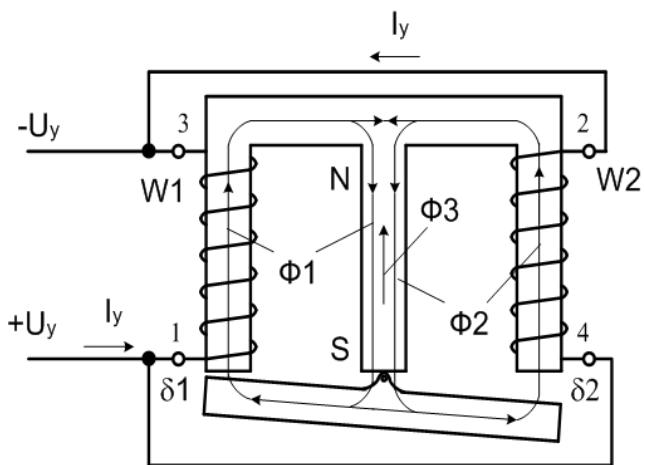


Рис. 3 Подключение с протеканием тока в одном направлении по обеим обмоткам

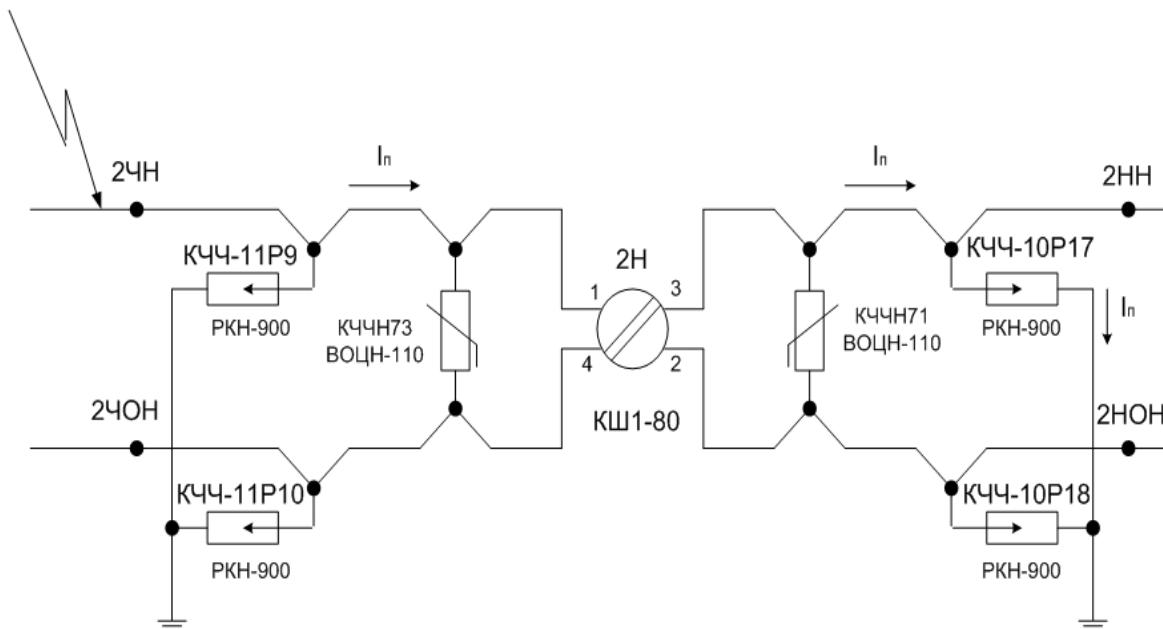


Рис. 4 Воздействие перенапряжения в проводе 2ЧН

Практическая ситуация, аналогичная изображенной на рис. 3, может появиться при воздействии перенапряжений одновременно, например, на провода 2ЧН и 2ЧОН и срабатывании разрядников КЧЧ-10Р17 и КЧЧ-10Р18 (рис. 5).

В данном случае токи помех I_{n1} и I_{n2} будут протекать через обмотки 1–3 и 2–4 реле 2Н в одном направлении, что еще больше усиливает эффект размагничивания.

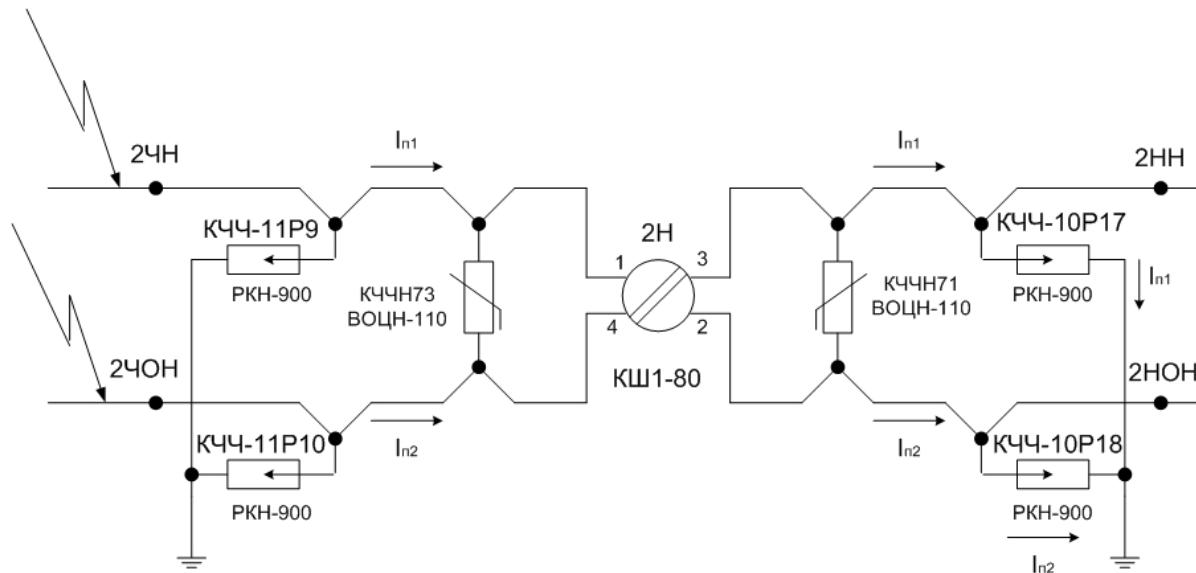


Рис. 5 Воздействие перенапряжений в двух проводах

Заключение

Основными причинами размагничивания постоянного магнита реле КШ1-80 при воздействии перенапряжения на линейные провода смены направления является некорректное включение обмоток реле.

Для исключения размагничивания постоянного магнита реле КШ1-80 необходимо обмотки реле включать в одну электрическую цепь.

Библиографический список

1. Теоретические основы железнодорожной автоматики и телемеханики : Учебник для вузов / А. С. Переоборов, А. М. Брылеев, В. В. Сапожников и др.; под ред. А. С. Переборова. – 3-е изд. перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1984.

2. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики : Справочник / В. И. Сороко, Б. М. Разумовский. – М. : Транспорт, 1976.

3. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи / В. И. Кравченко, Е. А. Болотов, Н. И. Летунова; под ред. В. И. Кравченко. – М. : Радио и связь, 1987.

В. Б. Соколов, канд. техн. наук
М. Б. Соколов

Применение процессного моделирования при мониторинге отказов в тональных рельсовых цепях

При проектировании современных станционных и перегонных систем железнодорожной автоматики, использующих тональные рельсовые цепи (ТРЦ), анализ их является особенно актуальным, т. к. безопасность функционирования этих систем в наибольшей степени обеспечивается качеством работы рельсовых цепей [1]–[3]. Анализ ТРЦ при проектировании должен обеспечить безопасность их функционирования с учетом эксплуатационных характеристик рельсовых линий, параметров элементов ТРЦ и их отказов (а удобнее проводить анализ методом моделирования). В качестве метода анализа предложен один из способов имитационного моделирования – процессное моделирование (процессная модель ТРЦ – ПМТРЦ) [4].

ПМТРЦ питающего (ПК) и релейного (РК) концов ТРЦ, РЛ представляют собой математические модели, описываемые аналитическими выражениями (1–9).

При распространении сигнала вдоль кабельной линии (КЛ) ослабляется его уровень и изменяется фаза. Эти изменения зависят от длины рельсовой линии (РЛ), частоты входного сигнала и волновых характеристик КЛ, которые в свою очередь зависят от частоты сигнала ТРЦ, удельной емкости и сопротивления кабельной пары.

Путевой трансформатор вносит фазовый сдвиг сигнала КЛ, осуществляет низкочастотную фильтрацию и учитывает понижающий коэффициент трансформации $n = 38$.

Математическая модель ПК определяется выражениями:

$$u_{\text{вх.ТР}}(t, \beta_{\text{кабель}}) = \frac{1}{\alpha_{\text{кабель}} \cdot \tau_{\text{кабель}}} \cdot \int_{t - \frac{\tau_{\text{кабель}}}{2}}^{t + \frac{\tau_{\text{кабель}}}{2}} S(t_{\text{кабель}} - \tau_{\text{кабель}}) dt_{\text{кабель}}; \quad (1)$$

$$u_{\text{вых.ТР}}(t) = \frac{1}{38 \cdot \tau} \cdot \int_{t - \frac{\tau}{2}}^{t + \frac{\tau}{2}} u_{\text{вх.ТР}}(t - \tau) dt, \quad (2)$$

где $u_{\text{вх.ТР}}$ – уровень сигнала ТРЦ на выходе кабельной линии, В;
 $u_{\text{вых.ТР}}$ – уровень сигнала ТРЦ на выходе питающего трансформатора, В;
 $\alpha_{\text{кабель}}$ – коэффициент затухания сигнала ТРЦ в кабельной линии, Дб/км;
 $\beta_{\text{кабель}}$ – коэффициент фазового сдвига сигнала ТРЦ в кабельной линии, рад/км;
 S – уровень сигнала ТРЦ на выходе путевого фильтра ФПМ, В;
 $\tau_{\text{кабель}}, \tau$ – элементарный интервал времени, с.

Сигнал на входе РЛ будет затухать на величину падения напряжения в соединительных проводах ($R_{\text{сп}}$) и на защитном резисторе (R_3).

Сигнал на выходе ПК распространяется в обе стороны неограниченной ТРЦ, следовательно, необходим учет утечки тока на выходе РЛ. Значение потерь зависит от волновых сопротивлений смежной и соседних РЦ ($Z_{\text{в.см}}, Z_{\text{в.с}}$), входных сопротивлений РК и ПК смежной и соседних РЦ ($Z_{\text{вх.РК.с}}, Z_{\text{вх.ПК.см}}$), а также входных сопротивлений смежной и соседних РЦ ($Z_{\text{вх.РЛ.см}}, Z_{\text{вх.РЛ.с}}$). Составим схему замещения относительно ПК моделируемой РЦ для определения эквивалентного сопротивления $Z_{\text{экв}}$. На схеме $R_{\text{мод}}, R_c, R_{\text{см}}$ – соответственно сопротивления моделируемой соседней и смежной РЦ (рис. 1).

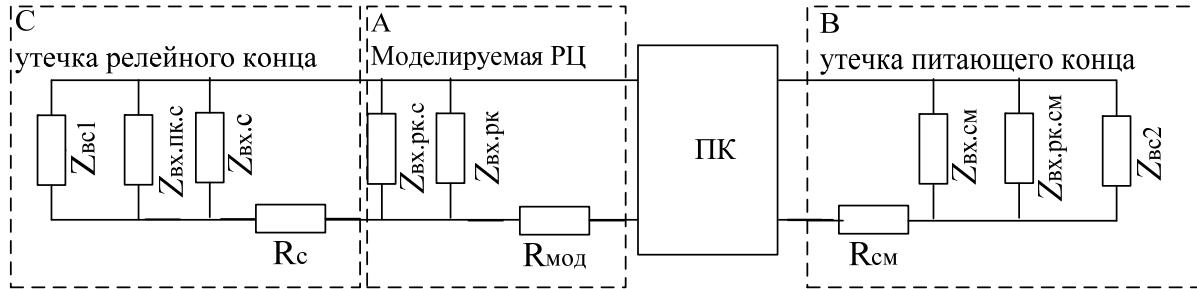


Рис. 1 Схема замещения относительно эквивалентного сопротивления нагрузки РЛ $Z_{\text{экв}}$

Выражение для определения значений $R_{\text{мод}}, R_c, R_{\text{см}}$, Ом, имеет вид:

$$R = \frac{\frac{Z^2 \cdot l}{r_i} + l \cdot j\varpi L_{\text{пл}}}{1 + j\varpi C_{\text{пл}} \cdot r_i}. \quad (3)$$

В это выражение включены параметры рельсовой линии для моделируемой, соседней и смежной линий:

$\varpi = 2 \cdot \pi \cdot f$ – угловая частота, Гц;

Z – удельное сопротивление рельсовой линии, Ом/км;

l – длина рельсовой линии, км;

$Z_{\text{в}} = \sqrt{Z \cdot r_i}$ – волновое сопротивление рельсовой линии, Ом;

r_i – удельное сопротивление изоляции рельсовой линии, Ом·км;

$L_{\text{РЛ}} = l \cdot \left(0,102 \cdot \sqrt{\frac{1}{f}} + 1,106 \cdot 10^{-3} \right)$ – индуктивность рельсовой линии, Гн.

$C_{\text{РЛ}} = 9,833 \cdot 10^{-9} \cdot l$ – емкость рельсовой линии, Ф.

Выражения для определения сопротивлений, Ом, влияющих на токи утечки (C – релейного конца; A и B – питающего конца) представлены ниже:

$$\begin{aligned} A &= R_{\text{мод}} + \frac{Z_{\text{вх.ПК}} \cdot Z_{\text{вх.ПК с}}}{Z_{\text{вх.ПК с}} + Z_{\text{вх.ПК}}}, \\ B &= R_{\text{см}} + \frac{Z_{\text{вх.см}} \cdot Z_{\text{вх.ПК см}} \cdot Z_{\text{в.с}_2}}{Z_{\text{в.с}_2} \cdot Z_{\text{вх.ПК см}} + Z_{\text{вх.см}} \cdot Z_{\text{в.с}_2} + Z_{\text{вх.ПК см}} \cdot Z_{\text{вх.см}}}, \\ C &= R_{\text{c}} + \frac{Z_{\text{вх.с}} \cdot Z_{\text{вх.ПК с}} \cdot Z_{\text{в.с}_1}}{Z_{\text{вх.ПК с}} \cdot Z_{\text{в.с}_1} + Z_{\text{вх.с}} \cdot Z_{\text{в.с}_1} + Z_{\text{вх.с}} \cdot Z_{\text{вх.ПК с}}}. \end{aligned} \quad (4)$$

Формула расчета эквивалентного сопротивления $Z_{\text{экв}}$, Ом, влияющего на ток утечки ПК, имеет вид:

$$Z_{\text{экв}} = \frac{A \cdot B}{A + B}. \quad (5)$$

С учетом потерь тока и напряжения получены выражения для определения формы сигнала ТРЦ, А, на входе РЛ:

$$\begin{aligned} I_{\text{вх.РЛ потери}}(t) &= \frac{U_{\text{вых.ТР}}(t) \cdot e^{i \arg(U_{\text{вых.ТР}}) \cdot \frac{\pi}{180}}}{R_{\text{сп}} + R_3 + |Z_{\text{экв}}|}, \\ U_{\text{вх.РЛ потери}}(t) &= I_{\text{вх.РЛ потери}}(t) \cdot |Z_{\text{экв}}|, \end{aligned} \quad (6)$$

где $U_{\text{вых.ТР}}$ – уровень сигнала ТРЦ, В, на выходе путевого трансформатора;

$U_{\text{вх.РЛ потери}}$ – уровень напряжения, В, на входе РЛ;

$I_{\text{вх.РЛ потери}}$ – уровень тока, А, на входе РЛ;

$R_{\text{сп}}$ – сопротивление соединительных проводов;

R_3 – защитное сопротивление.

Математическое описание процессов затухания и фазового сдвига сигнала, В, ТРЦ в рельсовой линии представлено выражением:

$$u_{\text{вых.РЛ}}(t, \beta_{\text{РЛ}}, l_{\text{РЛ}}) = e^{\alpha_{\text{РЛ}} \cdot L_{\text{РЛ}}} \cdot \frac{1}{3,5 \cdot \tau_{\text{РЛ}}} \cdot \int_{t - \frac{\tau_{\text{РЛ}}}{2}}^{t + \frac{\tau_{\text{РЛ}}}{2}} U_{\text{вх.РЛ потери}}(t_{\text{РЛ}} - \tau_{\text{РЛ}}) dt_{\text{РЛ}}, \quad (7)$$

где $\tau_{\text{РЛ}}$ – элементарный промежуток времени, с;

$\alpha_{\text{РЛ}}$ – километрический коэффициент затухания в рельсовой линии, Дб/км;

$\beta_{\text{РЛ}}$ – километрический коэффициент сдвига фазы в рельсовой линии, рад/км.

Выражение, описывающее смешанный сигнал ТРЦ, В, на границе моделируемой (мод) и соседней (с) РЦ представлено следующей формулой:

$$U_{\text{сум.вых.РЛ}}(t, \beta_{\text{РЛ}}, l_{\text{РЛ}}) = u_{\text{вых.РЛ}}(t, \beta_{\text{РЛ мод}}, l_{\text{РЛ мод}}) + u_{\text{вых.РЛ}}(t, \beta_{\text{РЛ с}}, l_{\text{РЛ с}}). \quad (8)$$

С учетом потерь тока и напряжения получены выражения для определения формы сигнала ТРЦ на выходе РЛ:

$$I_{\text{вых.РЛ потери}}(t) = \frac{U_{\text{сум.вых.РЛ}}(t, \beta_{\text{РЛ}}, l_{\text{РЛ}}) \cdot e^{i \arg(U_{\text{сум.вых.РЛ}}) \cdot \frac{\pi}{180}}}{R_{\text{сп}} + R_3 + R_{\text{пт}} + |C|};$$

$$U_{\text{вых.РЛ потери}}(t) = I_{\text{вых.РЛ потери}}(t) \cdot |C|; \quad (9)$$

$$U_{\text{вх.РК потери}}(t) = U_{\text{сум.вых.РЛ}}(t, \beta_{\text{РЛ}}, l_{\text{РЛ}}) - U_{\text{вых.РЛ потери}}(t),$$

где $R_{\text{пт}}$ – сопротивление вторичной обмотки путевого трансформатора РК.

$U_{\text{вх.РК потери}}$ – уровень сигнала ТРЦ на входе релейного конца, В.

Путевой трансформатор вносит фазовый сдвиг сигнала РЛ, осуществляет низкочастотную фильтрацию и учитывает повышающий коэффициент трансформации $n = 38$. Выражение, описывающее эти процессы, имеет вид (2) при условии умножения на $n = 38$. Выражение, подобное (1), использовано для определения процессов, происходящих в КЛ на РК.

Наиболее сложными в исследовании элементами ТРЦ являются линии с распределенными параметрами, к которым относятся кабельная и рельсовая линии.

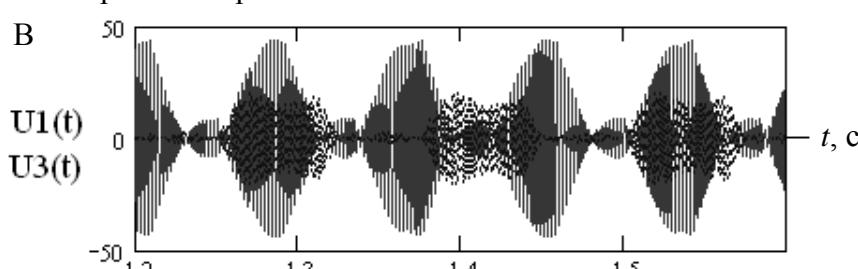
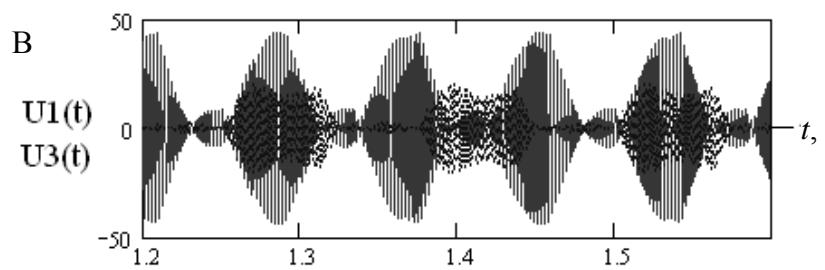
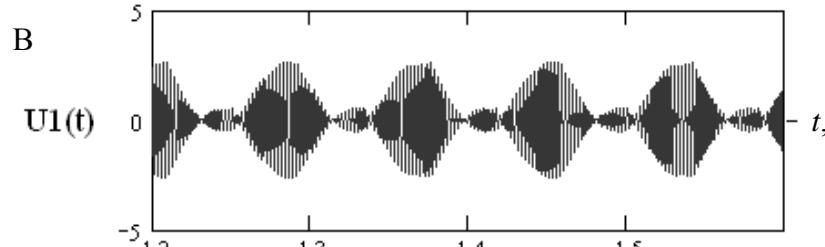
С помощью аналитических выражений (1) и (7) можно создать адекватные модели КЛ и РЛ.

В отличие от используемых в настоящее время методов расчета, ПМТРЦ позволяет производить моделирование отказов элементов ТРЦ.

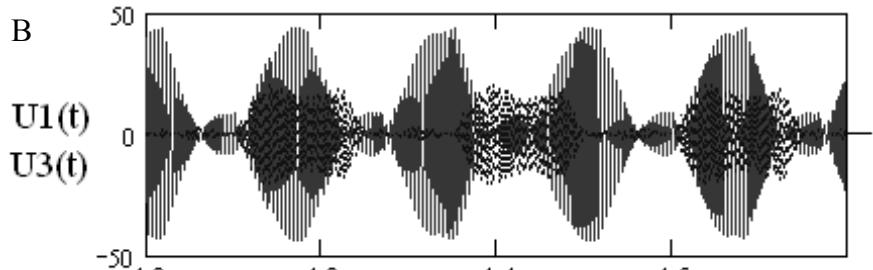
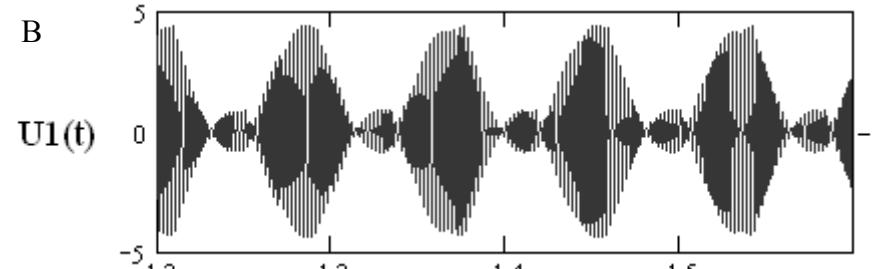
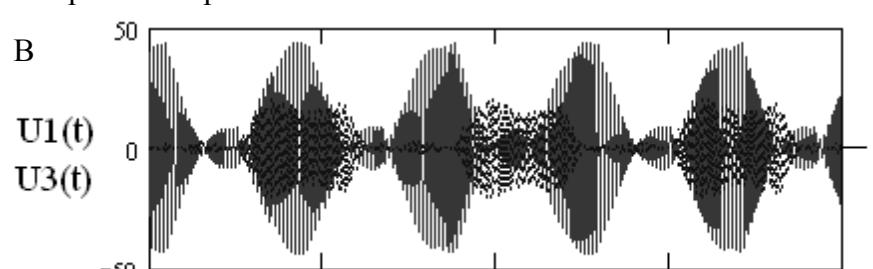
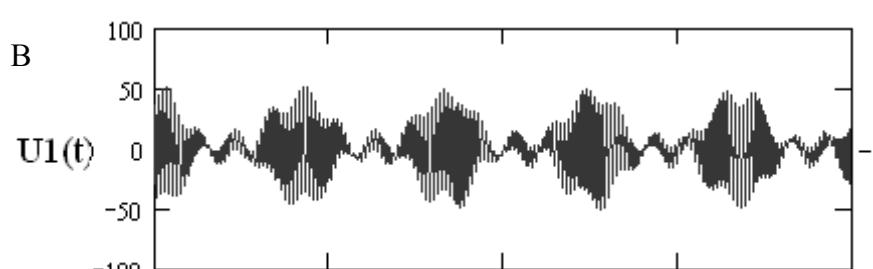
Процессные модели отказов элементов ТРЦ – совокупность процессов, происходящих в ТРЦ с учетом отказов или значений параметров, приводящих к опасному отказу. В функциональном блоке (ФБ) модели отказы представлены в виде функциональных схем отказов (ФСО).

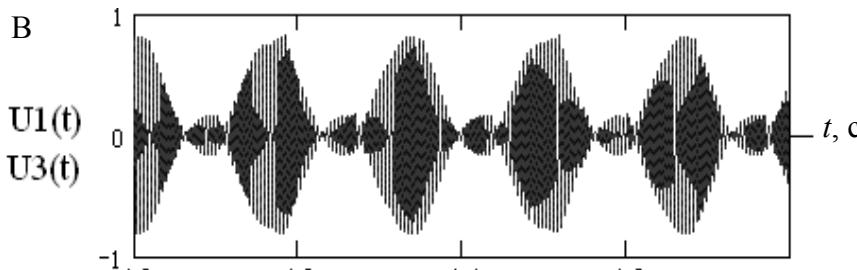
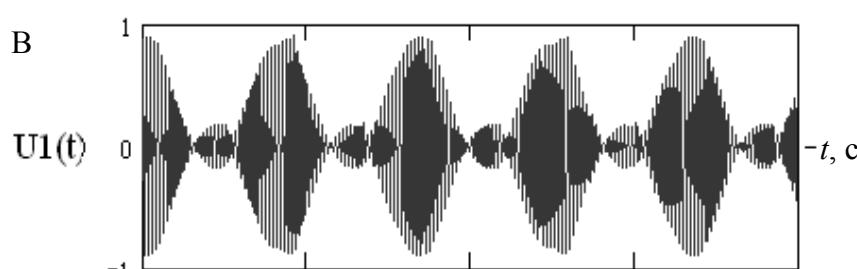
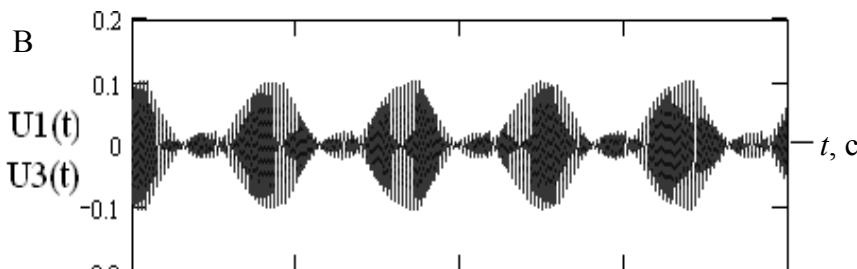
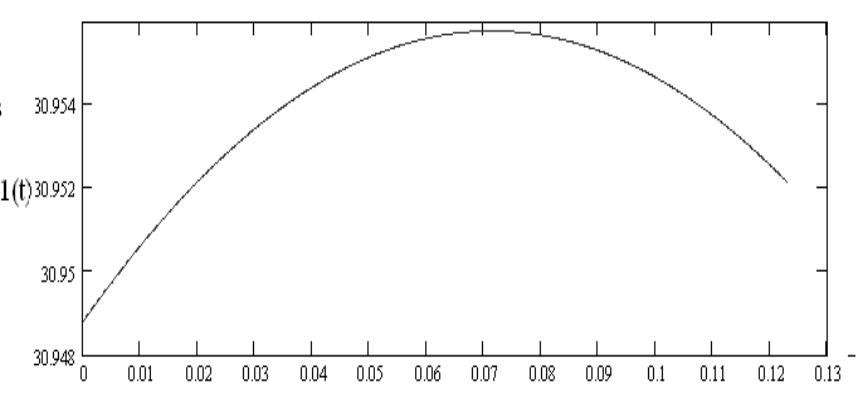
В ТРЦ часто встречаются отказы в линиях с распределенными параметрами (КЛ и РЛ), такие как: обрыв, короткое замыкание, кондуктивное сообщение жил кабеля, воздействие внешних помех, сигналов соседних ТРЦ, влияние дополнительного сопротивления, наличие сигнала помех с уровнем амплитуды значительно выше нормативного значения. Примеры реализации ФСО представлены в таблице.

Таблица
Реализация ФСО

№	Тип отказа	Вводимые значения
1	2	3
1	Обрыв (кабеля на ПК)	<p>1.1. Нормальная работа</p>  <p>1.2. Работа с отказом</p> 
2	Короткое замыкание (кабеля на ПК)	<p>2.1. Нормальная работа</p>  <p>2.2. Работа с отказом</p> 

Продолжение таблицы

1	2	3
3	Сообщение жил кабеля (ПК)	<p>3.1. Нормальная работа</p>  <p>3.2. Работа с отказом</p> 
4	<p>Сложение с сигналом посторон- ней частоты (на выходе кабеля ПК). Сигнал мешающей частоты 50 Гц, амплиту- дой 5 В</p>	<p>4.1. Нормальная работа</p>  <p>4.2. Работа с отказом</p> 

1	2	3
5	Добавление сопротивления (на входе РЛ). Добавочное сопротивление 50 Ом	<p>5.1. Нормальная работа</p>  <p>5.2. Работа с отказом</p> 
6	Сложение с сигналом (в том числе высокой амплитуды – гроза). Рассмотрен сигнал на выходе РЛ	<p>6.1. Нормальная работа</p>  <p>6.2. Работа с отказом</p> 

Использование ПМТРЦ позволит:

- снизить риск возникновения ошибок при проектировании ТРЦ;
- сократить время на сбор и обработку результатов измерений в ТРЦ;
- снизить риск возникновения отказа в ТРЦ;
- совместно с АПК-ДК провести диагностирование предотказного состояния элемента ТРЦ.

Библиографический список

1. *Дмитриев В. С. Системы автоблокировки с рельсовыми цепями тональной частоты / В. С. Дмитриев, В. А. Минин. – М. : Транспорт, 1992. – 182 с.*
2. *Полевой Ю. И. Относительные рельсовые цепи : Учеб. пособие для вузов / Ю. И. Полевой. – Самара : СамГАПС, 2006. – 80 с.*
3. *Рельсовые цепи магистральных железных дорог : Справочник. – 3-е изд., перераб. и доп. / В. С. Аркадов, Ю. В. Аркадов, С. В. Казеев, Ю. В. Ободовский. – М. : ООО «Миссия-М». – 2006. – 496 с. – ISBN 978-5-903538-01-0.*
4. *Василенко М. Н. Применение метода процессного моделирования для анализа тональных рельсовых цепей / М. Н. Василенко, М. Б. Соколов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2007. – № 4. – С. 31–37. – ISSN 0201-727X.*

ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТООБОРОТ

УДК 656.25

П. Е. Булавский, д-р техн. наук

Перспективы развития электронного документооборота технической документации по системам железнодорожной автоматики и телемеханики

Дальнейшее повышение эффективности проектирования, строительства и эксплуатации систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) требует комплексного внедрения электронного документооборота технической документации (ЭДТД) по системам СЦБ, обеспечивающего применение новых методов организации взаимодействия проектных, строительных, эксплуатационных и ремонтных организаций.

Эффективность разработки и практического использования систем электронного документооборота уже ни у кого не вызывает сомнений, однако комплексному внедрению ЭДТД препятствует ряд факторов связанных с разобщенностью заинтересованных организаций и отсутствием единных подходов к построению информационной среды. Для успешной интеграции систем ЭДТД необходимо решение ряда организационных и технических вопросов, обеспечивающее получение принципиально новых возможностей информационного обмена и организации проектных, строительных и эксплуатационных работ (см. рисунок).

В настоящее время автоматизированные рабочие места по ведению технической документации (АРМ-ВТД) внедрены на всей сети дорог России во всех службах и дистанциях автоматики и телемеханики ОАО «РЖД». АРМ-ВТД является современным средством организации ЭДТД по ведению технической документации на устройства СЦБ.

Для повышения эффективности ЭДТД необходимо применение электронной цифровой подписи (ЭЦП) при согласовании и утверждении технической документации.

Комплексное внедрение ЭДТД требует организации автоматизированных рабочих мест информационного обеспечения руководителей (АРМ-ИОТД), работающих в режиме просмотра технической документации, печати и электронной подписи, которые могут быть установлены в качестве отдельных программных модулей.



Комплексное внедрение систем электронного документооборота

В [1] определен порядок согласования и утверждения документов с помощью ЭЦП. Использование ЭЦП для согласования и утверждения технической документации позволяет существенно повысить скорость согласования и проверки документов и улучшить эффективность взаимодействия. При бумажной технологии один конкретный экземпляр документа последовательно утверждается несколькими должностными лицами. При этом, если происходит задержка на каком-либо этапе, увеличивается общее время его утверждения. При организации ЭДТД можно объединить процессы утверждения на одноуровневых этапах, что позволит значительно сократить общее время согласования и утверждения. Кроме этого, при организации электронного документооборота время движения документа между этапами утверждения практически равно нулю. Применение новых методов информационного обмена позволяет организовать автоматическое отслеживание состояния документа по этапам согласования. При этом с использованием систем ЭДТД появляется возможность осуществлять мониторинг и контроль за сроками выполнения этапов проектных и строительных работ. С помощью отраслевого формата технической документации на устройства СЦБ (ОФ-ТД) [2] обеспечивается информационная совместимость всех автоматизированных систем, применяемых при проектировании, строительстве, ремонте и эксплуатации систем автоматики и телемеханики.

Современные технологии ЭДТД требуют создания новых инструкций по ведению технической документации. В частности, все дороги включают в технические задания на проекты системы автоматики и телемеханики разработку технической документации в электронном виде. Логично внести эти требования в инструкцию по содержанию и ведению технической документации и предъявлять требования к содержанию электронных технических документов по способам представления и составу содержащейся в них информации.

При представлении технических документов в ОФ-ТД все элементы чертежа имеют атрибуты. Атрибуты элементов – это свойства элементов, определяющие все отличительные особенности элемента. Таким образом, общее количество свойств элементов технического документа определяется как сумма атрибутов каждого элемента, представленного на чертеже.

В нижеприведенной таблице показаны элементы, графические изображения и атрибуты элементов схематического плана станции, путевое развитие которой включает 52 стрелки.

Все элементы чертежа имеют связи между собой, отражаемые в базе данных чертежа. Любой технический документ, входящий в состав проекта СЖАТ, связан логическими связями с другими техническими документами проекта, поэтому технический документ в электронном виде должен

включать базу данных чертежа, иначе внешние и внутренние связи документа нарушаются, и он не может использоваться для автоматизированной обработки. В настоящее время часто даже в проектах, представляемых руководству дорог в электронном виде, такая информация отсутствует.

Таблица

Элементы схематического плана станции

Элемент	Количество на чертеже	Количество атрибутов	Графическое изображение	Всего атрибутов
Здание	1	3		3
Участок пути	80	13		1040
Стрелка	52	15		780
Стрелочный привод	52	8		416
Изолирующий стык	93	2		186
Тупик	5	4		20
Светофор поездной	31	22		682
Маневровый	30	19		570
Повторительный	3	18		54
Пешеходный переход	1	3		3
Платформа	2	5		10
Рельсовая цепь	53	11		583
Релейный шкаф	7	3		21
Батарейный шкаф	4	3		12
Коммутационные устройства	3	3		9
Итого				4389
Количество атрибутов на каждую стрелку				85

Важное значение имеет организация оперативного программно-технологического обслуживания ЭДТД и АРМ-ВТД. При этом достигается эффективное решение вопросов по совершенствованию программного обеспечения с использованием сетевых технологий и постоянная поддержка пользователей, работающих по сопровождению внедрения и устранению отказов систем автоматики и телемеханики.

Современные технологии обработки технической документации на устройства СЦБ позволяют организовать на новом уровне процессы систематического обучения пользователей линейных подразделений автоматики и телемеханики. Обучение должно производиться как по новым технологиям обработки и ведения технической документации с помощью АРМ-ВТД и модулей согласования и утверждения технической документации с помощью ЭЦП, так и по технологиям поиска и устранения отказов во внедряемых системах [3]. Такое обучение можно производить на этапе проектирования систем с использованием технологий моделирования на основе обработки технической документации. Обучение персонала способам устранения отказов до начала строительства систем позволит повысить качество проведения пусконаладочных работ и эксплуатации, сократить простой поездов при отказах СЖАТ.

Обеспечение непрерывного мониторинга проектирования, строительства, эксплуатации и ремонта СЖАТ на основе новых технологий ЭДТД позволит существенно сократить сроки ремонта, модернизации и ввода систем в эксплуатацию [4].

Автоматизированная система контроля качества технической документации и экспертизы схемных решений (АС-ЭСР) предназначена для всех участников процесса разработки, проектирования, изготовления, проведения пусконаладочных работ и эксплуатации систем железнодорожной автоматики и телемеханики, не имеет аналогов в отрасли, базируется на современных научных исследованиях и реализуется с использованием сетевых версий системы ЭДТД и отраслевых форматов технической документации [5].

С помощью фиксации ошибок, выявленных в процессе пусконаладочных работ в электронном виде, а также на основе данных всех видов проверок технической документации с помощью автоматизированных рабочих мест комплексного контроля качества технической документации и полной функциональной проверки систем СЦБ методами моделирования формируется база данных ошибок проектов СЖАТ и ведется библиотека описаний типовых проектных ошибок. База данных типовых проектных ошибок формируется на основе данных пусконаладочных работ на сети дорог ОАО «РЖД».

Важное значение имеет оценка качества технической документации на устройства СЦБ. При этом необходимо оценивать количество информации, содержащейся в техническом документе, достоверность этой информ-

мации, полноту описания связей между элементами, соответствие технической документации проектов стандартам и нормативно-справочной информации, количество ошибок в технической системе, реализованной на основе проекта.

В настоящее время на основе научных исследований на кафедре «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ПГУПС предложены количественные критерии для оценки качества технических документов по системам автоматики и телемеханики.

Внедрение на сети дорог России комплексной системы ЭДТД обеспечит высокую скорость обращения технической документации (от нескольких минут до одного часа), согласования и утверждения этой документации (до нескольких часов); применение электронной цифровой подписи; полный контроль за реализацией этапов проектных, строительных и пусконаладочных работ; полный контроль за поставками оборудования; экспертизу проектов и количественный контроль за качеством технической документации. Эффективность электронной технологии ЭДТД по сравнению с бумажными технологиями – на несколько порядков выше.

Такой подход, заключающийся в применении интегрированных систем электронного документооборота, создания, обработки и оценки качества технической документации на всех этапах жизненного цикла систем автоматики и телемеханики, позволяет существенно повысить эффективность проектирования, строительства, эксплуатации, ремонта и модернизации СЖАТ и улучшить информационную поддержку принятия решений на всех уровнях управления.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 34.10–2001. Информационная технология. Криптографическая защита информации. Процессы формирования и проверки электронной цифровой подписи.
2. Проблемы внедрения отраслевого формата / Н. Н. Балуев, М. Н. Василенко, В. Г. Трохов, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 3. – С. 2–4. – ISSN 0005-2329.
3. Василенко М. Н. Организация электронного документооборота на полигоне Октябрьской ж.д. при реконструкции и модернизации систем автоматики и телемеханики / М. Н. Василенко, П. Е. Булавский, Б. П. Денисов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – № 4. – 2008. – С. 67–72. – ISSN 0201-727X.
4. Василенко М. Н. Мониторинг и управление проектированием и строительством систем СЦБ / М. Н. Василенко, П. Е. Булавский, Б. П. Денисов // Автоматика, связь, информатика. – 2009. – № 12. – С. 5–7. – ISSN 0005-2329.
5. Насонов Г. Ф. Автоматизированная система мониторинга проектирования, производства, строительства и проведения пусконаладочных работ по системам СЦБ / Г. Ф. Насонов, М. Н. Василенко, П. Е. Булавский // Транспорт Российской Федерации. – 2010. – № 3. – С. 46–49. – ISSN 1994-831X.

Д. Х. Баратов, канд. техн. наук

Повышение качества технической документации на системы железнодорожной автоматики и телемеханики

Введение

В статье рассматривается международный стандарт системы менеджмента качества, этапы повышения качества работы с технической документацией на устройства железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ).

Требования технического перевооружения железнодорожного транспорта, а также повышения конкурентоспособности и эффективности отрасли диктуют необходимость повышения качества технической документации на системы ЖАТ.

Техническая документация ЖАТ – это набор документов, используемых при проектировании, создании и эксплуатации объектов сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) [1] или, иначе, это все виды электрических, монтажных схем, схем размещения и компоновки устройств СЦБ.

Повышение качества обработки, этапы технической документации

Можно выделить следующие этапы в работе, которые обеспечивают повышение качества технической документации (см. рисунок).



1. На первом этапе повышение качества и эффективности составления технической документации обеспечивается за счет применения автоматизированных систем проектирования. При синтезе схем автоматически формируется список напольных устройств СЦБ. Кроме того, здесь важную роль играет база данных оборудования и материалов устройств и систем ЖАТ.

2. Повышение производительности труда за счет автоматизации рутинных операций – важный аспект в работе с технической документацией. Уменьшение нетворческой составляющей труда обуславливает и уменьшение количества допущенных ошибок.

3. Организация процесса проектирования, постоянное обучение сотрудников, непрерывный контроль за результатами деятельности являются не менее эффективными способами повышения эффективности и качества технической документации. Важную роль играет контроль за заполнением спецификаций оборудования, используемый в строительстве или реконструкции устройств СЦБ.

В 2000 году Международная организация по стандартизации (ISO) выпустила новую версию стандартов для систем управления качеством ISO 9000. В России введены в действие три аналогичных стандарта: ГОСТ Р ИСО 9000–2001, ГОСТ Р ИСО 9001–2001, ГОСТ Р ИСО 9004–2001 [1]–[4].

Ключевое понятие, используемое в стандартах, – *Система менеджмента (управления) качества*. Особенностью стандартов является то, что они предъявляют требования не к качеству продукции напрямую, а к системе организации управления производством, которая призвана обеспечить предсказуемый и стабильный уровень качества продукции.

В соответствии с ISO 9001:2000 для организации недостаточно просто измерять степень удовлетворенности потребителя, нужно повышать эту степень. Кроме того, необходимо измерять и совершенствовать качество внутренних процессов. Постоянное улучшение – одна из основных задач управления качеством и основное положение новой версии ISO 9000, изначально присущее модели «Планируй–Делай–Проверяй–Действуй» (модель Деминга (Deming)). Суть модели Деминга и системы комплексного управления качеством (TQM total quality management) заключается в постоянном улучшении унифицированной категории *продукт/услуга* с последующим повышением степени удовлетворенности потребителя.

Заключение

Эффективное управление качеством невозможно без постоянного измерения объективных показателей качества, которые может обеспечить только автоматическая проверка.

Непрерывная реализация всех указанных направлений, способствующих повышению качества, позволит обеспечить конкурентоспособность отрасли и повысить эффективность функционирования всего транспортного комплекса.

Библиографический список

1. *Международный стандарт ИСО 8402:1994. Управление качеством и обеспечение качества. Словарь.* – М., 2001.
2. *ГОСТ Р ИСО 9000–2001. Системы менеджмента и качества. Основные положения и словарь.* – М. : ИПК Издательство стандартов, 2001. – 34 с.
3. *ГОСТ Р ИСО 9001–2001. Системы менеджмента и качества. Требования.* – М. : ИПК Издательство стандартов, 2001. – 22 с.
4. *ГОСТ Р ИСО 9004–2001. Рекомендации по улучшению деятельности.* – М. : ИПК Издательство стандартов, 2001. – 59 с.

УДК 681.326.7**A. M. Горбачев**, канд. техн. наук

Структура и принципы построения автоматизированной системы экспертизы схемных решений железнодорожной автоматики и телемеханики

Широкое внедрение информационных систем для создания и обработки технической документации на устройства железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) делает актуальным вопрос оценки качества и проведения экспертизы этой документации.

В области синтеза схем ЖАТ в настоящее время существует несколько разработок, учитывающих специфику российских железных дорог. Наиболее совершенными из них являются Автоматизированное рабочее место проектирования технической документации (АРМ ПТД) (разработчик – Петербургский государственный университет путей сообщения) и Корпоративная автоматизированная система проектирования устройств СЦБ и связи (КАСПР) (разработчик – проектный институт «Гипротранс-сигналсвязь»). Однако в отрасли полностью отсутствуют средства автоматизации экспертизы технической документации [1]. Для этой цели в настоящее время разрабатывается автоматизированная система экспертизы технической документации железнодорожной автоматики и телемеханики (АС ЭСР ЖАТ) [2]–[4].

Концепция построения АС ЭСР ЖАТ представлена на рис. 1. Основные принципы построения системы – модульность и организация обратных связей для добавления новых проверок и корректировки системы.

Для реализации концепции построения подсистемы П1 предлагается использовать набор библиотек, представленный на структурной схеме (рис. 2). На основе существующих документов (схематические и двухниточные планы, кабельные сети, схемы канализации тягового тока и т. д.) предполагается формировать объектную модель инфраструктуры железнодорожной станции или перегона, которая содержит в себе набор атрибутов данного объекта и набор представлений данного объекта для отображения на различных документах.

Для хранения атрибутов различных объектов используются соответствующие поля классов объектной модели. Сами представления также хранятся как поля соответствующих классов модели. Таким образом, обеспечивается полнота представления информации в удобной форме.

Следующим важным принципом построения АС ЭСР ЖАТ является применение специального предметно-ориентированного языка разработки.



Рис. 1 Концепция построения АС ЭСР ЖАТ

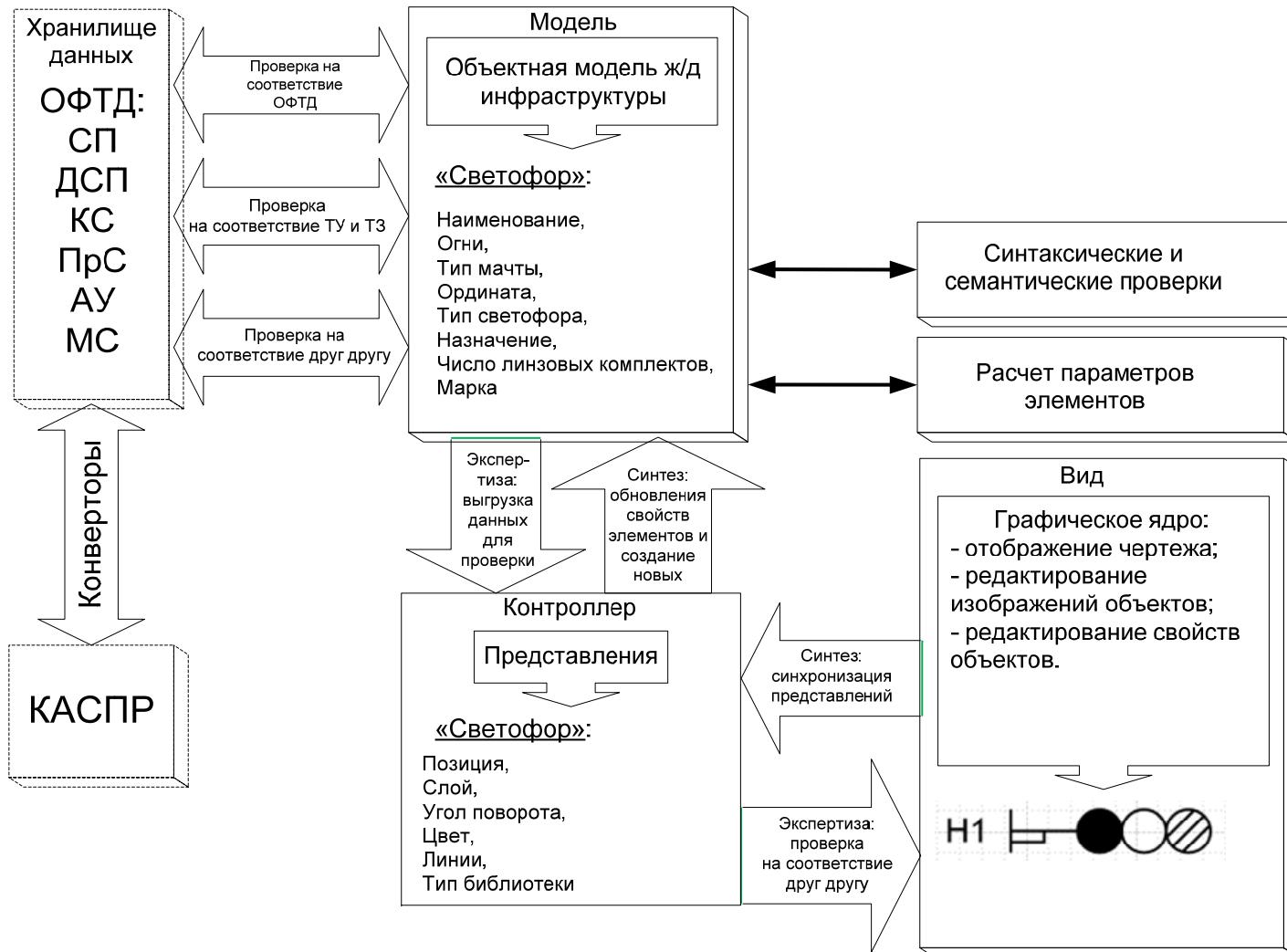


Рис. 2 Структурная схема подсистемы П1

Применение исключительно языков программирования общего назначения, в частности C# или C++, ведет к очень большим затратам времени и необоснованно усложняет систему, заставляя разработчика зачастую тратить много времени на решение технических вопросов.

Применение предметно-ориентированного языка программирования при разработке систем автоматизации проектирования, оптимизации и экспертизы схем ЖАТ позволяет отделить реализацию технологических процессов синтеза схем ЖАТ от решения технических вопросов по разработке программы. Это делает возможным передачу разработки алгоритмов опытному технологу, не владеющему в полной мере искусством программирования.

Для обработки схем железнодорожной автоматики и телемеханики разработан предметно-ориентированный язык программирования Railway Automatics Domain Specific Language «RA DSL». Одной из задач, решаемых этим языком, является компактная и интуитивно-понятная форма представления правил проверок (тестов) в системе.

Большинство проверок имеют вид:

[Имя класса](Уточнение).[Имя атрибута] [оператор равенства или сравнения] [Шаблон для сравнения], где

[Имя класса] – наименование класса объекта в модели железнодорожной инфраструктуры или представления;

(Уточнение) – уточнение типа объекта (возможно, имя объекта или шаблон, характеризующий имя объекта);

[Имя атрибута] – наименование атрибута объекта;

[оператор равенства или сравнения] – операторы «>», «<», «=», «≤», «≥», «≈», «≠»;

[Шаблон для сравнения] – эталонное значение атрибута, которое может задаваться и в виде шаблона, поэтому есть возможность формализации и упрощения записи проверок.

Пример формализованной записи проверки количества проводов:

Светофор('Имя = M*').'Число проводов' = 3.

Благодаря подобной формализации облегчается и сокращается запись многочисленных проверок.

Однако подобное представление всех тестов невозможно. В частности, для решения многих задач требуется определение специализации и направления путей на станции. Решение этой частной задачи встречается в нескольких тестах, поэтому были разработаны средства, позволяющие оформлять повторяющийся код в виде отдельных вызываемых функций.

Таким образом, решается задача построения тестов к различным проектам технической документации ЖАТ.

Библиографический список

1. *Василенко М. Н.* Автоматизация разработки, проектирования и функциональной проверки систем ЖАТ / М. Н. Василенко, Б. П. Денисов // Автоматика, связь, информатика. – 2005. – № 12. – С. 52–53. – ISSN 0005-2329.
2. *Кочетков А. А.* Система контроля и обеспечения качества проектной документации ЖАТ / А. А. Кочетков, М. Н. Василенко // Автоматика, связь, информатика. – 2006. – № 8. – С. 9–11. – ISSN 0005-2329.
3. *Безродный Б. Ф.* Автоматизация проверки проектов на основе АРМ-ТЕСТ / Б. Ф. Безродный, М. Н. Василенко // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 9. – С. 22–24. – ISSN 0005-2329.
4. *Тележенко Т. А.* Автоматизированная система экспертизы схемных решений ЖАТ / Т. А. Тележенко // Автоматика, связь, информатика. – 2009. – № 5. – С. 24–26. – ISSN 0005-2329.

P. T. Мустафаев

Автоматизация экспертизы технической документации на соответствие техническим условиям и техническому заданию на проектирование

Введение

В настоящее время технические условия (ТУ) и техническое задание (ТЗ) на проектирование объектов железнодорожной инфраструктуры выполняются полностью вручную в различных текстовых редакторах, как правило, на основе шаблонов. Проверка проекта на соответствие техническому заданию и техническим условиям полностью выполняется вручную. При этом высока роль человеческого фактора – от квалификации проверяющего эксперта зависит полнота и качество проверок.

1 Реализация решения задачи автоматизации работы с проектной документацией

Для решения проблем автоматизации экспертизы технической документации (ТД) в НТЦ САПР ПГУПС (Научно-технический центр систем автоматизированного проектирования Петербургского государственного университета путей сообщения) разработан «Менеджер проекта». Данная программа содержит в себе два модуля: «Редактор ТУ и ТЗ» и «Модуль соответствия проекта».

Первый модуль занимается формированием ТУ и ТЗ с использованием библиотек ответов пользователя. Сегодня процесс составления данных документов является редактированием файла в среде MS Word, и каждое новое ТУ или ТЗ отличается от предыдущего. Данный модуль сокращает время составления этих документов, а также их обработку.

Второй модуль проверяет соответствие технической документации данным, указанным в ТУ и ТЗ. Для правильного функционирования этого модуля были разработаны алгоритмы, реализованные при помощи языка DSL.

Первостепенной задачей стало создание среды для составления ТУ и ТЗ. Для реализации поставленной задачи был использован язык программирования F# (F Sharp), а также, расширяемый язык разметки XML.

Для создания оболочки «Менеджера проекта» используется язык F#, а для оперирования информацией (сохранение, открытие, конвертация, использование и т. д.) – язык XML.

«Менеджер проекта», помимо его прочих функций, представляет собой программный продукт, позволяющий составлять из набора проектной документации целый проект. В перечень категорий добавляемой ТД входят:

- схематический план станции (СПС);
- двухниточный план станции (ДПС);
- кабельные сети (КС);
- принципиальные схемы (ПС);
- монтажные схемы (МС);
- аппарат управления (АУ);
- таблицы взаимозависимостей (ТВЗ);
- спецификации;
- описи.

Пользователь имеет возможность сортировать все типы ТД и сохранять сформированный проект. Сам файл проекта – это XML документ, содержащий пути и названия всех составляющих его документов. Программа может как сохранить все файлы ТД в указанном месте, так и просто хранить пути к этим файлам. В дальнейшем пользователь открывает только файл проекта, программа сама загружает все связанные с ним файлы.

На рис. 1 показано окно программы «Менеджер проекта».

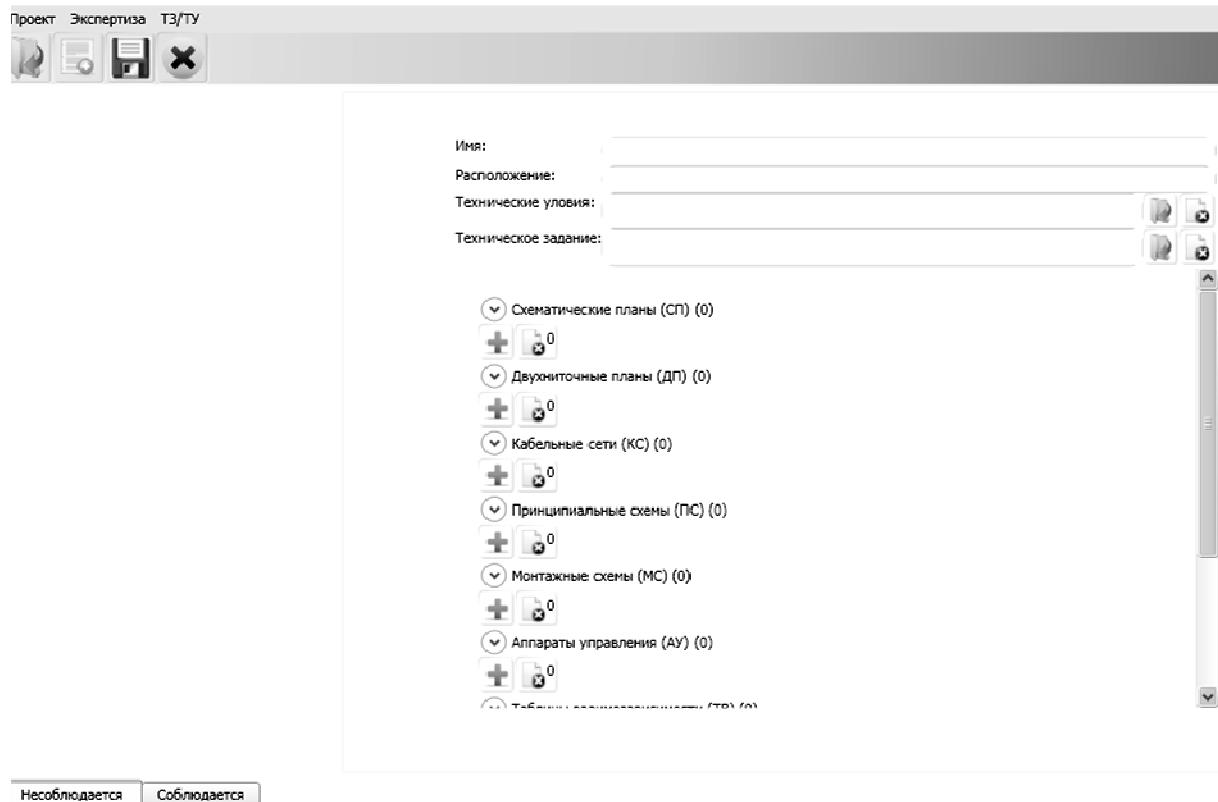


Рис. 1 «Менеджер проекта»

2 Редактор ТУ и ТЗ

Следующей важной задачей для разработки подобной системы была формализация ТУ и ТЗ. Формализация подразумевает под собой создание некой библиотеки, содержащей в себе перечень возможных ответов пользователя.

Для упрощения работы пользователя ему предоставляется шаблон ТУ или ТЗ, т. е. он вносит изменения прямо в документ. Такая концепция значительно упрощает способ составления этих документов и является интуитивно понятной. На рис. 2 приведено окно редактора ТУ и ТЗ, в котором открыт шаблон для составления ТЗ на электрическую централизацию (ЭЦ).

Перечень основных данных и требований	Основные данные и требования
1. Основание для проектирования	1.1. Не указано
Заказчик	1.2. Не указано
Источник финансирования	1.3. Не указано
2. Срок проектирования	
3. Срок строительства	Не указано СП-2 СП-2Р СП-3 СП-6 СП-6М СП-6БМ СП-12 СП-12У СПВ-5 СПВ-6 СПГ-2 СПГ-3 СПГ-3М СПГБ-4 СПГБ-4М СПГБ-4Б ВСП-150 СПГБ-4.2М СП-6К ВСП-70К ВСП-220 ВСП-220Н ВСП-220К ВСП-150 ВСП-150Н ВСП-150К СП-6МК СП-7К
4. Вид строительства	Не указано
5. Стадийность проектирования	Не указано
6. Проектная организация	Не указано
7. Подрядная строительная организация	Не указано
8. Основные технико-экономические показатели	8.1. Количество стрелок – <input type="text"/>
9. Условия проектирования	9.1. Район строительства – Ивановск 9.2. Тип участка – Однопутный. 9.3. Вид тяги – Постоянный ток.
10. Выделение пусковых комплексов	10.1. <input type="text"/>
11. Основные требования к проектированию	11.1. Запроектировать на станции эл ^т централизацию – ЭЦ-ЕМ. 11.2. Рельсовые цепи – ТРЦЗ. 11.3. Кодирование – АЛСН 25 Гц. 11.4. Марка ДТ – ДТ-0,2-1000 с защищ. 11.5. Стрелочные электроприводы – <input type="text"/> Не указано 11.6. Сопротивление балласта – <input type="text"/> Ом/км. 11.7. Система технической диагностики и мониторинга – Не указано

Рис. 2 Фрагмент окна «Редактора ТЗ и ТУ»

Библиотека, из которой производится выбор нужных параметров, может составляться самим пользователем и легко редактируется им же. Вид диалогового окна редактора библиотеки приведен на рис. 3.

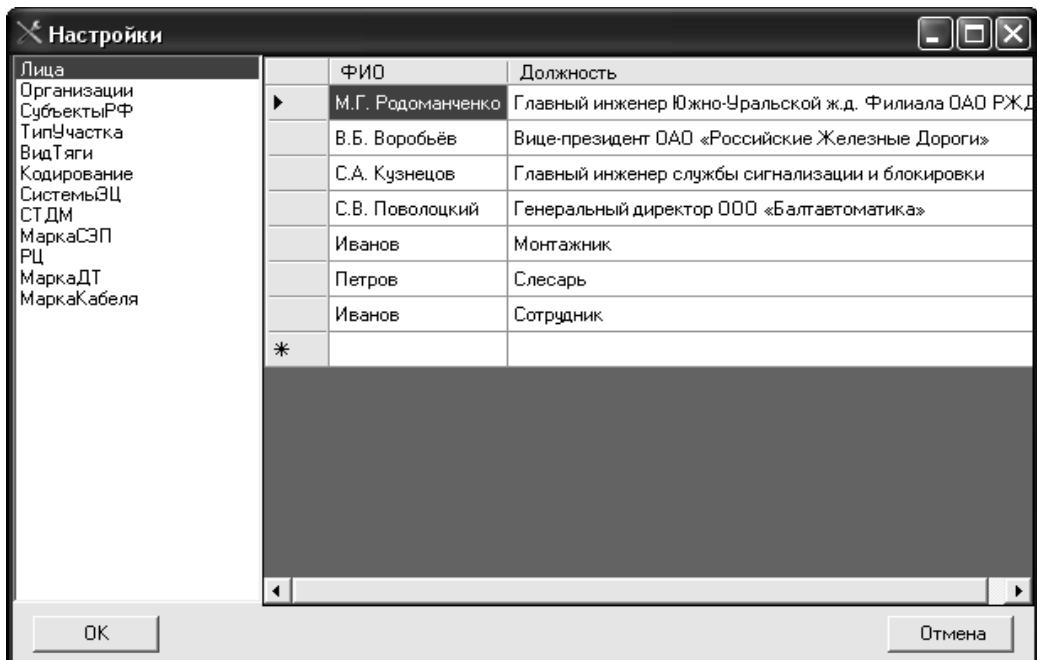


Рис. 3 Окно редактора библиотеки

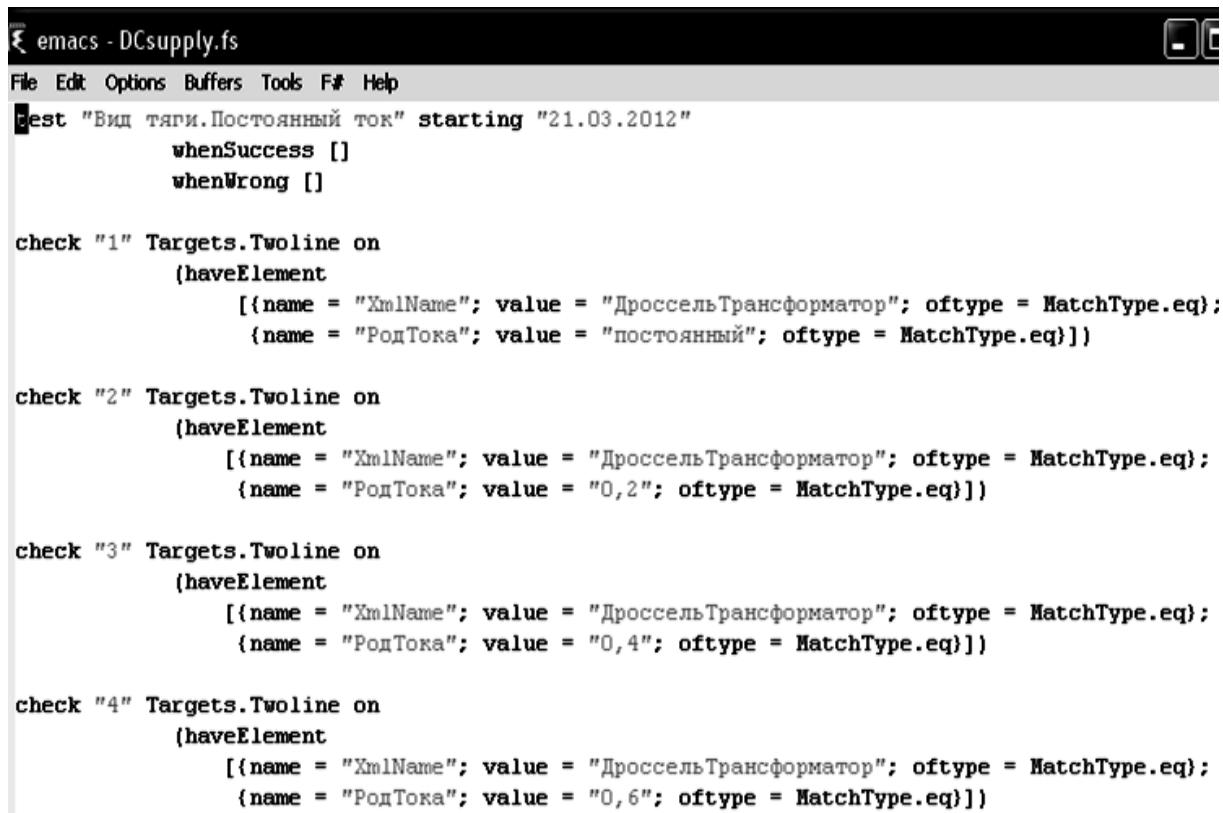
3 Разработка модуля для проверки технической документации на соответствие техническим условиям и техническому заданию

Аналитическую роль в данной задаче удалось решить при помощи языка DSL. Когда пользователь формирует, например ТЗ, после сохранения документа появляется возможность его обработки при помощи программных средств. Файлы ТЗ и ТУ создаются на языке XML и имеют расширения «.oftz» и «.oftu» соответственно. Для проверки на соответствие применяется алгоритм анализа исходных данных. Ими являются сам файл ТЗ/ТУ, а также какой-либо из указанных заранее (указывается в коде теста) документов из ТД.

Сам интерфейс модуля по проверке качества ТЗ/ТУ интегрирован в «Менеджер проекта» таким образом, что пользователь имеет возможность посмотреть, какие из документов проекта подвергаются проверке в данный момент. По окончании проверки пользователю предоставляется отчет о соответствии тем или иным пунктам, требований, указанных в ТЗ и ТУ.

Стоит заметить, что для обработки ТД необходимо ее составление в так называемом *отраслевом формате технической документации* (ОФТД СЦБ). Это вызвано тем, что остальные форматы представления ТД не содержат достаточное количество данных, необходимых для проведения автоматизированной экспертизы.

Структура одного из тестов, в котором производится проверка вида тяги на станции, показана на рис. 4.



```
emacs - DCsupply.fs
File Edit Options Buffers Tools F# Help
Test "Вид тяги.Постоянный ток" starting "21.03.2012"
    whenSuccess []
    whenWrong []

check "1" Targets.Twoline on
    (haveElement
        [{name = "XmlName"; value = "ДроссельТрансформатор"; ofType = MatchType.eq};
         {name = "РодТока"; value = "постоянный"; ofType = MatchType.eq}])

check "2" Targets.Twoline on
    (haveElement
        [{name = "XmlName"; value = "ДроссельТрансформатор"; ofType = MatchType.eq};
         {name = "РодТока"; value = "0,2"; ofType = MatchType.eq}])

check "3" Targets.Twoline on
    (haveElement
        [{name = "XmlName"; value = "ДроссельТрансформатор"; ofType = MatchType.eq};
         {name = "РодТока"; value = "0,4"; ofType = MatchType.eq}])

check "4" Targets.Twoline on
    (haveElement
        [{name = "XmlName"; value = "ДроссельТрансформатор"; ofType = MatchType.eq};
         {name = "РодТока"; value = "0,6"; ofType = MatchType.eq}])
```

Рис. 4 Структура теста

В любом из тестов может использоваться как большое количество условий, так и одно условие. В итоге внутри тестового кода составляется функция алгебры логики (ФАЛ) с логическим сложением и/или логическим умножением. После составления теста на то или иное условие он подвергается проверке в различных условиях для подтверждения его корректности.

Заключение

Работа, описанная в данной статье, сегодня перспективна и востребована. Тема экспертизы ТД проектов СЦБ только недавно начала разрабатываться в полном объеме. Автоматизация экспертизы ТД и, в частности, создание формализованного документа-требования (ТУ и ТЗ) актуальна как инструмент общения между заказчиком и исполнителем. Кроме того, сама по себе автоматизация экспертизы улучшает выходное качество проектов СЦБ, а также сокращает расходы при пусконаладочных работах.

При написании статьи использован следующий источник: *Averill M. Law, W. David Kelton. Simulation modeling and analysis, Osborne. – 2004. – Pp. 249–284.*

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ

УДК 656.25+681.5.08

***Н. А. Богданов
Д. В. Новиков***

Измерение усилия перевода стрелочного электропривода с асинхронным электродвигателем

Развитие систем технического диагностирования и мониторинга (ТДМ) устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) непосредственно влияет на изменение выполнения графика технологического процесса обслуживающим персоналом дистанций сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ).

Наиболее трудозатратными работами в обслуживании устройств СЦБ являются работы по стрелочным электроприводам (СЭП) [1], [2], к тому же от них системам ТДМ трудно получить диагностическую информацию, так как большая часть аппаратуры СЭП удалена от поста электрической централизации (ЭЦ). Кроме контроля наличия крайнего положения стрелки («плюсового» или «минусового»), времени перевода, замыкания стрелки в маршруте и тока фрикции (для СЭП с электродвигателями постоянного тока) отечественные системы ТДМ обслуживающему персоналу дистанции не предоставляют никакой информации. В настоящее время ведется опытная эксплуатация устройств ТДМ, позволяющих определять усилие перевода СЭП с электродвигателями переменного тока путем измерения фазовых соотношений [3], но пока никакой информации об этом не предоставлялось.

Работы по измерению усилия перевода в дистанциях СЦБ выполняются обслуживающим персоналом при помощи механического устройства УКРУП-1 в соответствии с технологической картой № 22 [4].

Данная статья посвящена проблеме измерения усилия перевода СЭП с асинхронными электродвигателями и применению данного метода для удаленного контроля технического состояния СЭП.

При поиске путей решения указанной выше проблемы интерес представляет опыт зарубежных разработчиков различных диагностических комплексов. К примеру, разработчики системы POSS (Strukton Railinfra, Нидерланды), применяемой на железных дорогах Нидерландов и Германии, для диагностирования стрелочных переводов подключают устройства

измерения в цепи питания электродвигателей [5], [6]. При каждом переводе стрелки происходит сравнение графика перевода в данный момент с графиком перевода при исправной работе стрелки. При отклонении измеренных параметров от эталонных обслуживающему персоналу подается сигнал тревоги о необходимости технического обслуживания данной стрелки.

Несколько иной подход избрали разработчики системы SidisW (SiemensTranspirationSystems (TS), Германия). В данной системе [7] состояние стрелочных переводов диагностируется на основе пропорциональности между усилием перевода стрелки и активной мощностью электродвигателя. Контролируемые параметры регистрируются во время перевода стрелки. По установленным значениям строится кривая активной мощности как функция от времени, по которой оценивается техническое состояние стрелочного перевода. Система SidisW позволяет выявлять следующие виды нарушений в работе: замедленный перевод стрелки, деформацию остряка, увеличенный или уменьшенный люфт замыкателя стрелки, дефекты устройств электропитания, электродвигателя, контактов и кабельных линий. Данная система применяется для анализа работы устройств СЦБ на железных дорогах Германии.

В задачу электродвигателя (ЭД) СЭП входит преобразование электрической энергии в механическую, которая приводит в действие элементы СЭП и переводит стрелку.

При преобразовании электрической энергии в механическую в асинхронном ЭД возникают потери. Ввиду этого полезная мощность P_2 на валу ЭД всегда меньше мощности на входе (потребляемой мощности) P_1 на величину потерь $\Sigma P_{\text{пот}}$ [8]:

$$P_2 = P_1 - \sum P_{\text{пот}}. \quad (1)$$

Потери $\Sigma P_{\text{пот}}$ расходуются на нагрев ЭД и делятся на основные и добавочные. Основные включают в себя следующие виды потерь:

- магнитные P_m (потери на гистерезис и вихревые токи при перемагничивании сердечника);
- электрические P_e (нагрев обмоток статора проходящими по ним токами);
- механические $P_{\text{мех}}$ (потери на трение в подшипниках и вентиляцию);
- добавочные потери $P_{\text{доб}}$ (включают в себя все виды трудноучитываемых потерь, вызванных действием высших гармоник магнитодвижущих сил, пульсацией магнитной индукции в зубцах и другими причинами).

Таким образом, суммарная мощность потерь определяется по следующей формуле:

$$\sum P_{\text{пот}} = P_{\text{м}} + P_{\text{э}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{доб}}. \quad (2)$$

Из всех видов потерь ЭД переменными (зависящими от нагрузки на валу) являются только электрические и добавочные потери. Величина электрических потерь определяется значением нагрузки на валу ЭД, т. е. зависит от значений токов в обмотках статора. Величину добавочных потерь можно не учитывать ввиду того, что их значение пренебрежимо мало (в соответствии с ГОСТом добавочные потери асинхронных двигателей принимаются равными 0,5 % от подводимой к двигателю мощности).

Величина электрических потерь пропорциональна квадрату тока в обмотке статора:

$$P_{\text{э}} = m_1 \cdot I_{\text{обм}}^2 \cdot r_{\text{обм}}, \quad (3)$$

где m_1 – количество фаз ЭД;

$I_{\text{обм}}$ – ток в одной из обмоток ЭД, А;

$r_{\text{обм}}$ – активное сопротивление обмотки ЭД, Ом.

Величина потерь $\Sigma P_{\text{пот}}$ в ЭД учитывается его коэффициентом полезного действия (КПД) η . Через η полезная мощность на валу электродвигателя связана с потребляемой ЭД мощностью следующим соотношением:

$$P_2 = P_1 \cdot \eta. \quad (4)$$

КПД является величиной, которая зависит от нагрузки на валу. С достаточной для практических расчетов точностью его значение для различных степеней нагрузки, которые определяются отношением мощности на валу электродвигателя к паспортному значению данной величины

$$\beta = \frac{P_2}{P_{2H}} \quad [8]:$$

$$\eta = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{\eta_H} - 1 \right) \left(\frac{\alpha}{\beta} + \beta \right)}, \quad (5)$$

где η – КПД при номинальной загрузке ЭД (определяется по паспортным данным);

α – коэффициент потерь.

Коэффициент потерь ЭД α представляет собой отношение постоянных потерь (ΔP_0) к переменным ($\Delta P_{\text{пер}}$) при номинальной нагрузке:

$$\alpha = \frac{\Delta P_0}{\Delta P_{\text{пер}}} = \frac{P_{\text{м}} + P_{\text{мех}}}{P_{\text{э}} + P_{\text{доб}}}. \quad (6)$$

Ввиду того, что значение КПД варьируется в зависимости от нагрузки на валу ЭД, изменяется также и значение полезной мощности на валу.

Выразим переводное усилие СЭП через полезную мощность на валу ЭД.

Развиваемый на валу ЭД момент М и полезная мощность ЭД связаны соотношением:

$$M = \frac{P_2}{\omega}, \quad (7)$$

где ω – угловая синхронная скорость вращения, $\frac{1}{\text{с}}$.

Выразив угловую скорость вращения ω через n – частоту вращения ЭД и подставив полученное значение в выражение (7), получим:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}. \quad (8)$$

Подставляя (8) в (7), получаем:

$$M = \frac{P_2}{\omega} = \frac{P_2}{\frac{2\pi n}{60}} = 9,554 \cdot \frac{P_2}{n}. \quad (9)$$

Полученная зависимость относится к рабочим характеристикам асинхронного ЭД. График данной характеристики представлен на рисунке. Таким образом, по известному значению полезной активной мощности можно взаимно однозначно определить момент, развивающийся на валу ЭД.

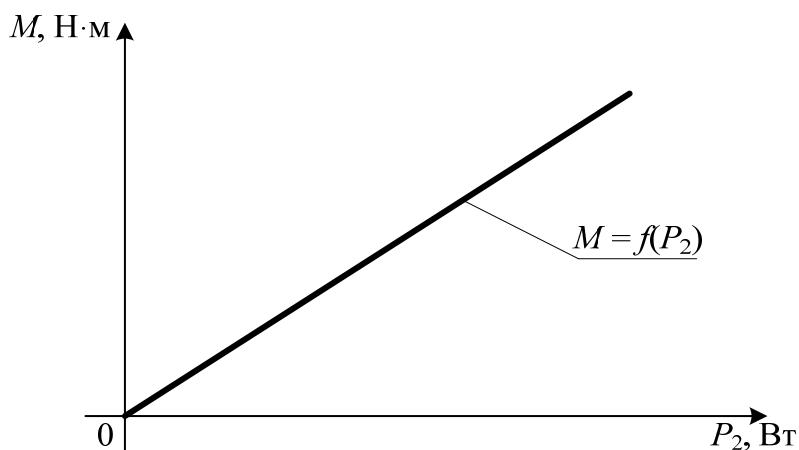


График зависимости $M = f(P_2)$

Момент силы на выходе редуктора связан с моментом на валу ЭД следующим соотношением [1]:

$$M_c = M \cdot \xi \cdot \eta, \quad (10)$$

где M_c – момент силы на главном валу;

ξ – передаточное число редуктора, $\xi = 70,5$;

η – КПД редуктора; $\eta = 0,9$ [1].

Подставив в формулу (10) вместо M_c его значение (9), получим:

$$M_c = \frac{9,554 \cdot P_2 \cdot \xi \cdot \eta}{n}. \quad (11)$$

Согласно [10] для СЭП нормируется усилие перевода. Ввиду этого целесообразно выразить переводное тяговое усилие F [1], [4] через значение момента на валу M_c . Известно [2], что зависимость момента на валу и тяговое усилие на валу определяются выражением:

$$M_c = F \cdot r_{ш}, \quad (12)$$

где $r_{ш}$ – радиус шестерни главного вала, м ($r_{ш} = 0,04$ м).

Подставив выражение (12) в формулу (11), получим:

$$F \cdot r_{ш} = \frac{9,554 \cdot P_2 \cdot \xi \cdot \eta}{n}. \quad (13)$$

Из (13) нетрудно выразить значение полезной мощности P_2 :

$$P_2 = \frac{F \cdot r_{ш} \cdot n}{9,554 \cdot \xi \cdot \eta}. \quad (14)$$

Полученное выражение позволяет определить значения полезной мощности на валу ЭД, соответствующие переводным усилиям при работе СЭП на фрикционю, а также при нормальном переводе.

Рассчитаем значения полезной мощности ЭД при работе СЭП на фрикционю (P_2^{\min} и P_2^{\max}) и при нормальной работе ($P_2^{\text{норм}}$) для стрелки с типом рельсов Р65 марки 1/9 и 1/11 с гибкими остряками. Подставив значения переводных усилий [4] в формулу (9), получим следующие значения полезной мощности:

$$P_2^{\min} = \frac{850 \cdot 3530,394 \cdot 0,04}{9,554 \cdot 70,5 \cdot 0,9} = 198,001 \text{ Вт};$$

$$P_2^{\max} = \frac{850 \cdot 3922,660 \cdot 0,04}{9,554 \cdot 70,5 \cdot 0,9} = 220,010 \text{ Вт};$$

$$P_2^{\text{норм}} = \frac{850 \cdot 2843,92 \cdot 0,04}{9,554 \cdot 70,5 \cdot 0,9} = 159,506 \text{ Вт}.$$

Для оценки значения полезной мощности на валу можно использовать электрические параметры ЭД и его паспортные данные. Потребляемая ЭД активная мощность и его полезная мощность на валу (при симметричной системе напряжений) связаны соотношением:

$$P_2 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \eta \cdot \cos \varphi, \quad (15)$$

где U, I – линейное напряжение и фазный ток;

$\cos \varphi$ – фазный коэффициент мощности.

С учетом соотношения (5) формула (15) записывается так:

$$P_2 = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \eta \cdot \cos \varphi}{1 + \left(\frac{1}{\eta_h} - 1 \right) \left(\frac{\alpha}{\beta} + \beta \right)}. \quad (16)$$

Применение данного метода расчета полезной мощности ЭД СЭП позволит телемеханически с использованием систем ТДМ контролировать техническое состояние СЭП и стрелочного перевода, своевременно реагировать на отклонение контролируемого параметра от установленных норм, тем самым предотвращать отказы, а также автоматизировать отдельные работы по техническому обслуживанию устройств СЦБ.

На данном этапе необходимо подтвердить данную теорию и расчет экспериментально.

Библиографический список

1. Резников Ю. М. Электроприводы железнодорожной автоматики и телемеханики / Ю. М. Резников. – М. : Транспорт, 1985. – 288 с.
2. Стационарные основы автоматики и телемеханики : учеб. пособие / Вл. В. Сапожников, Б. Н. Елкин, И. М. Кокурин и др. – М. : Транспорт, 1997. – 432 с.
3. Чухонин В. М. Измерение фазовых соотношений в стрелочных электроприводах с двигателями переменного тока / В. М. Чухонин, Б. Л. Горбунов // Разработка и эксплуатация новых устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. тр. под. ред. Вл. В. Сапожникова. – СПб. : ПГУПС. 2004. – С. 21–24.
4. Устройства СЦБ. Технология обслуживания : Сборник технологических карт. – М. : Транспорт, 1999. – 433 с.
5. Seidl K. VAE ROADEMASTER 2000: Taiwan High-Speed Rail Project // Signal + Draht. – 2003. – № 12. – Пр. 39–40.
6. Казанская И. В. Тарасенкова А. В. Диагностика стрелочных переводов // Тематическая подборка к сетевой школе. Диагностика устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. Инв. № 278649. – Новосибирск, 2005.
7. Domingues Jose Luis M. Diagnostic levels in railway applications // Signal + Draht. – 2004. – № 1/2. – Пр. 31–34.
8. Кацман М. М. Электрические машины : учеб. пособие. – 3-е изд. испр. / М. М. Кацман. – М. : Высш. шк.; Издательский центр «Академия», 2001. – 463 с.
9. Лихачев В. Л. Электродвигатели асинхронные / В. Л. Лихачев. – М. : СОЛОН-Р, 2002. – 304 с.

**C. A. Куренков
O. A. Котова**

Особенности работы комплекса задач «Мониторинг» на участках движения скоростных поездов

Введение

В настоящее время на сети железных дорог России внедряются микропроцессорные системы технической диагностики и мониторинга (СТДМ) устройств СЦБ. СТДМ осуществляют сбор информации о состоянии устройств СЦБ, на уровне дистанции концентрируют данную информацию, производят логическую обработку данных для выявления отказных и предотказных состояний устройств СЦБ [1].

На определенном этапе развития СТДМ появилась возможность создать отдельную структуру для постоянного непрерывного анализа технологических ситуаций и организации работ по их оперативному устранению – дорожные центры диагностики и мониторинга (ЦДМ). Создание данных центров было предусмотрено в эксплуатационно-технических требованиях на СТДМ. Первый ЦДМ был построен в 2006 году на Октябрьской железной дороге [2].

Для создания ЦДМ были разработаны специальные программные средства – Комплекс задач (КЗ) «Мониторинг» [3]. Основное клиентское приложение КЗ «Мониторинг» позволяет получать в реальном масштабе времени информацию о поездном положении, состоянии устройств СЦБ на участке контроля, а также обо всех выявленных и зафиксированных СТДМ отказных и предотказных ситуациях. На рис. 1 информация о выявленных ситуациях приведена в виде списка в нижней части экрана.

Задача технологов ЦДМ – проанализировать выявленные ситуации. Данный процесс усложняется за счет того, что работы по техническому обслуживанию устройств и плановые ремонтные работы на объектах инфраструктуры имеют проявления, аналогичные реальным отказным и предотказным состояниям устройств СЦБ, и их количество в рабочие дни может достигать 90 % всех выявляемых ситуаций.

При наличии на участке контроля движения скоростных поездов перед технологами ЦДМ ставится задача – отслеживать состояние устройств СЦБ по маршруту движения поездов для максимально быстрого обнаружения сбойных ситуаций. Разработчиками программного обеспечения «Мониторинг» совместно с технологами Центра мониторинга Октябрьской ж. д. были произведены необходимые для решения данных задач изыскания.

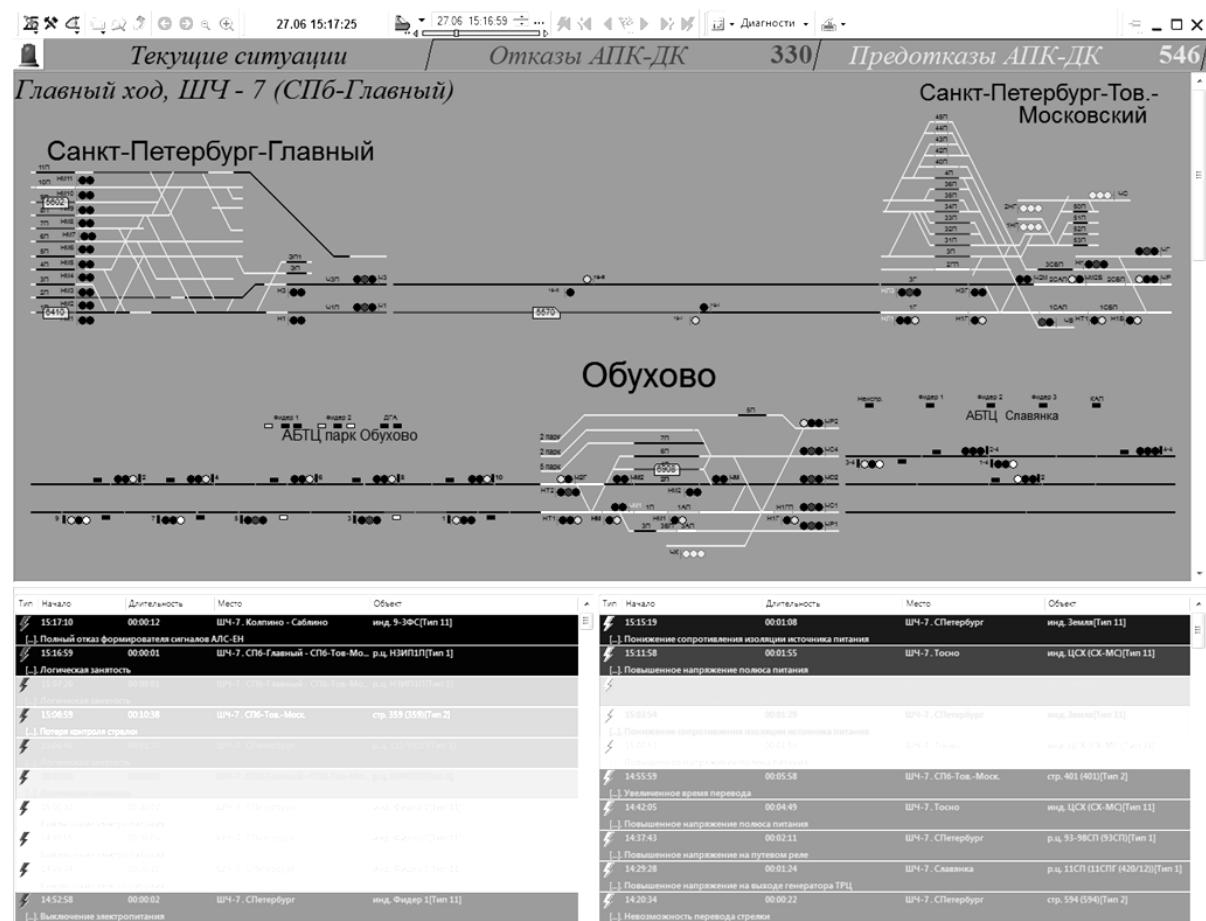


Рис. 1 Клиентское приложение КЗ «Мониторинг»

1 Определение местоположения скоростных поездов и их отклонение от графика движения

Первая решенная задача – определение местоположения скоростного поезда. Для этого организовано информационное взаимодействие дорожного сервера мониторинга устройств СЦБ и дорожного сервера движеческой системы «ГИД-УРАЛ», в которой присутствует реальный номер поезда. Сервер «ГИД-УРАЛ» передает информацию о номере поезда и состоянии рельсовой цепи (РЦ), на которой он находится, а также один раз в сутки (в 0 часов) – расписание движения скоростных поездов по дороге на следующий день. Данная информация передается на дистанционный сервер диагностики (ДДЦ). ДДЦ имеет собственную информацию о наличии поездов на участке контроля, полученную на основе оценки последовательности занятия и освобождения РЦ. Данные поезда имеют внутренние системные номера. При получении информации о нахождении на одной рельсовой цепи системного поезда СТДМ и поезда в системе «ГИД-УРАЛ» внутренний системный номер поезда заменяется на реальный из системы «ГИД-УРАЛ».

На основании расписания движения поездов, полученного от сервера «ГИД-УРАЛ», для скоростных поездов вычисляются отклонения от графика движения в минутах. Эта информация указывается в табличной форме, а также на плане станций и перегонов рядом с номерами поездов (рис. 2).

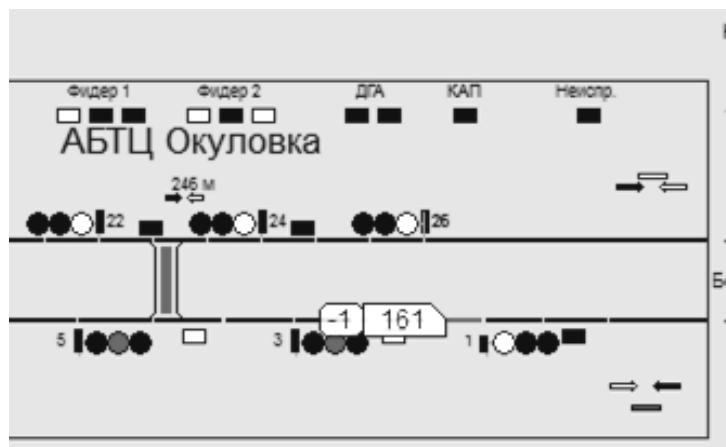


Рис. 2 Отображение скоростных поездов
в КЗ «Мониторинг»

2 Выявление влияющих на движение скоростных поездов ситуаций

При нормальном режиме работы клиентского приложения «Мониторинг» в списках отказных и предотказных ситуаций отображаются все ситуации для выбранного участка наблюдения. Реализация задачи выделения ситуаций для скоростных поездов потребовала введения дополнительных данных в базу нормативно-справочной информации (НСИ) СТДМ. Для каждой запроектированной ситуации может быть дополнительно указано, влияет ли она на движение нечетных или четных скоростных поездов (для ситуации на объектах соответствующего направления) или на движение поездов в обоих направлениях (общестанционные ситуации). Наличие данной информации позволяет сформировать для каждого поезда минимизированный список ситуаций на пяти впередилежащих станциях и перегонах между ними.

При включении в клиентском приложении КЗ «Мониторинг» режима отслеживания скоростных поездов формируется список ситуаций для всех скоростных поездов на участке контроля, сформированный по вышеприведенному правилу. При выборе в левой части списка конкретного поезда выдается список только его ситуаций (рис. 3).

Автоматизированные системы контроля

157 ->	-6 мин.	Лихославль	-	Дорошиха	-	Тверь	-	Редкино	-	Завидово	-	Решетниково			
158 <-	+0 мин.	Малая Вишера	-	Бурга	3 /	Мстинский Мост	-	Торбино	-	Боровенка	-	Окуловка			
159 ->	+43 мин.	Бологое-Московское	-	Бушевец	-	Академическая	1	Леонтьево	-	Вышний Волочек	1	Елизаровка			
160 <-	+0 мин.	Мстинский Мост	-	Торбино	-	Боровенка	-	Окуловка	-	Угловка	-	Алешинка			
161 ->	-1 мин.	Боровенка	-	Окуловка	-	Угловка	-	Алешинка	1	Березайка	-	Бологое-Московское			
162 <-	+0 мин.	Поварово 1	-	Крюково	-	Сходня	-	Химки	-	Хоркино	-	Москва-Товарная-Октябрь			
Тип	Начало	Длительность	Место	Объект	Тревожность	Скоростная	Кол-во просмотров	Тип	Начало	Длительность	Место	Объект	Тревожность	Скоростная	Кол-во просмотров
⚡	16:10:48	00:00:14	ШЧ-5, Бурга инд. Авария..	1	нечет. чет.	0		⚡	16:23:33	00:10:37	ШЧ-1, Хоркино	св. 2Ч[Тип 3]	3	чет.	1
[...]	Некорректность ИБП							[...]	Уменьшенное время перерыва						
⚡	16:10:47	00:00:14	ШЧ-5, Бурга инд. Неисп..	1	нечет. чет.	0		⚡	16:20:37	00:13:33	ШЧ-1, Хоркино	св. 2ЧМ[Тип 3]	3	чет.	1
[...]	Некорректность ИБП							[...]	Уменьшенное время перерыва						
⚡	16:10:37	00:00:17	ШЧ-5, Бурга инд. КАП[Ти...	0	нечет. чет.	0		⚡	16:19:35	00:03:58	ШЧ-1, Хоркино	св. 2Ч[Тип 3]	3	чет.	0
[...]	Некорректность питанияющей установки							[...]	Увеличенное время перекрытия						
⚡	15:57:03	00:37:07	ШЧ-4, Выш... инд. Н[Тип 11]	0	нечет.	1		⚡	16:10:48	00:00:14	ШЧ-5, Бурга	инд. Байпас[Тип 11]	2	нечет. чет.	0
[...]	Невключение скоростного режима для нечетного поезда							[...]	Включение питания в обход ИБП						
⚡	11:42:23	04:45:57	ШЧ-4, Ака... инд. ВС[Тип 1]	1	нечет. чет.	0		⚡	07:23:06	09:11:04	ШЧ-5, Боровенка	инд. Поезд[Тип 11]	3	нечет. чет.	1
[...]	Срабатывание охранной сигнализации							[...]	Уменьшенное время 688						
⚡	19:06:16:08...	8:00:25:26	ШЧ-4, Ака... инд. ВС[Тип 1]	0	нечет. чет.	1		⚡	26.06.11:50:45	1д 04:43:25	ШЧ-5, Торбино	стр 1/1С (1/1С)[Тип 2]	0	чет.	1

Рис. 3 Список ситуаций для скоростных поездов

3 Выявление невключения режима скоростного движения

В СТДМ при включении скоростного режима загорается зеленым цветом соответствующий индикатор на плане станции. Индикатор выполняется в виде стрелы, расположенной по направлению установленного скоростного режима (рис. 4).

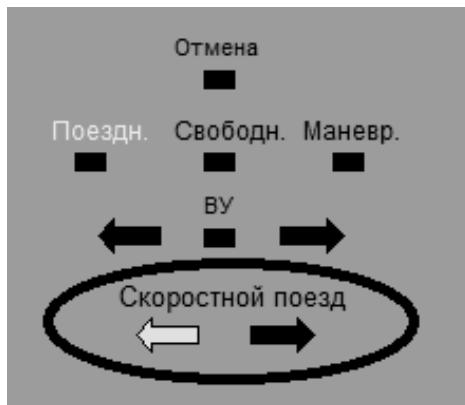


Рис. 4 Индикация включенного режима скоростного движения

Регламент движения скоростных поездов предусматривает включение скоростного режима на станциях не позднее чем за 10 минут до времени проследования станции скоростным поездом. При невыполнении дежурным по станции своих функций либо при возможных отключении скоростного режима снижается разрешенная скорость движения, формируемая автоматической локомотивной сигнализацией АЛС-ЕН. Для свое временного определения данной ситуации в КЗ «Мониторинг» был разработан и внедрен на дистанционных серверах диагностики алгоритм анализа включения скоростного режима (рис. 5).

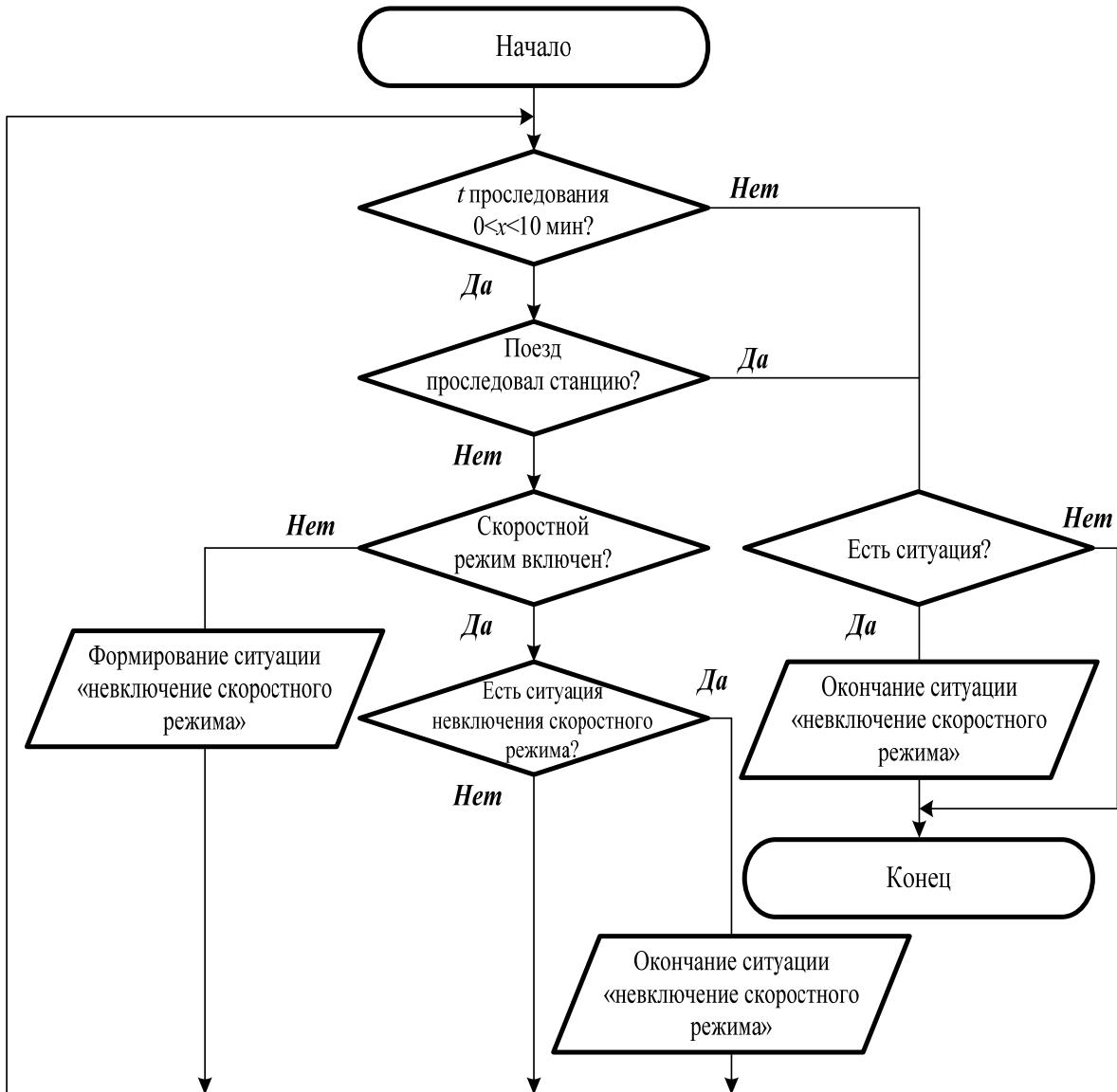


Рис. 5 Алгоритм выявления невключения скоростного режима

На основании полученной информации о номере поезда и расписания движения скоростного поезда за 10 минут до его проследования через данную станцию начинается работа алгоритма: анализируется включение стрелы скоростного режима соответствующего направления. При первонаучальном невключении или при возможном отключении скоростного режима формируется ситуация, которая выводится инженерам по мониторингу на уровне дистанций и службы. Если рассматривается ситуация после проследования поезда, то она завершается и удаляется из списка.

Появление данной функции позволило практически исключить случаи задержек поездов по причине невключения или преждевременного отключения режима скоростного движения.

Заключение

Внедрение рассмотренных функций в программное обеспечение СТДМ значительно повысило эффективность работы технологов дорожно-го центра диагностики и мониторинга Октябрьской ж. д. по контролю за движением скоростных поездов. В настоящее время идет внедрение данных функций в ЦДМ Московской и Горьковской железных дорог.

Библиографический список

1. Насонов Г. Ф. Цель – повышение надежности устройств ЖАТ / Г. Ф. Насонов // Автоматика, связь, информатика – 2012. – № 6. – С. 2–4. – ISSN 0005-2329.
2. Москвина Е. А. Развитие центра диагностики и мониторинга / Е. А. Москвина // Автоматика, связь, информатика. – 2009. – № 11. – С. 2–6. – ISSN 0005-2329.
3. Система технического диагностирования и мониторинга. Комплекс задач мониторинга функционирования устройств ЖАТ / В. В. Нестеров // Руководство по эксплуатации. Руководство пользователя 643.1115842.07.01РЭ.03. Санкт-Петербург, 2007. – 61 с.

A. V. Тарасов

Система контроля безопасности движения поездов вблизи путепроводов

Введение

Автомобильная и железнодорожная дороги – это зоны повышенной опасности. Наиболее опасными являются места пересечения или нахождения дорог в непосредственной близости друг от друга. Железнодорожные и автомобильные дороги могут располагаться на одном уровне (железнодорожные переезды) или на разных уровнях (автомобильные и железнодорожные путепроводы).

В случае, когда железнодорожная дорога располагается ниже, чем автомобильная, существует вероятность возникновения события, угрожающего безопасности железнодорожного движения. Данное событие связано, прежде всего, с падением с путепровода на железнодорожные пути транспортных средств (ТС) и перевозимых ими грузов.

Падение посторонних предметов на железнодорожные пути и прилегающие к ним территории может привести:

- к нарушению графика движения поездов;
- повреждению верхнего строения пути;
- повреждению устройств электропитания;
- нарушению нормальной работы устройств СЦБ;
- крушениям поездов;
- человеческим жертвам.

Все это влияет на экономическую составляющую перевозочного процесса, безопасность движения поездов и на престиж компании ОАО «РЖД».

Основными причинами падения транспортных средств с искусственных сооружений являются:

- невнимательность водителей;
- попытка избежать столкновения с другим ТС;
- неумелые маневры на мосту;
- неисправность ТС;
- неблагоприятные погодные условия.

Таким образом, основной причиной падения предметов с путепровода является человеческий фактор. На данный момент на железнодорожной дороге вводятся различные системы мониторинга и диагностики, призванные минимизировать влияние человеческого фактора не только на безопасность перевозочного процесса, но и на качество выполнения технологического процесса.

В настоящее время на участках высокоскоростного движения поездов все железнодорожные переезды планируют заменить на путепроводы. Это касается не только России, но и территорий других европейских стран. Кроме того, движение пассажирских поездов со скоростями более 200 км/ч по участкам, на которых железнодорожные пути пересекаются в одном уровне с автомобильными дорогами, трамвайными и троллейбусными линиями, не допускается [1].

Обнаружение падающих предметов на железнодорожные пути является актуальной проблемой, поэтому необходима система мониторинга и диагностики, которая будет решать следующие задачи:

- непрерывно следить за областью возможного падения ТС или грузов на железнодорожные пути;
- при фиксации такого события передавать информацию через единую корпоративную автоматизированную систему управления инфраструктурой (ЕК АСУИ) в Центр управления содержанием инфраструктуры (ЦУСИ) железной дороги [2].

Система контроля безопасности движения поездов вблизи путепроводов

Аппаратура системы диагностирования и мониторинга

Данная система может состоять из трех уровней (см. рисунок).

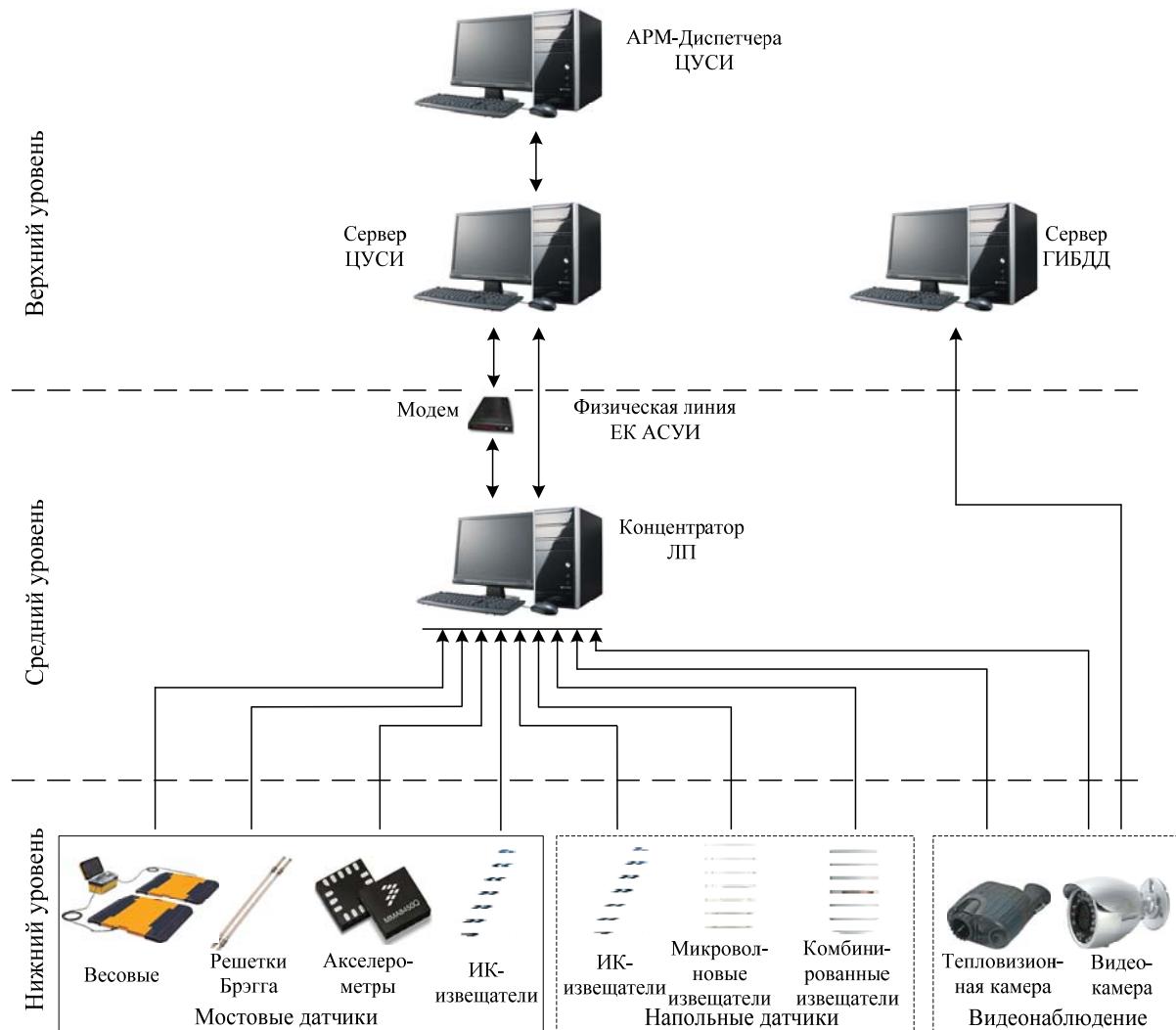
Нижний уровень системы образуют мостовые и напольные контроллеры (датчики).

Условно мостовые контроллеры можно подразделить на две группы, которые будут выполнять различные задачи.

В первую группу входят весовые и оптические датчики. Весовые датчики, как и оптические, должны устанавливаться перед и после пролетного строения моста и выполнять функции on-line счетчика количества ТС. Кроме того, в любой момент времени на каждой из полос движения они должны еще контролировать суммарную массу ТС, одновременно находящихся на путепроводе, в целях соблюдения максимально допустимого весового режима, при нарушении которого должна формироваться команда на временное прекращение въезда на мост.

Вторую группу составляют ударные датчики. Это могут быть оптико-волоконные датчики Брэгга (решетки Брэгга), которые успешно применяются на West Mill Bridge England с 2004 года [3] или акселерометры [4]. Ударные датчики контролируют состояние защитного ограждения путепровода и в случае удара ТС или перевозимого им груза о конструкцию искусственного сооружения фиксируют произошедшее событие.

В качестве напольного оборудования целесообразно применять оптические, микроволновые или комбинированные датчики, которые формируют сигнал тревоги при попадании любого предмета в область их контроля.



Структурная схема системы контроля безопасности движения поездов близи путепроводов

Описываемая система может быть дополнена видео- или тепловизионными камерами для визуальной оценки событий в зоне контроля диспетчером. Поступающая от камер видеонаблюдения информация также может транслироваться для фиксации дорожной обстановки на сервер ГИБДД.

Средний уровень представляет собой концентратор. При необходимости концентраторы объединяются в сеть.

Концентратор информации предназначен:

- для обработки сигналов, принимаемых от контроллеров съема диагностической информации;

- обмена информацией с другими концентраторами;
- отображения полученной информации в реальном времени;
- архивации и хранения информации в течение заданного промежутка времени, отображения архива;
- передачи снимаемой информации на верхний уровень.

Информация, передаваемая со среднего уровня, поступает на сервер ЦУСИ и далее на автоматизированное рабочее место (АРМ) диспетчера ЦУСИ. Кроме того, при фиксации дорожно-транспортного происшествия информация должна передаваться на сервер ГИБДД или сервер экстренных служб.

Классификатор дорожно-транспортных происшествий

По диагностической информации, получаемой от контроллеров, можно разработать классификатор дорожно-транспортных происшествий, произошедших на путепроводе. Из-за вероятности ложного срабатывания любого из датчиков ввиду различных помех классификатор включает в себя только данные, полученные как минимум от двух известителей. Классификатор приведен в таблице.

Таблица

Классификатор дорожно-транспортных происшествий на путепроводе

№ пп.	Весо-вые	Удар-ные	Микро-волно-вые	Оптиче-ские	Вероятное ДТП
1	2	3	4	5	6
1	–	–	+	+	Нарушение нормальной работы весовых датчиков и падение грузов с ТС без удара о защитное ограждение
2	–	+	–	+	Нарушение нормальной работы весовых и оптических датчиков и падение предметов на железнодорожные пути
3	–	+	+	–	Нарушение нормальной работы весовых и оптических датчиков или непересечение падающего объекта с ИК-лучами
4	–	+	+	+	Падение ТС или грузов на железнодорожные пути и нарушение нормальной работы весовых датчиков
5	+	–	–	+	Нарушение нормальной работы ударных и микроволновых датчиков или падение грузов с движущегося ТС без удара о защитное ограждение путепровода

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
6	+	-	+	-	Нарушение нормальной работы ударных и оптических датчиков или падение грузов с движущегося транспортного средства без удара о защитное ограждение путепровода или при непересечении объекта с ИК-лучами
7	+	-	+	+	Нарушение нормальной работы ударных датчиков и падение грузов с движущегося транспортного средства без удара о защитное ограждение путепровода
8	+	+	-	-	Нарушение нормальной работы микроволновых и оптических датчиков или столкновение ТС с защитным ограждением без вылета с периметра путепровода
9	+	+	-	+	Нарушение нормальной работы микроволновых датчиков и падение ТС или грузов на железнодорожные пути
10	+	+	+	-	Нарушение нормальной работы оптических датчиков либо непересечение падающего объекта с ИК-лучами
11	+	+	+	+	Вылет ТС или падение перевозимого им груза на железнодорожные пути

Диспетчер, получив информацию о произошедшем событии, оценивает через видеосигнал возможность или невозможность проследования приближающегося поезда под путепроводом. В случае нарушения целостности железнодорожного полотна или загромождения его посторонними предметами диспетчер должен воздействовать на устройства СЦБ для исключения столкновения состава с возникшим препятствием.

Заключение

Данная система контроля безопасности движения поездов вблизи путепроводов является дополнительным средством, обеспечивающим безопасность перевозочного процесса. Она может «стоять в одном ряду» с уже существующими системами, эксплуатируемыми на сети железных дорог и метрополитенах Российской Федерации и относящимися к службам сигнализации, централизации и блокировки. К системам, которые являются до-

полнительными средствами, обеспечивающими безопасность движения поездов, относятся на железной дороге: ПОНАБ, УКСПС, АПС, УЗП и в метрополитене: УКСДП, РУБЕЖ, БУКС.

Библиографический список

1. *Правила технической эксплуатации* железных дорог Российской Федерации. – М., 2001. – 255 с.
2. Галкина В. Единая точка ответственности / В. Галкина // Волжская Магистраль. – 2011. – № 40.
3. Kister G., Badcock R. A., Gebremichael Y. M. Monitoring of an all-composite bridge using Bragg grating sensors // Constructing and Building materials. – 2007. – № 7. – Pp. 1599–1604.
4. Соколов В. Б. Контроль состояния путепровода в местах пересечения железнодорожной и автомобильной магистралей / В. Б. Соколов, К. Ю. Долинский // Мир дорог. – 2010. – № 49. – С. 41–42.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБУЧЕНИИ

УДК 656.25+681.5.09

*В. В. Нестеров
А. Ю. Дюбина*

Автоматизация функций диспетчера дистанции СЦБ по организации устранения отказов устройств железнодорожной автоматики и телемеханики

Среди основных задач диспетчера дистанции сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) можно выделить задачи, связанные с организацией устранения отказов устройств ЖАТ. Согласно положению об оперативном руководстве в хозяйстве автоматики и телемеханики диспетчер дистанции СЦБ обязан знать основные принципы действия всех видов устройств, эксплуатируемых в дистанции СЦБ, возможные причины их неисправностей, рациональные способы поиска неисправностей, методы и способы их устранения. Диспетчер уточняет место, характер и обстоятельства, при которых произошел отказ, контролирует точное соблюдение правил производства работ с безусловным выполнением требований по обеспечению безопасности движения поездов и т. д.

Перечисленные функции диспетчера являются наиболее ответственными, потому что они выполняются в ситуациях, близких к экстремальным, в условиях дефицита времени, когда велика цена ошибки. Ненадлежащее их выполнение приводит к очень серьезным последствиям – существенным задержкам поездов и к угрозе безопасности движения поездов. Функции диспетчера являются и наиболее сложными и, в общем-то, трудновыполнимыми в полном объеме, поскольку ни один диспетчер не обладает квалификацией, предполагающей универсальность знаний о принципах функционирования всех систем и устройств дистанции СЦБ.

Решать задачу поиска неисправностей призваны системы диагностики, которые внедряются в настоящее время. Но, во-первых, оснащенность сети дорог этими системами составляет около 20 % (это результаты внедрения за 12 лет, фактически же эта цифра еще меньше), а, во-вторых, системы диагностики ориентированы, прежде всего, на автоматизацию процесса технического обслуживания, а задачи поиска неисправностей практически не решают.

В последние годы уделяется большое внимание предотвращению отказов устройств на основе выявления предотказных состояний. На этом

принципе работают дорожные центры диагностики и мониторинга, но задача устранения возникающих отказов и сегодня остается очень актуальной, т. к., во-первых, около 40 % всех отказов носят внезапный характер по своей физической природе и, во-вторых, большая часть так называемых параметрических отказов трудно прогнозируема, т. е. задачу выявления предотказных состояний удается решить далеко не всегда.

Отраслевая научно-исследовательская лаборатория автоматизации технического обслуживания систем ЖАТ ПГУПС (ОНИЛ АТО) на протяжении длительного периода времени исследует процесс устранения отказов устройств СЦБ с точки зрения возможности его автоматизации [1]–[3]. Эти работы начались еще в 90-е годы XX века, но по объективным причинам были приостановлены (из-за отсутствия необходимой технической и информационной базы для решения этой задачи). С конца 90-х эта база создавалась с нашим участием: разработаны и внедрены системы технического диагностирования, АСУ-Ш-2 и комплексы задач ведения технической документации. В настоящее время процесс устранения отказов как таковой принципиально не изменился, хотя появились новые эффективные средства связи, которые позволяют сделать его на порядок эффективнее. Кроме этого, появились нормативные документы, четко и полно регламентирующие процесс устранения отказов (речь идет в первую очередь о новом Положении об оперативном руководстве).

В настоящее время существуют все предпосылки для создания системы автоматизированного поиска неисправностей в устройствах СЦБ – создана система поддержки принятия решений для диспетчера дистанции СЦБ (АСПН ШЧД). Эта система предназначена для автоматизации функций диспетчера дистанции СЦБ по сбору информации, организации работ, оперативному руководству и контролю действий электромехаников СЦБ при поиске и устранении отказов.

АСПН реализует два типа функций: информационные и интеллектуальные.

Эта система может работать как автономно, используя только собственную информационную базу, так и в составе АСУ-Ш-2 с использованием информации АРМ-ВТД-Ш.

Возможны два варианта получения исходной информации об отказах: при помощи систем диагностики или путем опроса оперативных работников железной дороги в процессе запрограммированного диалога и ввода данных вручную из предлагаемых системой вариантов ответов.

В результате исследования процесса устранения отказов устройств СЦБ были определены задачи и функции, подлежащие автоматизации.

Процесс поиска и устранения отказов включает 3 этапа:

- подготовку к поиску и устранению отказа;

- поиск отказа (неисправности);
- устранение отказа.

Эти этапы технологически тесно взаимосвязаны. Для достижения максимального эффекта необходимо комплексно минимизировать время всех трех этапов.

К задачам *этапа подготовки* относятся: определение места отказа, характера отказа и отказавшего объекта; доставка приборов, инструментов, материалов и запасных частей; транспортировка электромеханика на место отказа; сбор информации о техническом состоянии устройств; выдача предварительных рекомендаций по поиску отказа.

На *этапе поиска отказа* решаются задачи: анализа состояния устройств, приборов и поездной ситуации; контроль за правильностью действий электромеханика при поиске отказа; руководство поиском отказов. Руководство поиском отказа – наиболее сложная и определяющая эффективность процесса восстановления работоспособности устройств в целом задача. Главное при решении этой задачи – выдать электромеханику правильную программу проверок, кратчайшим путем приводящую к цели.

Устранение отказа включает в себя: доставку обслуживающего персонала и средств, контроль правильности действий электромеханика и организацию проверки действия устройств после устранения отказа.

Определена структура информационной базы системы АСПН (рис. 1).

Разработаны алгоритмы решения задачи. Основой для реализации АСПН являются алгоритмы поиска неисправностей.

В ПГУПС разработаны алгоритмы поиска неисправностей для наиболее распространенных типов систем и устройств ЖАТ. Эти алгоритмы являются унифицированными для различных реализаций одного типа системы (устройства). Алгоритмы построены на основе логико-информационного метода, позволяющего при помощи минимального числа проверок локализовать место отказа, определить его характер и зачастую даже отказавший объект. Данный этап – наиболее сложный и важный в поиске отказов. Ошибки в определении места отказа и отказавшего объекта приводят к огромным потерям времени при поиске неисправностей.

Основным подходом к локализации отказа в логико-информационном методе является анализ нарушения логики работы системы (устройства) на основе индикации на пульте-табло ДСП и показаний приборов. Унификация алгоритмов по отношению к различным реализациям одного типа систем и устройств достигается за счет построения алгоритмов поиска на основе общих принципов работы данного типа системы (устройства).

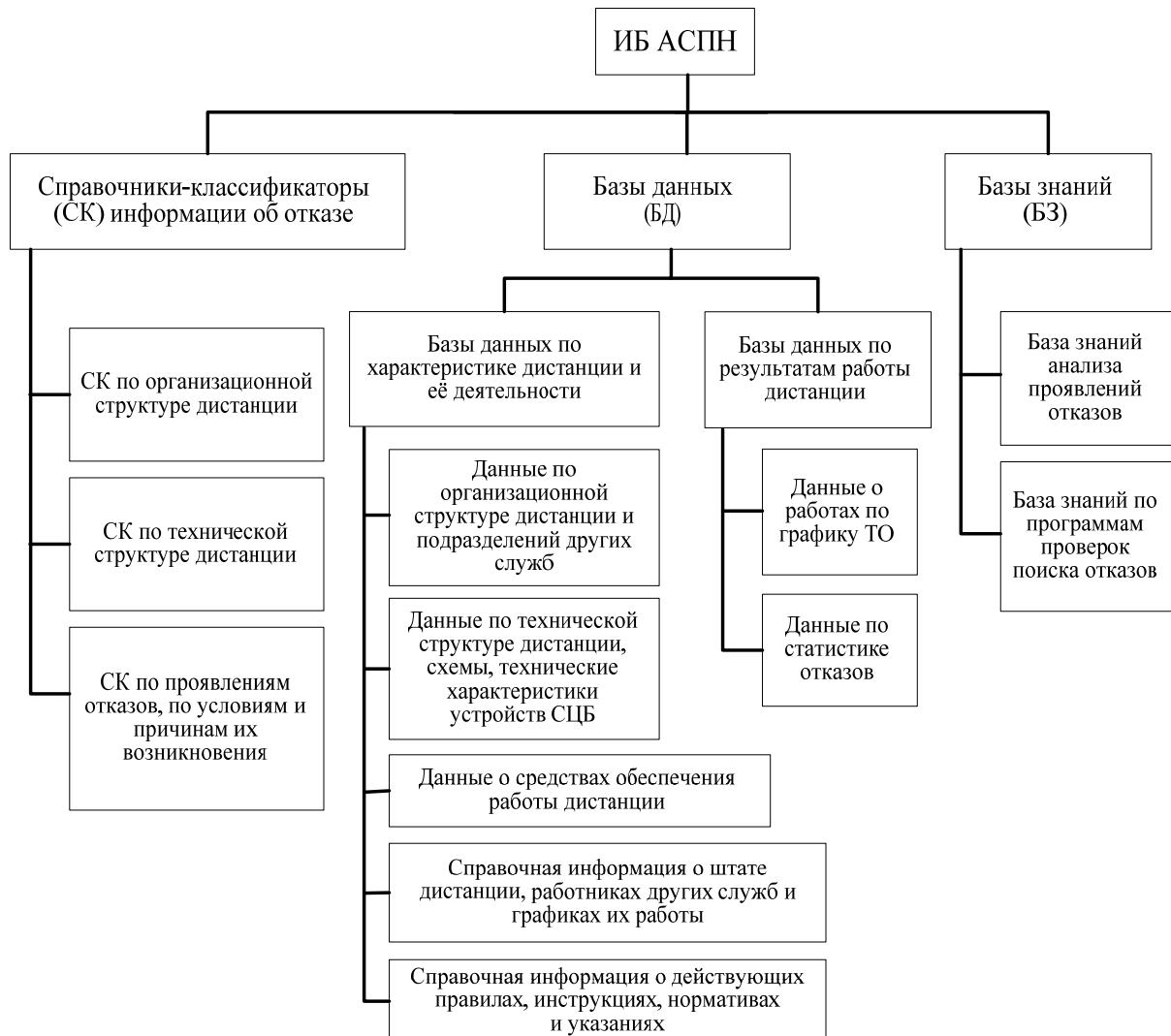


Рис. 1 Структура информационной базы системы АСПН

В табл. 1 приведен фрагмент перечня разработанных алгоритмов поиска неисправностей. Также разработаны алгоритмы для схем установки и размыкания маршрутов систем БМРЦ и ЭЦ-9 и для стрелки с четырехпроводной схемой управления, станционных РЦ с реле ДСШ, станционных РЦ тональной частоты, а также и для РПБ ГТСС.

Разработаны алгоритмы для каждого варианта первичных проявлений отказов.

На рис. 2 проиллюстрированы ключевые свойства алгоритмов, построенных на основе логико-информационного метода. Локализация отказа и определение отказавшего объекта осуществляются при помощи минимального количества проверок и в основном на базе информации на пульте ДСП без участия электромеханика.

Таблица 1

Фрагмент перечня разработанных алгоритмов поиска неисправностей

№ п/п	Система, компонент системы, устройство	Алгоритмы поиска (первичные проявления)
1	АБТ И-206-91	Красный огонь вместо зеленого на одной сигнальной установке
		Красный огонь вместо зеленого на двух смежных сигнальных установках
		Красный огонь вместо зеленого на трех смежных сигнальных установках
		Не работает АЛСН
2	АБТЦ-2000	Ложная занятость блок-участка
		Мигание белой лампы светофора на табло ДСП
		Индикация на табло ДСП в норме, машинист сообщает о ложном горении красного огня на светофоре
		Сигнализация на табло ДСП в норме, машинист сообщает о сбое АЛСН за светофором
3	АПС	Ложное занятие переезда при свободных участках приближения и удаления
		Ложная занятость б/у с переездом на табло ДСП
		Ложное занятие переезда при свободных участках приближения и удаления
		Блок-участок на табло ДСП свободен
		Автошлагбаумы (или только один) не опускаются при занятии поездом участка приближения
		Переезд не открывается после освобождения поездом участка приближения и удаления
		Сбои в работе АПС при движении поездов через переезд
4	Схемы управления светофорами	Отказы в схеме управления огнями входного светофора с блоком Вх: – входного светофора с центральным питанием и двухнитевыми лампами; – выходного светофора с центральным питанием; – маневровых светофоров
5	Стрелка с двухпроводной схемой управления	Стрелка не переводится
		Стрелка не заканчивает перевод
		Стрелка переводится, но не получает контроля
		Стрелка внезапно теряет контроль
6	Стрелка с пятипроводной схемой управления	Стрелка не переводится
		Стрелка не заканчивает перевод
		Стрелка переводится, но не получает контроля
		Стрелка переводится, но получает контроля



Рис. 2 Пример алгоритма поиска неисправностей в стрелке с пятипроводной схемой управления «Стрелка переводится, но не получает контроля»

Процесс поиска неисправностей можно разделить на 2 этапа:

- 1) выявление и локализация отказа;
- 2) определение неисправного элемента и причины отказа.

Алгоритмы поиска неисправностей также включают перечисленные выше этапы.

Выявление отказа заключается в сборе информации об отказах на основе первичного проявления, ее анализ с целью определения места отказа, характера отказа и отказавшего объекта. По характеру отказа определяется последовательность дальнейших проверок при поиске неисправного элемента.

АСПН должна содержать в первую очередь базы знаний по выявлению отказов и базы знаний программы проверок по поиску отказавшего элемента по наиболее распространенным устройствам ЖАТ, которые вызывают наибольшее число отказов в процессе эксплуатации и являются наиболее трудоемкими при их устранении. Это системы АБ, АПС, станционные напольные устройства: стрелки, светофоры и РЦ.

В табл. 2 представлен фрагмент базы знаний по выявлению отказов в стрелке с двухпроводной схемой управления.

Таблица 2

**Фрагмент базы знаний по выявлению отказов в стрелке
с двухпроводной схемой управления**

База знаний анализа проявлений отказов									
Код первичного проявления	Проявления отказов						Место отказа	Отказавший объект	Код программы проверок
	Исходная информация об отказе. Характер отказа			Дополнительная информация					
	Первичное проявление	Ток в рабочей цепи	Состояние звонка взреза	Поведение красной лампочки	Напряжение на кроссовом стативе. Переменная соединяющая	Напряжение на кроссовом стативе. Постоянная составляющая			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
П1	Внезапно погасла лампочка исходного положения		Не звонит				Пост ЭЦ	Схема включения индикаторных лампочек	ПП1
			Звонит		В норме	Отсутствует	Горловина или кабель	Контрольная цепь, механические элементы ЭП, выполняющие функции контроля	ПП2
			Звонит		Отсутствует	Отсутствует	Пост ЗЦ	Контрольная цепь	ПП3
			Звонит		В норме или выше	В норме	Пост ЭЦ	Контрольная цепь	ПП4

Табл. 3 содержит фрагмент базы знаний программ проверок в стрелке с двухпроводной схемой управления.

Таблица 3

**Фрагмент базы знаний программ проверок в стрелке
с двухпроводной схемой управления**

Код первичного проявления	База знаний программ проверок	
	Код проверки	Проверки
ПП1	1	Проверка цепи включения реле ПК(МК); внешний монтаж между ПС и С; разъемы блоков ПС и С; внутренний монтаж блоков путем замены
	2	Проверка цепи индикаторными лампочками
ПП2	1	Проверка исправности кабеля путем измерения напряжения на кл. 1–5 путевой коробки
	2	Проверка исправности механических элементов стрелки (перевода и электропривода) от остряков до контрольных контактов
	3	Проверка исправности контрольной цепи в электроприводе (ЭП), путевой коробке (ПК) между ЭП и ПК
ПП3	1	Проверка исправности проводов кл. 1–13, 1–14 блока ПС (релейный статив) – кроссовый статив
	2	Проверка исправности цепи ПХКС, ОХКС – 1–13, 1–14 блока ПС на релейном стативе. Проверка контакта в дужках контрольной цепи; проверка контактов в разъемах бл. ПС; проверка исправности внутреннего монтажа блока ПС путем замены
ПП4	1	Заменить блок ПС (повреждено реле ОК)

В заключение отметим следующие важные результаты, которые можно получить от создания АСПН.

1. Определение требований по перечню необходимой информации для систем диагностики по реализации задачи поиска неисправностей.
2. Дополнение системой АСПН (точнее модулем поиска неисправностей) существующих систем диагностики обеспечивает решение задачи по выявлению и поиску неисправностей в них.
3. Возможно самостоятельное использование АСПН на участках, где нет систем диагностики.

Имеются все предпосылки для создания АСПН.

1. Существует внедренная по всей сети система АСУ-III-2, с которой АСПН должна быть интегрирована и из которой она должна черпать информацию.

2. Накоплена большая база алгоритмов поиска отказов, есть методика разработки алгоритмов, специалисты-разработчики, специальные программные средства создания алгоритмов.

3. Созданы условия для применения современных технических средств: связь, карманные компьютеры и пр.

4. Ведутся разработки новых обучающих курсов АОС-ШЧ с созданием в их рамках алгоритмов поиска отказов.

Работы по внедрению можно проводить в рамках АСУ-Ш-2 и СТДМ.

Перспективы развития АСПН:

1) самообучение системы на основе баз данных статистики отказов;

2) решение задач прогнозирования отказов на базе статистики отказов;

3) интеграция с комплексами ведения технической документации с целью упрощения адаптации системы к конкретному полигону внедрения.

Библиографический список

1. Гриненко А. В. Автоматизированная обучающая система для дистанций сигнализации и связи / А. В. Гриненко, В. В. Нестеров, В. Л. Лабецкий // Автоматика, связь, информатика. – 2001. – № 11. – С. 22–25. – ISSN 0005-2329.

2. Гриненко А. В. Поиск отказов в устройствах СЦБ / А. В. Гриненко, В. Л. Лабецкий // Автоматика, связь, информатика. – 1990. – № 12. – С. 25–28. – ISSN 0005-2329.

3. Нестеров В. В. Поиск неисправностей в устройствах ЖАТ / В. В. Нестеров // Автоматика, связь, информатика. – 2005. – № 4. – С. 34–35. – ISSN 0005-2329.

A. N. Павлов

Теория вопросников и системы обучения поиску неисправностей в устройствах сигнализации, централизации и блокировки

Введение

Квалификация работников дистанций сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) является одним из определяющих факторов, непосредственно влияющих на безопасность движения поездов, качество технического обслуживания устройств СЦБ, надежность работы устройств и сокращение времени на подготовку и выполнение работ по техническому обслуживанию устройств СЦБ.

Низкий уровень квалификации работников дистанции, прежде всего электромехаников и электромонтеров, – общезвестная проблема. В настоящее время, в условиях перехода на новые методы обслуживания, сопровождающегося сокращением штата, эта проблема усугубляется повышением меры ответственности каждого конкретного работника и требований к его квалификации. Кроме этого, существует проблема недостаточной подготовленности выпускников вузов, техникумов и дортехшкол к реальной практической деятельности. Требуется достаточно много времени, чтобы они адаптировались к реальному производству и получили профессиональные навыки.

Единственный путь решения этой проблемы – широкое применение для организации занятий по всей тематике технической учебы автоматизированной обучающей системы для дистанций СЦБ (АОС-ШЧ), работающей на базе компьютерной техники [1].

АОС-ШЧ ориентирована, прежде всего, на решение двух взаимосвязанных задач технической учебы – глубокое изучение принципов и алгоритмов работы устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) и методику поиска неисправностей в них. Решение этих задач обучения является основой для повышения квалификации пользователей системы. Основными пользователями системы являются линейные работники дистанций СЦБ, которые непосредственно заняты техническим обслуживанием устройств, и диспетчерский аппарат, осуществляющий контроль за выполнением графика технического обслуживания устройств СЦБ.

В состав АОС-ШЧ входят обучающие курсы практически по всем широко эксплуатируемым устройствам и системам ЖАТ. Кроме этого, имеются обучающие курсы и по другим важным разделам технической учебы дистанций СЦБ.

Система обучения АОС-ШЧ разрабатывается учеными и инженерами кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения с 1987 года по настоящее время [2]. За двадцатипятилетнюю историю АОС-ШЧ были усовершенствованы не только элементная база и программное обеспечение АОС-ШЧ, но и методика составления курсов обучения.

На 2012 год системой АОС-ШЧ на российских железных дорогах оборудовано более 150 дистанций СЦБ.

1 Принципы построения алгоритмов поиска неисправностей

Способы построения алгоритмов поиска неисправностей в АОС-ШЧ для систем и устройств ЖАТ разнообразны. Это определяется принципами построения, структурой и конфигурацией алгоритмов поиска неисправностей, а также диагностическими возможностями технического персонала по поиску дефекта. В настоящее время в АОС-ШЧ используется комплексный метод диагностики, названный *логико-информационным* [3], [4]. Данный метод подразумевает разбиение процесса поиска неисправности на два этапа: *логический* – определение предотказавшего либо отказавшего функционального узла, схемы или цепи и *информационный* – определение неисправного элемента узла, схемы или цепи.

Первый этап осуществляется на основе анализа нарушения логики работы системы или устройства ЖАТ (невыполнение устройством своих функций). Для анализа необходимо:

- изучить штатный алгоритм работы устройства или системы в целом (экспертный метод сбора данных);
- составить список отказов устройств на основе статистики отказов устройств (статистический метод сбора необходимых данных);
- моделировать все неисправности из списка, чтобы оценить влияние каждой на работу устройства или системы;
- сгруппировать отказы по принципу аналогичного влияния на выполнение функций устройства или системы;
- произвести синтез диагностического алгоритма, т. е. подобрать проверки и установить их очередность.

Подбор проверок осуществляется на основе знания диагностических возможностей устройства или системы. Это, например, индикация на пульте дежурного по станции, выполнение действий на нем, возможность измерений в контрольных точках, а также замены блоков и элементов и др.

Второй этап состоит в определении неисправного элемента, функционального узла схемы либо цепи с помощью наиболее совершенного из известных методов – информационного. Он основан на принципе оценки количества информации после каждой проводимой проверки [5]. В информационном методе фигурируют вероятности отказов и время на их локализацию, как в методе *время–вероятность*. В нем исключен последовательный перебор всех элементов структуры технического объекта. Одним из важных отличий данного метода от эвристических методов является анализ множества допустимых проверок при поиске, а также составление таблицы отношений проверок и неисправностей, для чего требуются более глубокие расчеты с применением техники.

В основе информационного метода лежит принцип оценки меры неопределенности (энтропии) после каждой проводимой проверки. Предпочтение отдается проверке, дающей максимальное количество информации из всех возможных на рассматриваемом этапе (т. е. после которой наблюдается максимальная убыль энтропии ΔH_i):

$$\Delta H_i = -p_i \log_a(p_i) - (1-p_i) \log_a(1-p_i),$$

где p_i – условная вероятность обнаружения неисправности после i -й проверки;

a – число исходов проверки.

Максимальная убыль энтропии наблюдается при вероятности $p_i = 0,5$. Для учета времени проверки существует ее эффективность, выраженная отношением убыли энтропии ко времени T_i , затраченному на проверку:

$$\theta_i = \frac{\Delta H_i}{T_i}.$$

Для примера построим дерево поиска неисправностей по информационному методу (табл. 1).

Как видно из табл. 1, первым задается вопрос y_4 . Множество неисправностей делится на два подмножества: $\{x_1, x_4\}$ и $\{x_2, x_3\}$. Для двух подмножеств строится табл. 2 и 3, причем вероятности проверок пересчитываются. Для примера $p_{x_i} = \frac{0,05}{1 - 0,1 - 0,15} = 0,07$.

Пользуясь результатами всех трех таблиц, построим дерево поиска неисправностей дефектов (рис.1).

Таблица 1

Таблица неисправностей и проверок для информационного метода

Проверка	Неисправность				Время проверки, мин	Вероятность обнаружения неисправности p_i	Эффективность проверки θ_i
	x_1	x_2	x_3	x_4			
y_1	0	0	0	1	15	0,7	0,05875
y_2	1	1	0	0	10	0,15	0,06098
y_3	1	0	1	0	12	0,2	0,06016
y_4	1	0	0	1	12	0,75	0,06761
Вероятность возникновения неисправности	0,05	0,1	0,15	0,7	—	—	—

Таблица 2

Таблица неисправностей множества $\{x_2, x_3\}$ и проверок для информационного метода

Проверка	Неисправность		Время проверки, мин	Вероятность обнаружения неисправности p_i	Эффективность проверки θ_i
	x_2	x_3			
y_1	0	0	15	0	—
y_2	1	0	10	0,6	0,097095
y_3	0	1	12	0,4	0,080913
Вероятность возникновения неисправности	0,4	0,6	—	—	—

Таблица 3

Таблица неисправностей множества $\{x_1, x_4\}$ и проверок для информационного метода

Проверка	Неисправность		Время проверки, мин	Вероятность обнаружения неисправности p_i	Эффективность проверки θ_i
	x_1	x_4			
y_1	0	1	15	0,93	0,024395
y_2	1	0	10	0,07	0,036592
y_3	1	0	12	0,07	0,030494
Вероятность возникновения неисправности	0,07	0,93	—	—	—

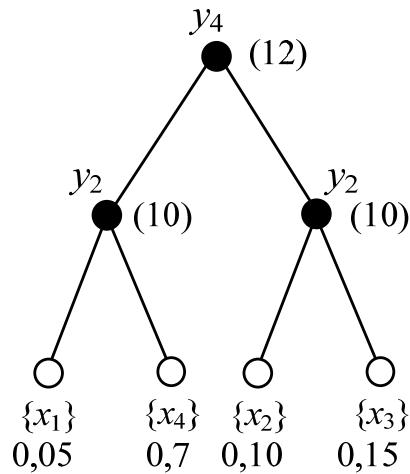


Рис. 1 Дерево поиска неисправностей,
построенное по информационному методу

2 Развитие технологий поиска неисправностей в устройствах железнодорожной автоматики

Является ли дерево поиска неисправностей, изображенное на рис. 1, оптимальным? Есть ли у существующих методов поиска неисправностей критерии, по которым можно определить оптимальность алгоритма и сравнить его с аналогами?

На эти вопросы может ответить теория вопросников [6]–[8], решающая широкий круг дискретных задач оптимизации, в том числе синтеза алгоритмов поиска неисправностей объектов во многих отраслях техники.

Основным объектом в данной теории является вопросник, позволяющий определить классы разбиений исходного множества событий (совпадает с информационным методом). В вопроснике выделяются события (отказы систем и устройств ЖАТ) и вопросы, позволяющие различить отказы (применительно к задаче АОС-ШЧ – множество элементарных проверок). Каждое событие имеет свой вес, к примеру, условная вероятность возникновения отказа. Каждый вопрос имеет вес (p_j) и цену (c_j): весом является сумма весов исходов вопроса, а ценой – некоторое, заранее известное, положительное число, характеризующее, например, время проверки. Зная параметры веса событий и цен вопросов, можно характеризовать вопросник параметром цены обхода – среднего времени идентификации отказа:

$$C = \sum_{j=1}^n c_j p_j,$$

где n – число вопросов.

Чем меньше величина C , тем быстрее в среднем выполняется поиск неисправности, а значит, алгоритм является более эффективным.

Вопросник задается древовидным графом с одной корневой вершиной (она соответствует первому вопросу), некоторым количеством промежуточных (они соответствуют промежуточным вопросам) и висячих (они соответствуют идентифицируемым событиям) вершин. В графе вопросника в любую вершину входит только одна дуга и выходит – несколько. Число исходящих дуг является основанием вопроса (a_i).

Подсчитаем цену обхода вопросника, изображенного на рис. 1:

$$C_{\text{рис.1}} = 0,75 \cdot 10 + 0,25 \cdot 10 + 12 = 22.$$

Ключевой проблемой теории вопросников является построение оптимальных по цене обхода вопросников. На приведенном выше примере определим, всегда ли с помощью информационного метода можно построить оптимальный вопросник? Оказывается, что нет. На рис. 2 построен вопросник по табл. 1 по одному из точных методов теории вопросников – методу динамического программирования [9].

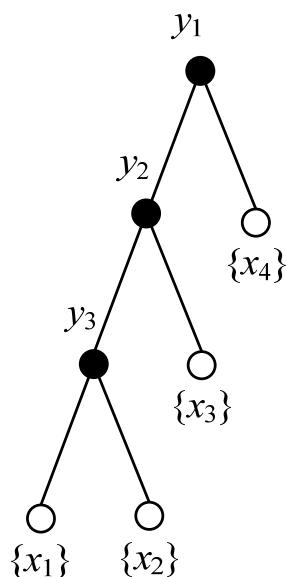


Рис. 2 Оптимальный вопросник

Цена обхода вопросника, изображенного на рис. 2, равна:

$$C_{\text{рис.2}} = 0,15 \cdot 12 + 0,3 \cdot 10 + 15 = 19,8.$$

Из сравнения рис. 1 и 2 ясно, что вопросник, построенный по методу динамического программирования, оптимальнее вопросника (дерева поиска дефектов), полученного с помощью информационного метода.

Заключение

Для совершенствования АОС-ШЧ целесообразно внедрить в технологию составления алгоритмов обучения для поиска неисправностей методы теории вопросников. Подобные алгоритмы, адаптированные в программное обеспечение АОС-ШЧ, дадут последовательности проверок, более оптимальные с точки зрения времени локализации дефекта. Например, в работе [10] показано, как синтезируется алгоритм поиска неисправностей в устройствах контроля схода подвижного состава (УКСПС).

Библиографический список

1. Гриненко А. В. Автоматизированная обучающая система для дистанций сигнализации и связи / А. В. Гриненко, В. В. Нестеров, В. Л. Лабецкий // Автоматика, связь, информатика. – 2001. – № 11. – С. 22–25. – ISSN 0005-2329.
2. Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения в XX–начале XXI в. / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников и др. – СПб. : Петербургский государственный университет путей сообщения, 2009. – 346 с. – ISBN 978-5-7641-0221-4.
3. Гриненко А. В. Поиск отказов в устройствах СЦБ / А. В. Гриненко, В. Л. Лабецкий // Автоматика, связь, информатика. – 1990. – № 12. – С. 25–28. – ISSN 0005-2329.
4. Нестеров В. В. Поиск неисправностей в устройствах ЖАТ / В. В. Нестеров // Автоматика, связь, информатика. – 2005. – № 4. – С. 34–35. – ISSN 0005-2329.
5. Перникис Б. Д. Предупреждение и устранение неисправностей в устройствах СЦБ; 2-е изд., перераб. и доп. / Б. Д. Перникис, Р. Ш. Ягудин. – М. : Транспорт, 1994. – 254 с. – ISBN 5-277-01433-0.
6. Picard C. F. Graphes et questionnaires // Paris: Gauthier – Villars. 1972. Vol. 1, P. 146; Vol. 2, P. 212.
7. Аржененко А. Ю. Оптимальные бинарные вопросы / А. Ю. Аржененко, Б. Н. Чугаев. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 128 с. – ISBN 5-283-01499-1.
8. Пархоменко П. П. Теория вопросников / П. П. Пархоменко // Автоматика и телемеханика. – 1970. – № 4. – С. 140–159. – ISSN 0005-2310.
9. Пархоменко П. П. Основы технической диагностики (оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратурные средства) / П. П. Пархоменко, Е. С. Согомонян. – М. : Энергоатомиздат, 1981. – 320 с.
10. Сапожников Вл. В. Теория вопросников и поиск неисправностей в УКСПС / Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, А. Н. Павлов // Автоматика, связь, информатика – 2012. – № 1. – С. 30–32. – ISBN 0005-2329.

УДК 377.169.3

Д. В. Ефанов, канд. техн. наук

А. А. Лыков, канд. техн. наук

Е. А. Алексеева, А. В. Трофимова, Е. Д. Тимина,

К. С. Кононов, А. С. Перский

Моделирование систем автоматики для учебного процесса*

Современная железнодорожная автоматика и телемеханика (ЖАТ) – быстроразвивающаяся отрасль транспортной инфраструктуры. Это развитие, несомненно, влияет на программы учебных заведений, подготавливающих специалистов для работы с новыми устройствами. Обновление и совершенствование методов обучения, модернизация учебного процесса с использованием инновационных интеллектуальных проектов, применение нестандартных приемов, вовлекающих в учебный процесс, наглядность и близость к реальности – все это создает благоприятную атмосферу для получения знаний, способствует становлению грамотных и творчески мыслящих специалистов. Материал становится более доступным и простым для восприятия студентами, они превращаются в участников процесса функционирования ЖАТ, а следовательно, повышается мотивация к обучению.

В учебном процессе кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» Петербургского государственного университета путей сообщения ведется работа по адаптации макета участка железной дороги (рис. 1) с совершенствованием элементной базы и методов преподавания [1], [2]. Отметим достоинства подхода. Во-первых, макетирование позволяет создать новые методики преподавания ключевых дисциплин для становления специалиста: от эксплуатационных основ автоматики и систем централизации стрелок и сигналов до технического диагностирования и поиска неисправностей в них. В процессе обучения можно проводить деловые игры и отрабатывать взаимодействие различных иерархических уровней системы обслуживания. Во-вторых, это отличный аппарат для моделирования различных реальных железнодорожных ситуаций (включая нештатные), изучение которых даст представление о практической стороне организации движения поездов. В-третьих, возможна имитация любых систем ЖАТ, что делает макет и модели универсальными [3]. Четвертый плюс – это «миниатю-

* Работа выполнена в рамках гранта Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Петербургский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВПО ПГУПС) 2012 года.

ризация»: на площади в 5 м^2 умещается мощнейшее средство обучения, заменяющее целый ряд лабораторий с установками существующих систем ЖАТ. В-пятых, студенты могут почувствовать себя как в роли технического персонала дистанций сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ), так и в роли управленческого персонала (дежурных по станциям) или машинистов поездов.



Рис. 1 Макет участка железной дороги

Прежде всего, макет ориентирован на преподавание таких дисциплин, как «Эксплуатационные основы автоматики и телемеханики», «Станционные системы автоматики и телемеханики», «Автоматика и телемеханика на перегонах». В специально разработанном программном обеспечении реализованы модели системы электрической централизации ЭЦ-12-03 и системы управления движением на перегонах АБТЦ-03. Особенностью реализации является наличие всех схемных решений по соответствующим типовым проектам – они представляют собой вкладки со схемами, изображенными в разработанной среде моделирования на базе стандартного пакета MS Visio [3]. Обучаемый может просматривать любую схему в произвольный момент времени, для простоты восприятия информации пути протекания токов выделены красным цветом. Компьютерная модель увязана с напольным технологическим оборудованием через систему декодеров стрелок, светофоров и рельсовых цепей так, что любое изменение состояния физических объектов влечет за собой соответствующие изменения в схемах.

Имея возможность вносить различного рода отказы в схемные решения (имитация обрывов и коротких замыканий в проводах, замена виртуальных элементов аналогичными, но с иными характеристиками, нежели требуемые и пр.), студент может наблюдать за проявлениями неисправностей – таким образом запоминать особенности схем ЖАТ.

Внедрение макета в процесс обучения вносит элементы автоматизации самого процесса. В [2] анонсирован обобщенный алгоритм проведения лабораторных занятий по специальным дисциплинам кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.». Расширим его (рис. 2).

Блок <0> – начало алгоритма. На первом этапе (блок <1>) обучаемый (в дальнейшем будем называть его *ученик*) получает задание и вариант. Здесь могут быть реализованы различные подходы: от варианта задания на группу учеников до индивидуального задания. На этапе подготовки (блок <2>) к занятию ученик осваивает методические указания к выполнению работы и изучает рекомендуемые разделы литературы, после чего подготавливает все необходимые подручные средства (бланки отчетов, заготовки протоколов измерений, математические зависимости между величинами). В случае возникновения вопросов (блок <3>) ученик составляет их перечень (блок <4>) с целью дальнейшего разъяснения непосредственно в общении с коллегами и преподавателем. На этом заканчивается так называемая стадия подготовки к работе.

В само проведение занятия входит три операции: допуск к занятию, проверка подготовленности и освоения учебного материала учеником (блок <5>); доведение до ученика плана занятия (блок <6>) и непосредственное обучение на лабораторном объекте с изучением зависимостей работы элементов схем и проведением измерений (блок <7>).

В итоговый контроль, прежде всего, входит анализ и обработка полученных данных и при необходимости выполнение учебно-исследовательской работы ученика (УИРС) – блок <8>. Выполнив обработку, ученик проводит обязательную проверку (блок <9>): если все результаты верны (блок <10>), то ученик вправе сдать работу преподавателю (блок <11>), иначе осуществляется доработка и повторный анализ данных. На данном этапе следует ограничить количество попыток в сдаче задания учеником, поскольку чрезмерное их число не только затрудняет работу преподавателя по оценке знаний, но и снижает эффективность процесса обучения. Блок <11> соответствует началу сдачи работы учеником, здесь значению числа попыток сдачи присваивается $i = 0$. Оценка знаний (блок <12>) заканчивается выбором преподавателем формы зачета, положительной или отрицательной отметки (блок <13>). Положительная оценка заносится в отчетный документ (журнал, архив, бланк и пр.). Данному действию соответствует блок <16>. При получении отрицательной отметки число попыток следует увеличить на единицу (блок <14>), а затем проверить ограничение на число попыток (блок <15>), если оно не достигло предельного значения, ученик вновь допускается к сдаче работы. Блок окончания завершает алгоритм (блок <17>).

Информационные технологии в обучении

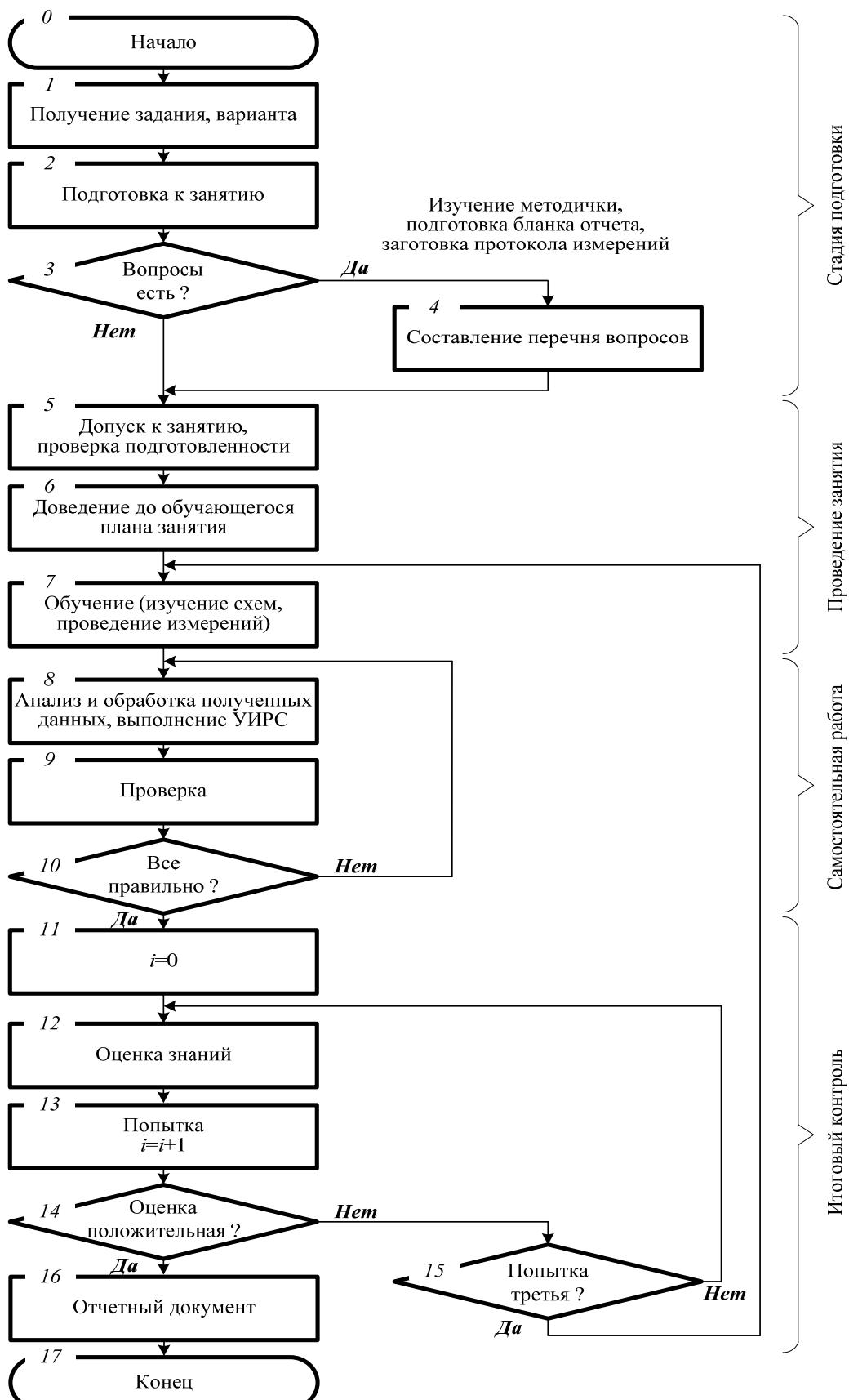


Рис. 2 Обобщенный алгоритм обучения

Данный алгоритм универсален и может быть разделен на четыре стадии (см. рис. 2): подготовка к занятию, проведение занятия, подготовка к защите работы и итоговый контроль. Первая стадия содержит блоки <0> – <4>, вторая – <5> – <7>, третьей стадии соответствуют блоки <8> – <10> и четвертой – блоки <11> – <17>.

Учебный процесс может проходить в трех формах: только с участием человека (преподавателя), в автоматизированном режиме (с частичным участием человека в процессе обучения) и в режиме автоматическом (с использованием компьютерных технологий и без участия человека). Использование разработанного средства обучения (макета участка железной дороги в комплексе с компьютерной средой моделирования СЖАТ) позволяет достигать различной степени автоматизации ведения учебного процесса: от частичной (по каждой стадии) до полной (весь процесс обучения).

В качестве примера автоматического проведения занятия приведем перспективные в будущем интеллектуальные игры, где коллектив обучаемых делится на группы и решает ряд параллельных, но взаимосвязанных задач [4]. Например, студенты могут быть разделены на три группы – персонал управления перевозочным процессом, дестабилизирующая группа, бригада электромехаников СЦБ. Процесс игры может иметь такую постановку. Перед каждой группой ставятся свои задачи: например, группа управления перевозочным процессом может решать задачу реализации заранее разработанного графика движения поездов в установленные временные рамки, группа электромехаников – поддержания перевозочного процесса, дестабилизирующая группа – преследовать противоположные предыдущим двум группам цели. На первом этапе «нарушители» вносят неисправности в схемные решения компьютерной модели. Бригада управления перевозочным процессом начинает реализацию заранее составленного графика движения поездов, при этом при различных поездных ситуациях начинают проявляться те или иные дефекты (например, невозможность перевода стрелок при обрывах линейных проводов, переносы показаний светофоров при обрыве питания ламп и пр.) – все это увеличивает время перевозочного процесса. По окончании первого этапа игры фиксируется время, за которое были осуществлены все необходимые перевозки. На втором этапе участники игры меняются ролями. Выигрышем в игре может считаться минимум времени, затраченного на реализацию графика движения поездов.

В настоящее время макет и модели участка железной дороги – только проект, достигший стадии аппаратно-программной реализации. Но грамотная работа над методикой проведения занятий, создание алгоритмов обучения и завершение тестирования и адаптации моделей позволят в ближайшем будущем получить мощное средство для обучения дисциплинам кафедры.

Библиографический список

1. *Модели систем ЖАТ и технологии макетирования в процессе обучения* / А. А. Лыков, В. А. Кузнецов, Д. В. Ефанов, В. В. Дмитриев // Автоматика, связь, информатика – 2011. – № 9. – С. 32–35. – ISSN 0005-2329.
2. *Макет участка железной дороги для учебного процесса* / А. А. Лыков, Д. В. Ефанов, А. А. Юдин, Р. А. Ковалев, И. П. Пантина // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2011. – № 2. – С. 234–243. – ISSN 1815-588 X.
3. *Моделирование релейно-контактных схем* / В. В. Сапожников, А. А. Лыков, А. В. Петров, Г. В. Осадчий // Транспорт Урала. – 2007. – № 3. – С. 46–50. – ISSN 1815-9400.
4. *Ефанов Д. В. Современные технологии в высшем профессиональном образовании: макетирование и моделирование* / Д. В. Ефанов, А. А. Юдин // Интеллектуальные системы на транспорте: Сборник материалов II МНПК «ИнтеллекТранс-2012». – СПб., 2012. – С. 236–243. – ISBN 978-5-7641-0358-7.

Сведения об авторах

**Алексеева
Евгения Алексеевна**

Студентка кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС;
e-mail: jorjik92@mail.ru

**Балуев
Николай Николаевич
Баратов
Дилшод Хамидуллаевич**

Заместитель начальника Центральной Дирекции Инфраструктуры ОАО «РЖД»
Ассистент кафедры «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте» ТашИИТ, канд. техн. наук;
e-mail: dilshod_b@mail.ru

**Блюдов
Антон Александрович**

Инженер, ассистент и аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС;
e-mail: tosha_super@mail.ru

**Богданов
Николай Александрович**

Ассистент и аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС, сотрудник ГТСС;
e-mail: n_bogdanov@gtss.spb.ru

**Булавский
Петр Евгеньевич**

Доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС, замдекана Электротехнического ф-та ПГУПС, д-р техн. наук;
e-mail: pbulavsky@gmail.com

**Горбачев
Алексей Михайлович**

Зав. ОНИЛ и докторант кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС, канд. техн. наук;
e-mail: x1@inbox.ru

**Дюбина
Анна Юрьевна**

Инженер кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС;
e-mail: tukvochka2009@rambler.ru

**Ефанов
Дмитрий Викторович**

Ассистент кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС, канд. техн. наук;
e-mail: TrES-4b@yandex.ru

**Кабецкий
Андрей Геннадьевич**

Инженер кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС;
e-mail: kabeckiy@gmail.com

**Кононов Константин
Станиславович**

Студент кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС

Котова Олеся Александровна	Студентка кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС; <i>e-mail:</i> olesya.kotova.89@mail.ru
Красногоров Александр Алексеевич	Доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС, канд. техн. наук; <i>e-mail:</i> al_krasnogorov@mail.ru
Куренков Сергей Анатольевич	Старший научный сотрудник кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС; <i>e-mail:</i> ksa23@rambler.ru
Лыков Андрей Александрович	Доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС, заместитель заведующего кафедрой, канд. техн. наук; <i>e-mail:</i> bastdrew@mail.ru
Манаков Александр Демьянович	Доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС, д-р техн. наук; <i>e-mail:</i> manakoff_2@mail.ru
Мустафаев Рамис Таймуродович	Аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС; <i>e-mail:</i> ramismt@inbox.ru
Нестеров Владимир Васильевич	Зав. ОНИЛ кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС; <i>e-mail:</i> nestv@list.ru
Новиков Дмитрий Валерьевич	Студент кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС; <i>e-mail:</i> dm17032009@yandex.ru
Осадчий Герман Владимирович	Ассистент кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС <i>e-mail:</i> osgerman@mail.ru
Павлов Алексей Николаевич	Аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС <i>e-mail:</i> alex-kit2010@rambler.ru
Плеханов Павел Андреевич	Инженер и аспирант кафедры «Радиотехника»; <i>e-mail:</i> pavelplekhanov@gmail.com

**Сапожников
Владимир Владимирович**

Завкафедрой «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС, д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент Международной академии наук высшей школы, заслуженный деятель науки РФ;
e-mail: kat@pgups.edu

**Сапожников
Валерий Владимирович**

Ученый секретарь ФГБОУ ВПО ПГУПС, д-р техн. наук, профессор, академик Академии транспорта РФ и Международной академии наук высшей школы, заслуженный деятель науки РФ;
e-mail: kat@pgups.edu

**Соколов
Вадим Борисович**

Доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС, канд. техн. наук;
e-mail: svb9@yandex.ru

**Соколов
Михаил Борисович**

Ассистент кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС;
e-mail: smb5@yandex.ru

**Тарасов
Андрей Владимирович**

Аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС;
e-mail: deljuvetav@yandex.ru

**Тимина
Евгения Дмитриевна**

Студентка кафедры «Автоматика телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС;
e-mail: timina.1992@mail.ru

**Трофимова
Анна Владимировна**

Студентка кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС;
e-mail: tropi777@yandex.ru

**Трошин
Александр Александрович**

Инженер кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС;
e-mail: tralexalex@yandex.ru

**Чухонин
Владимир Михайлович**

Доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО ПГУПС, канд. техн. наук

Именной указатель

Алексеева Е. А.	105	Мустафаев Р. Т.	66
Балуев Н. Н.	29	Нестеров В. В.	89
Баратов Д. Х.	58	Новиков Д. В.	71
Блюдов А. А.	3	Осадчий Г. В.	21
Богданов Н. А.	71	Павлов А. Н.	98
Булавский П. Е.	52	Перский А. С.	105
Горбачев А. М.	61	Плеханов П. А.	15
Дюбина А. Ю.	89	Сапожников В. В.	3
Ефанов Д. В.	3, 105	Сапожников Вл. В.	3
Кабецкий А. Г.	29	Соколов В. Б.	44
Кононов К. С.	105	Соколов М. Б.	44
Котова О. А.	77	Тарасов А. В.	83
Красногоров А. А.	40	Тимина Е. Д.	105
Куренков С. А.	77	Трофимова А. В.	105
Лыков А. А.	105	Трошин А. А.	29
Манаков А. Д.	29	Чухонин В. М.	21

Содержание

Безопасность, надежность и техническая диагностика

<i>Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Ефанов Д. В., Блюдов А. А.</i>	
Двоичные коды с суммированием, имеющие минимальное число необнаруживаемых искажений информационных разрядов	3
<i>Плеханов П. А.</i>	
Обеспечение безопасной передачи данных в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи	15
<i>Чухонин В. М., Осадчий Г. В.</i>	
Алгебраические представления в парафазных автоматах	21

Качество работы систем и устройств

<i>Манаков А. Д., Балуев Н. Н., Кабецкий А. Г., Трошин А. А.</i>	
Исследование бесконтактного коммутатора тока на пожарную опасность ...	29
<i>Красногоров А. А.</i>	
Исследование причин размагничивания постоянного магнита реле КШ1-80 в схемах смены направления	40
<i>Соколов В. Б., Соколов М. Б.</i>	
Применение процессного моделирования при мониторинге отказов в тональных рельсовых цепях	44

Электронный документооборот

<i>Булавский П. Е.</i>	
Перспективы развития электронного документооборота технической документации по системам железнодорожной автоматики и телемеханики	52
<i>Баратов Д. Х.</i>	
Повышение качества технической документации на системы железнодорожной автоматики и телемеханики	58
<i>Горбачев А. М.</i>	
Структура и принципы построения автоматизированной системы экспертизы схемных решений железнодорожной автоматики и телемеханики	61
<i>Мустафаев Р. Т.</i>	
Автоматизация экспертизы технической документации на соответствие техническим условиям и техническому заданию на проектирование	66

Автоматизированные системы контроля

Богданов Н. А., Новиков Д. В.

Измерение усилия перевода стрелочного электропривода с асинхронным электродвигателем	71
<i>Куренков С. А., Котова О. А.</i>	
Особенности работы комплекса задач «Мониторинг» на участках движения скоростных поездов	77
<i>Тарасов А. В.</i>	
Система контроля безопасности движения поездов вблизи путепроводов ...	83

Информационные технологии в обучении

Нестеров В. В., Любина А. Ю.

Автоматизация функций диспетчера дистанции СЦБ по организации устранения отказов устройств железнодорожной автоматики и телемеханики	89
<i>Павлов А. Н.</i>	
Теория вопросников и системы обучения поиску неисправностей в устройствах сигнализации, централизации и блокировки	98
<i>Ефанов Д. В., Лыков А. А., Алексеева Е. А., Трофимова А. В., Тимина Е. Д., Кононов К. С., Перский А. С.</i>	
Моделирование систем автоматики для учебного процесса	105
<i>Сведения об авторах</i>	111
<i>Именной указатель</i>	114

Научное издание

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ
СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ
И ТЕЛЕМЕХАНИКИ**

Сборник научных трудов

*Под редакцией д-ра техн. наук **Вл. В. Сапожникова***

Редактор и корректор *Г. Н. Кириллова*

Компьютерная верстка *М. С. Савастеевой*

Подписано в печать с оригинал-макета 15.12.12.

Формат $60 \times 84^{1/16}$. Бумага для множ. апп. Печать ризография.
Усл. печ. л. 7,4. Тираж 200 экз.

Заказ 10.

Петербургский государственный университет путей сообщения.
190031, СПб., Московский пр., 9.

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