

Р К С

РОССИЙСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Научно-технический журнал

РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Том 1. Выпуск 3. 2014



Содержание

Том 1, Вып. 3, 2014

Космические системы связи и ретрансляции

- Вопросы практического проектирования треллисных кодеров-модуляторов для спутниковых систем передачи информации
В. В. Березкин, А. Н. Ершов, С. В. Петров 3
- Опыт анализа качества программных средств сложных автоматизированных систем с использованием инспекций
А. В. Лобан 10
- Организация низкочастотной части приемного устройства Ки-диапазона радиоволн систем абонентской аппаратуры ретрансляции
В. В. Красков 15

Космические системы и технологии спутникового мониторинга, поиска и спасания

- Обзор подходов к построению систем аварийного спасения и эвакуации экипажей
Н. В. Андреев 21

Комплексы и системы управления космическими аппаратами

- Импульсная модель преобразователя частоты системы электроснабжения летательного аппарата
С. Г. Огурцова 29
- Использование антенных полей в перебазлируемых измерительных комплексах
А. В. Костюков, С. И. Ватулин, А. П. Маслов 36

Производство и обеспечение качества ЭКБ и готовых изделий

- Контроль задержек распространения сигналов в программируемых логических интегральных схемах
А. Я. Кулибаба, А. А. Огурцов 42
- Развитие электронно-компонентной базы СВЧ-диапазона малых спутников для целей обнаружения метеоритной и астероидной угрозы
С. А. Ежов, Н. С. Данилин, Д. М. Димитров, И. Х. Сабиров, Д. А. Белов, И. Ю. Булаев 48
- Проведение аттестации по электростатической стойкости бортовой радиотехнической аппаратуры космического применения бесконтейнерной конструкции и использование ее результатов для повышения надежности
Р. Ю. Дорофеев, Д. А. Белов 53

Научно-образовательная деятельность

- Концептуальные вопросы научно-образовательной деятельности в ОАО «Российские космические системы»
О. Н. Римская, Г. Г. Язерян 58
- Возможности приема и обработки данных ДЗЗ в Консорциуме УНИГЕО
О. В. Бекренев, А. К. Гончаров, Л. А. Гришанцева, К. С. Емельянов, Б. С. Жуков, А. В. Никитин, Л. И. Пермитина, И. В. Полянский, А. С. Рождественский 66

Информационные системы космической техники

- Прототип экспертной диагностической системы поиска и коррекции скачков в безразностных фазовых измерениях
В. В. Бетанов, В. К. Ларин, З. А. Позяева 73

Космические навигационные системы

- Об использовании возможностей ГЛОНАСС для создания социально-ориентированной навигационно-информационной системы «Социальный ГЛОНАСС»
Ю. Б. Дорофеев, С. В. Матвеев, Е. О. Романов 82

Contents

Vol. 1, Iss. 3, 2014

Space Communications and Relay Systems

Issues of Practical Designing of Trellis Coders-Modulators for Satellite Data Transmission Systems <i>V. V. Berezkin, A. N. Ershov, S. V. Petrov</i>	3
Experience in Quality Analysis of Software for Complex Automated Systems Using Inspections <i>A. V. Loban</i>	10
Organization of the Low-Frequency Part in the Ku-Band Receiving Device of User Relay Equipment Systems <i>V. V. Kraskov</i>	15

Space Monitoring, Search and Rescue Space Systems and Technologies

Overview of Approaches to the Construction of Emergency Rescue and Crew Evacuation Systems <i>N. V. Andreev</i>	21
--	----

Complexes and Systems of Spacecraft Control

Impulse Model of the Frequency Converter in the Aircraft Power Supply System <i>S. G. Ogurtsova</i>	29
Application of Antenna Fields in Mobile Measurement Systems <i>A. V. Kostyukov, S. I. Vatutin, A. P. Maslov</i>	36

Electronic Component Base and End Product Manufacturing and Quality Assurance

Signal Propagation Delay Control in Programmable Logic Devices <i>A. Ya. Koulibaba, A. A. Ogurtsov</i>	42
Development of Small Satellite Microwave Electronic Component Base for Meteorite and Asteroid Threat Detection <i>S. A. Ezhov, N. S. Danilin, D. M. Dimitrov, I. H. Sabirov, D. A. Belov, I. Yu. Bulaev</i>	48
Electrostatic Resistance-Based Attestation of Containerless Constructions of On-Board Electronic Equipment for Space Application and the Use of Its Results for Reliability Improvement <i>R. Yu. Dorofeev, D. A. Belov</i>	53

Research and Educational Activity

Conceptual Questions of Scientific and Educational Activity at Joint Stock Company "Russian Space Systems" <i>O. N. Rimskaya, G. G. Yazeryan</i>	58
Earth Remote Sensing Data Acquisition and Processing Capabilities of the Consortium UNIGEO <i>O. V. Bekrenev, A. K. Goncharov, L. A. Grishantseva, K. S. Emelyanov, B. S. Zhukov, A. V. Nikitin, L. I. Permitina, I. V. Polyansky, A. S. Rozhdestvensky</i>	66

Space Technology Information Systems

The Prototype of an Expert Diagnostic System for Cycle Slip Detection and Correction <i>V. V. Betanov, V. K. Larin, Z. A. Pozyaeva</i>	73
---	----

Space Navigation Systems

About the Use of GLONASS for the Creation of the Community-Oriented Navigation and Information System "Social GLONASS" <i>Yu. B. Dorofeev, S. V. Matveev, E. O. Romanov</i>	82
--	----

УДК 621.396.946

Вопросы практического проектирования треллисных кодеров-модуляторов для спутниковых систем передачи информации

В. В. Березкин¹, А. Н. Ершов², С. В. Петров³

¹заместитель начальника отдела, ОАО «Российские космические системы»

²начальник отделения, ОАО «Российские космические системы»

³начальник отдела, ОАО «Российские космические системы»

e-mail: ¹vlaberezkin2012@yandex.ru, ²anershov@rniikp.ru, ³petrov_sv@spacecorp.ru

Аннотация. В статье в упрощенном виде приведены алгоритмы, устанавливающие связь между алгебраическими уравнениями и структурными схемами треллисных кодеров-модуляторов, используемыми в настоящее время в системах передачи высокоскоростной спутниковой информации в соответствии с рекомендациями CCSDS. Материалы предназначены специалистам, имеющим опыт разработки в области средств передачи информации.

Ключевые слова: спутниковая передача информации, треллисное кодирование-модуляция, сигнальное созвездие, «мэппирование», CCSDS

Issues of Practical Designing of Trellis Coders-Modulators for Satellite Data Transmission Systems

V. V. Berezkin¹, A. N. Ershov², S. V. Petrov³

¹deputy head of department, Joint Stock Company "Russian Space Systems"

²head of division, Joint Stock Company "Russian Space Systems"

³head of department, Joint Stock Company "Russian Space Systems"

e-mail: ¹vlaberezkin2012@yandex.ru, ²anershov@rniikp.ru, ³petrov_sv@spacecorp.ru

Abstract. In article in the simplified kind the algorithms establishing communication between by the equations of algebra and block diagrams trellises of coders-the modulators, now in use in systems of transfer of the high-speed satellite information according to recommendations CCSDS are resulted.

Materials of article are intended for experts having experience of development in the field of means of transfer of the information.

Key words: satellite transfer of the information, trellis coding-modulation, alarm constellation, "mapper", CCSDS

Введение

В настоящее время в высокоскоростных спутниковых системах передачи информации с ограниченной полосой широко применяется совмещение процессов модуляции и кодирования с помощью построения треллисных (решетчатых) формирователей.

При этом обеспечивается уменьшение требуемых отношений $E_{\text{бит}}/N_0$ до нескольких дБ без расширения используемого частотного ресурса относительно базового варианта, как это происходит в классических системах с помехоустойчивым кодированием [1].

Решетчатое кодирование в каналах с ограниченной полосой включает большой алфавит сигналов (т. е. M -арные схемы PAM, PSK или QAM) для компенсации избыточности, которая вводится при кодировании, в результате чего ширина полосы частот канала не возрастает, поскольку «евклидов» просвет между разрешенными кодовыми последовательностями превышает величину, необходимую для компенсации уменьшения минимального расстояния между сигналами. В результате полная эффективность кодирования равна от 3 до 6 дБ без какого-либо расширения полосы частот по сравнению с базовым вариантом (в данной статье рассматривается вариант треллисного кодирования 8PSK относительно базового варианта QPSK) [1, 2].

Эти методы рекомендованы к применению законодательными органами в области передачи космической информации CCSDS [3] и ECSS [4], и, в частности, принято решение о том, что соответствующие структура сигнала и оборудование будут использованы в российской космической программе по ДЗЗ «Обзор» для передачи высокоскоростной информации.

Однако, как показывает практика, понимание техники разработки (формирования) функциональных схем, рекомендованных в [3, 4], встречает определенные трудности даже у весьма квалифицированных специалистов-разработчиков радиоэлектронной аппаратуры передачи информации.

В статье сделана попытка на основании теоретических предпосылок наглядно продемонстрировать процесс построения треллисных кодеров-модуляторов с заданными параметрами.

Обсуждаемые методы основаны на последовательном разбиении исходного множества сигналов, составляющих сигнальное созвездие модулированного сигнала на ряд подмножеств, приобретающих увеличенное евклидово расстояние на каждом шаге разбиения.

Классический алгоритм этого процесса приведен на рис. 1 [5], где изображена структура разбиения исходного сигнала 8PSK и соответствующие евклидовы расстояния Δ_i , получающиеся на каждом уровне разбиения (с увеличением на каждом уровне).

Для неортогонального множества сигналов, такого как MPSK, противоположные сигналы будут иметь наилучшие пространственные характеристики с точки зрения различения сигналов и на них можно отображать некодированные биты последовательности, в то время как ближайшие соседние сигналы будут иметь относительно плохие пространственные характеристики «просвета» и между ними необходимо применять кодированные символы.

Практически в этих целях два кодированных символа используются для выбора одного из четырех подобразов сигнального созвездия, в то время как оставшийся информационный символ применяется для выбора одной из двух точек внутри каждого подобраза.

Ключ для подхода к реализации методов совместной модуляции и кодирования заключается в разработке эффективного метода, отображения кодовых битов (символов) в сигнальные точки так, чтобы максимизировать минимальное евклидово расстояние между парами символов [6].

Основы теории

(Конструкция уравнений отображения — «мэппирование»)

Треллисная конструкция (решетка) определяется следующими параметрами:

- кратностью модуляции — M ;
- типом сигнального созвездия;
- размерностью решетки (модуляции) — L ;
- типом и скоростью кодирования.

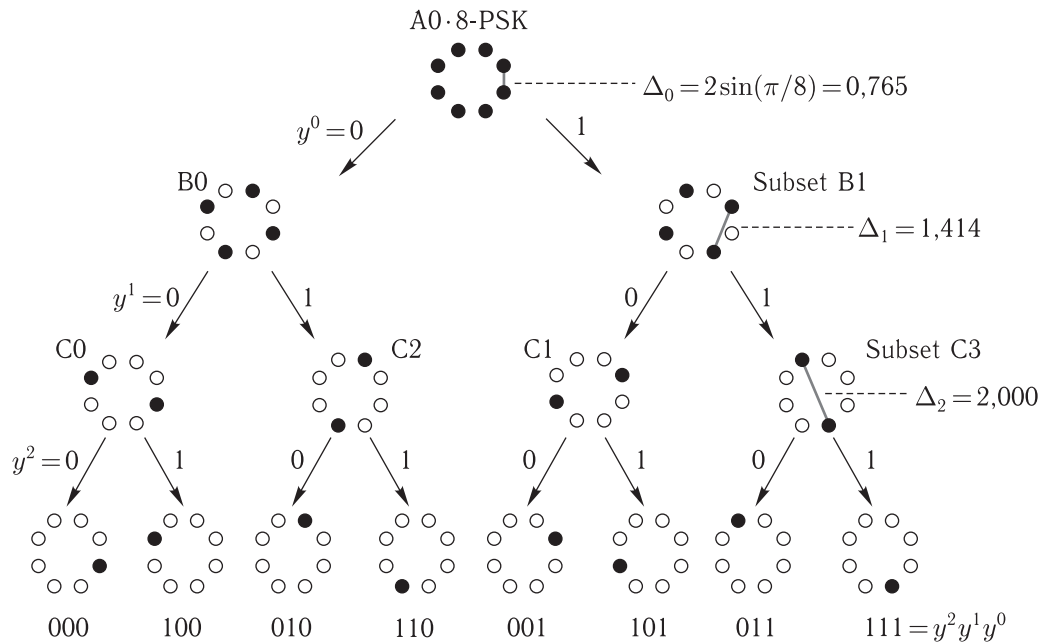


Рис. 1. Разбиение сигнального созвездия 8PSK

В частности для *трехкратного* ($M = 3$) *вида модуляции 8ФМ* каждая точка сигнального созвездия трехбитового символа может быть представлена как $y_j = y_j^2, y_j^1, y_j^0$, где y_j^i принадлежит множеству $\{0, 1\}$, т. е. $y_j^i \in \{0, 1\}$ и $y_j^i = 4y_j^2 + 2y_j^1 + y_j^0$ для $j = 1, 2$, а коэффициент при y_j^i , как будет ясно из дальнейшего материала, формально обозначает его положение (сдвиг), например, при записи в заданную ячейку регистра.

Отсюда следует, что, например, для двухразмерной ФМ8 символ может быть записан в виде бинарной матрицы 2×3 :

$$\begin{bmatrix} y^1 \\ y^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1^2 & y_1^1 & y_1^0 \\ y_2^2 & y_2^1 & y_2^0 \end{bmatrix}.$$

Из общей теории [5] следует, что в общем виде сигнальная точка может быть представлена как:

$$y(z) = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_L \end{pmatrix} = \Omega^{IL}(z) = \sum_{i=0}^{IL-1} z^i g^i, \quad (1)$$

$z = \sum_{i=0}^{IL} 2^i z^i$, где $z^i \in \{0, 1\}$, $0 \leq i \leq IL - 1$, а g^i — так называемые «производящие векторы».

Уравнение (1) может использоваться для описания точки в любом $L \times \text{MPSK}$ -созвездии.

Число бит z^j , необходимое для описания каждой сигнальной точки, — $I \times L$ ($I = \log M$ — число бит, требуемое для представления точки при модуляции кратности M , а L — размерность модуляции при треллисной структуре).

Если наименее значащий бит z^j используется для кодирования, то можно сформировать максимальную относительную эффективную скорость, обеспечиваемую треллисным кодом за период сигнала T :

$$R_{\text{eff}} = (IL - 1)/L \quad (\text{bit})/T.$$

Другие скорости могут быть получены установкой q наименее значащих бит отображения в нуль.

В этом случае равенство (1) может быть переписано как

$$y(z) = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_L \end{pmatrix} = \Omega^{IL}(z) = \sum_{i=q}^{IL-1} z^{i-q} t^j, \quad (2)$$

где $0 \leq z \leq 2^{IL-q-1} - 1$, $0 \leq q \leq L - 1$, а $y^q(z)$ представляет точку $L \times \text{MPSK}$ -сигнала с нулевыми первыми q бит в равенстве (1).

В последнем случае эффективная скорость треллисного кодирования

$$R_{\text{eff}} = (IL - q - 1)/L \quad (\text{bit})/T.$$

Для двухразмерной ФМ8 шесть итераций вычислений (для матрицы 3×2) [5] в соответствии с (1) дают упомянутые выше «производящие векторы» g^i в виде, приведенном в табл. 1:

Таблица 1. Таблица производящих векторов

Уровень разделения, p	Производящий вектор, g^{pT}
0	$g^0 = [01]^T$
1	$g^1 = [11]^T$
2	$g^2 = [02]^T$
3	$g^3 = [22]^T$
4	$g^4 = [04]^T$
5	$g^5 = [44]^T$

Этот же результат с использованием измененной по сравнению с рис. 1 символики получен в [7] более наглядным способом.

Здесь процесс разделения представлен в виде таблицы 8×8 (поскольку $2^{IL} = 2^6 = 64$).

В таблице расположены числа, в символическом виде характеризующие переходы, получающиеся при разбиении исходного сигнального созвездия (Ω^p).

Таблица 2. Исходный вектор Ω^0 и два подмножества Ω^1 (заштрихованные и незаштрихованные числа) после первого разделения

0	01	02	03	04	05	06	07
10	11	12	13	14	15	16	17
20	21	22	23	24	25	26	27
30	31	32	33	34	35	36	37
40	41	42	43	44	45	46	47
50	51	52	53	54	55	56	57
60	61	62	63	64	65	66	67
70	71	72	73	74	75	76	77

Горизонтальная и наклонная стрелки отображают связь между векторами созвездия, имеющими на исходном множестве Ω^0 (в соответствии с рис. 1) минимальное евклидово расстояние — МЭР = 0,586.

Наклонная стрелка отображает связь между векторами после первого этапа разделения (подмножество Ω^1) на рис. 1 или числа в заштрихован-

ных и незаштрихованных квадратах табл. 1. В этом случае получаем удвоенное значение МЭР = 1,172.

Дальнейшие разбиения на подмножества Ω^2 , Ω^3 , Ω^4 и Ω^5 в соответствии с рис. 1 и табл. 3–5 дают МЭР (между числами, указанными стрелками) 2, 4, 4 и 8.

Таблица 3. Подмножество Ω^2 после третьего разделения

00	01	02	03	04	05	06	07
10	11	12	13	14	15	16	17
20	21	22	23	24	25	26	27
30	31	32	33	34	35	36	37
40	41	42	43	44	45	46	47
50	51	52	53	54	55	56	57
60	61	62	63	64	65	66	67
70	71	72	73	74	75	76	77

Таблица 4. Подмножество Ω^3 после четвертого разделения

00	01	02	03	04	05	06
10	11	12	13	14	15	16
20	21	22	23	24	25	26
30	31	32	33	34	35	36
40	41	42	43	44	45	46
50	51	52	53	54	55	56
60	61	62	63	64	65	66
70	71	72	73	74	75	76

Таблица 5. Подмножество Ω^4 после пятого разделения

00	01	02	03	04
10	11	12	13	14
20	21	22	23	24
30	31	32	33	34
40	41	42	43	44
50	51	52	53	54
60	61	62	63	64
70	71	72	73	74

Числа 01, 11, 02, 22, 04, 44 справа от стрелок являются теми же коэффициентами при «производящих векторах», полученными путем вычислений

Таблица 6. Подмножество Ω^5 после шестого разделения

00		
		44

по формуле (1) и приведенными в правом столбце табл. 1.

Записанные в двоичном виде, эти векторы выглядят соответственно:

$$g^5 = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}, \quad g^4 = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}, \quad g^3 = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{vmatrix},$$

$$g^2 = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}, \quad g^1 = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}, \quad g^0 = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Порождающие векторы задают структуру уравнений, определяющих функциональные схемы электронных устройств, реализующих необходимую логику работы и параметры треллисных кодеров и модуляторов.

Так, для рассматриваемого случая двухразмерного ФМ8 имеем уравнение:

$$Y = (y1, y2) = \sum_{0 \leq p \leq 5} x^p g^p.$$

Если раскрыть это выражение, получим уравнение, определяющее трехразрядные символы $y1$ и $y2$, поступающие на вход модулятора 8PSK:

$$Y = (y1, y2) = x^5 \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \oplus x^4 \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \oplus x^3 \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \oplus x^2 \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \oplus x^1 \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{vmatrix} \oplus x^0 \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix},$$

$$y1 = x5, x3, x1$$

$$y2 = (x5) \oplus (x4), (x3) \oplus (x2), (x1) \oplus (x0)$$

$y1 = x5, x3, x1$ определяется наличием «единиц» в левых столбцах всех матричных коэффициентов уравнения (3), а $y2 = (x5) \oplus (x4), (x3) \oplus (x2), (x1) \oplus (x0)$ определяется суммой «единиц», находящихся в одинаковых разрядах правых столбцов всех матричных коэффициентов уравнения (3).

Из этих уравнений вытекает структурная схема:

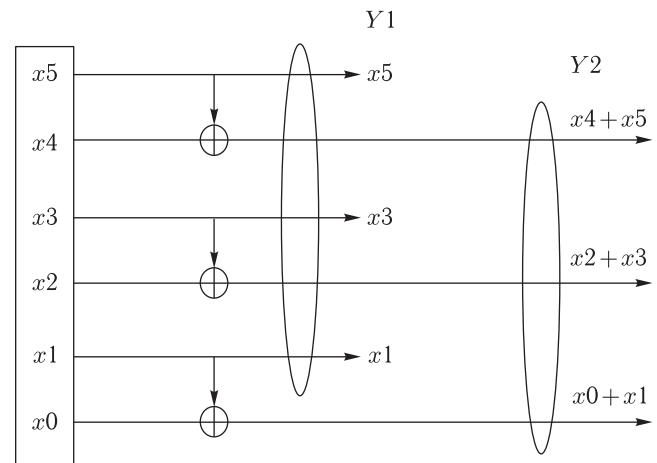


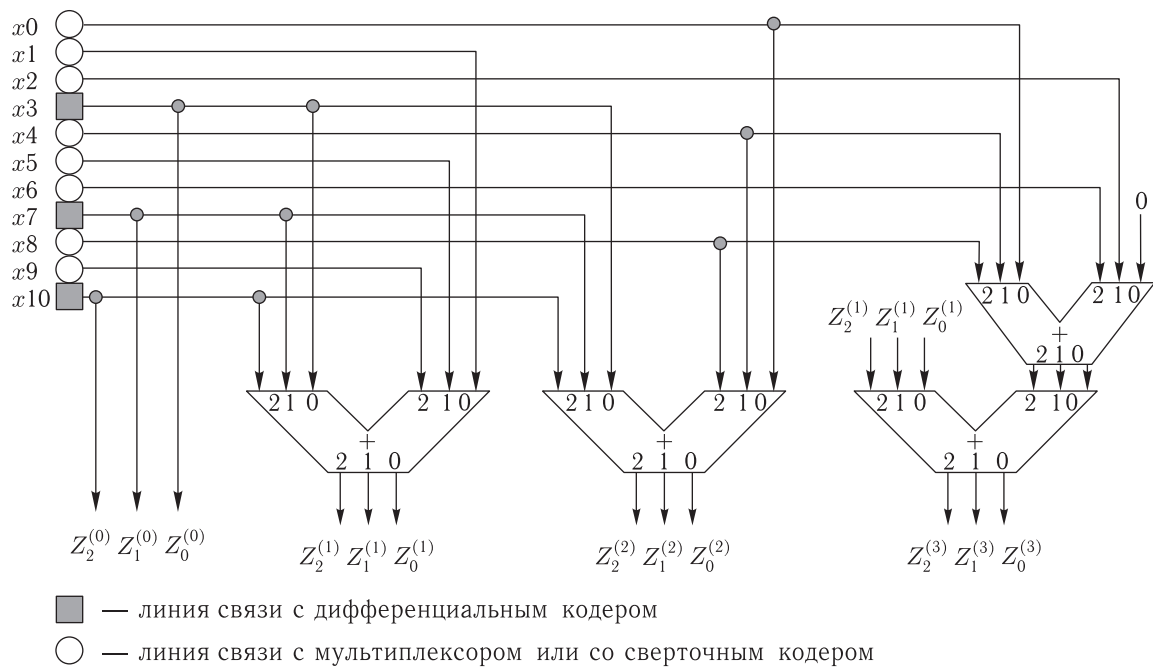
Рис. 2. Структурная схема «мэппера», соответствующая уравнению (3)

Уравнение (3) можно переписать в восьмеричной системе:

$$Y = (y1, y2) = x^5 \begin{vmatrix} 4 \\ 4 \end{vmatrix} \oplus x^4 \begin{vmatrix} 0 \\ 4 \end{vmatrix} \oplus x^3 \begin{vmatrix} 2 \\ 2 \end{vmatrix} \oplus x^2 \begin{vmatrix} 0 \\ 2 \end{vmatrix} \oplus x^1 \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \end{vmatrix} \oplus x^0 \begin{vmatrix} 0 \\ 1 \end{vmatrix} \pmod{8}.$$

Пример. Если на вход поступает шестизначная последовательность 010101, то, вычеркивая слагаемые, соответствующие нулям этой последовательности, и оставляя слагаемые, соответствующие единицам, например, из уравнения, представленного в двоичном виде, получим:

$$(3) \quad Y = (y1, y2) = x^5 \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \oplus x^4 \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \oplus x^3 \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \oplus x^2 \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \oplus x^1 \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{vmatrix} \oplus x^0 \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} =$$

Рис. 3. Устройство присваивания для модуляционной эффективности $R_{\text{eff}} = 2,5$ бит/Т

$$\begin{aligned}
 &= x^4 \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \oplus x^2 \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \oplus x^0 \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} = \\
 &= 1 \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \oplus 1 \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \oplus 1 \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}.
 \end{aligned}$$

Таким образом, после выполнения операции суммирования имеем для двухразмерной (2D) системы один 2×3 символ, который поступает на вход модулятора 8PSK: $Y = [(000), (111)]$.

Ниже в качестве примера приведена рекомендованная в [3, 4] четырехразмерная система 4D-8PSK TCM со следующим уравнением, а также структурными схемами устройства присваивания и кодера-модулятора (приведен вариант для $R_{\text{eff}} = 2,5$ бит/Т).

Выражения для модуляционной эффективности 2,5-бит/канальный символ:

$$\begin{bmatrix} z^{(0)} \\ z^{(1)} \\ z^{(2)} \\ z^{(3)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4x^{(10)} + 2x^{(7)} + x^{(3)} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} +$$

$$\begin{aligned}
 &+ 4 \begin{pmatrix} 0 \\ x^{(9)} \\ x^{(8)} \\ x^{(9)} + x^{(8)} + x^{(6)} \end{pmatrix} + 2 \begin{pmatrix} 0 \\ x^{(5)} \\ x^{(4)} \\ x^{(5)} + x^{(4)} + x^{(2)} \end{pmatrix} + \\
 &+ \begin{pmatrix} 0 \\ x^{(1)} \\ x^{(0)} \\ x^{(1)} + x^{(0)} \end{pmatrix} \Bigg] \mod 8. \quad (4)
 \end{aligned}$$

Дифференциальным кодером кодируются векторы, влияющие на переворот фазы при приеме сигнала.

Связь между уравнением (4) и структурными схемами, изображенными на рис. 3 и 4, определяется приведенными выше принципами построения треллисных кодеров-модуляторов.

Заключение

В статье изложены основные принципы и логика построения источников передачи информации для спутниковых систем с треллисным кодированием-модуляцией (TCM).

Содержание статьи может быть положено в основу понимания принципов функционирования

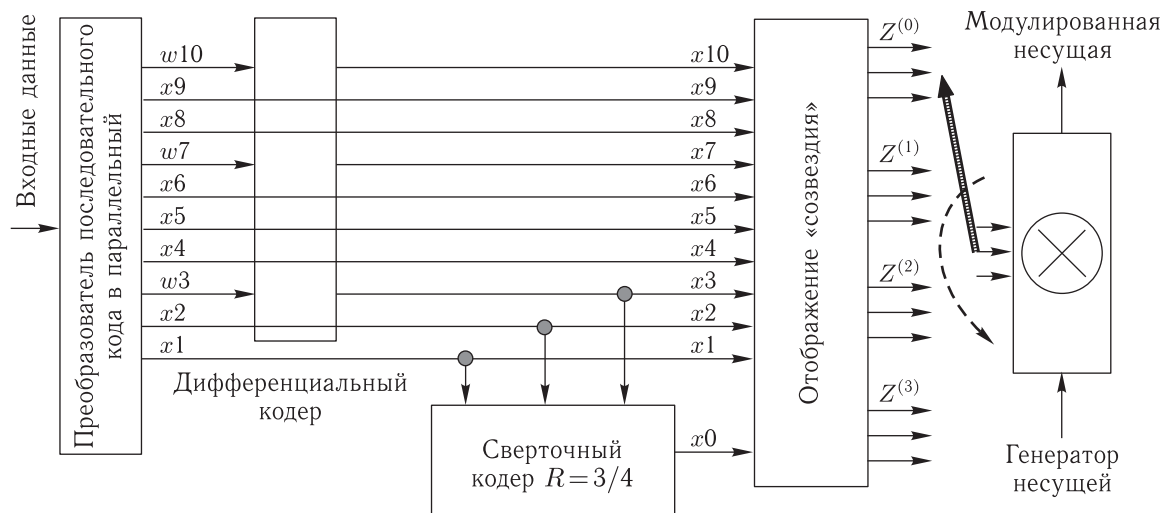


Рис. 4. Модель кодера и устройства присваивания для эффективности $R_{\text{eff}} = 2,5$ бит/Т

и проектирования систем, рекомендуемых в [3, 4] для использования в современных системах спутниковой передачи информации, и дает разработчикам информационных спутниковых систем достаточный уровень представления о методике проектирования бортовой и контрольно-проверочной аппаратуры с TCM.

Список литературы

1. Ungerboeck G. Trellis-coded modulation with Redundant Signal Sets Part I: Introduction // IEEE Communications Magazine, 1987. V. 25, № 2.
2. Ungerboeck G. Channel Coding with Multilevel/Phase Signals // IEEE Trans. Inform. Theory, 1982. V. IT-28, p. 55–67.
3. Bandwidth-Efficient Modulations, informational report CCSDS 413.0-G-2. Green Book, October 2009.
4. Space engineering Radio frequency and modulation ECSS Secretariat ESA-ESTEC. Requirements & Standards Division, Noordwijk. The Netherlands ECSS-E-50-05AK, 24 January 2003.
5. Servant D. Design and Analysis of a Multidimensional Trellis Coded Demodulator. Master's Degree Project, Stockholm, Sweden. 2004-06-16 IR-SB-EX-0424.
6. Прохис Дж. Цифровая связь. Пер. с англ. / Под ред. Д. Д. Кловского. М.: Радио и связь, 2000.
7. Intuitive Guide to Principles of Communications www.comextoreal.com Trellis-coded modulation, tcm.pdf — adobe Reader.

УДК 681.3.06

Опыт анализа качества программных средств сложных автоматизированных систем с использованием инспекций

А. В. Лобан

к. т. н., с. н. с., начальник сектора, ОАО «Российские космические системы»

e-mail: otel2260@mail.ru

Аннотация. С использованием элементов общей теории систем предложена многоуровневая математическая структура оценивания качества программных средств (ПС) с использованием способа «быстрого тестирования» — инспекций. Приведены результаты оценивания метрик, факторов и критериев качества ПС сложной автоматизированной системы специального назначения.

Ключевые слова: программное средство, оценка качества, инспекции, эксперт, метрики, факторы, критерии качества

Experience in Quality Analysis of Software for Complex Automated Systems Using Inspections

A. V. Loban

*candidate of engineering science, senior staff scientist, head of sector,
Joint Stock Company "Russian Space Systems"*

e-mail: otel2260@mail.ru

Abstract. Using elements of the theory of automatic information processing proposed multilevel mathematical structure quality assessment of software tools (ST) using the method of rapid testing — inspections. The results of the evaluation metrics, factors and quality criteria ST complex automated system for special purposes.

Key words: software, quality assurance, inspections, expert, metrics, factors, quality criteria

Введение

Одной из важнейших проблем обеспечения качества программных средств является формализация характеристик качества и методология их оценки [1]. Особенно актуальна эта проблема для фазы жизненного цикла создания системы «Изготовление». Возможны различные виды оценок характеристик качества [2] (управленческие, технические, инспекции, «прогонки», аудит). Все они различаются по затратам и времени выполнения. В том случае, когда оценки требуется получить быстро, целесообразно использовать инспекцию группой подготовленных специалистов-экспертов.

Назначение инспекций состоит в обнаружении и идентификации *аномалий* в программном продукте. Инспектирование программного средства (ПС) проводится, как правило, с привлечением авторов ПС. В отведенный промежуток времени инспекции проводятся в отношении отдельного небольшого фрагмента продукта (в большинстве случаев фокусируясь на отдельных функциональных или других характеристиках; часто отталкиваясь от функциональных требований или атрибутов качества).

Обобщенная математическая структура инспекции качества ПС

Анализ взаимосвязей информационных потоков (параметров-признаков), группы которых используются при изучении программного продукта, позволил обосновать обобщенную математическую структуру инспекции качества ПС (рис. 1). В данной структуре применяют следующие обозначения:

T — множество моментов времени инспекции ПС;

I_X, I_Y — множества внешних (данные программной документации, стандарты, руководящие документы и др.) и внутренних (данные категорий программных показателей качества) информационных потоков при инспекции ПС соответственно;

$I_{iY}, i = \overline{1, 3}$ — множества внутренних информационных потоков при инспекции компонента ПС;

P_1, C_1 — множества метрик оцениваемых параметров и истинных значений, соответствующих факту достижения диагностической цели проверки оцениваемых признаков (параметров);

P_2, C_2 — множества критериев качества и истинных значений, соответствующих факту достижения диагностической цели проверки метрик;

P_3, C_3 — множества факторов качества и истинных значений, соответствующих факту достижения диагностической цели проверки критериев;

$I_{iY}^\vartheta, i = \overline{1, 3}$ — фактор-множества $I_{iY}, i = \overline{1, 3}$ (требования стандартов, перечни категорий программных показателей качества, классификационные схемы), содержащиеся в базе данных по группам ПС;

K_{TC} — тезаурус-классификатор (*thesaurus-classifier*), содержащий формализованный образ объекта (ПС) как информационной системы [3];

$I_{1Y}^\vartheta \times I_{2Y}^\vartheta \times I_{3Y}^\vartheta \in K_{TC}$ — исходные данные для инспекции компонентов ПС;

K_{TP} — тезаурус-запас знаний (*thesaurus people* — тезаурус людей), содержащий неформализованный образ объекта (ПС) как информационной системы [4];

L_1, L_2, L_3 — отображения инспекции метрик, критериев и факторов качества ПС соответственно;

$\eta_i, \vartheta_i, \chi_i, \psi_i, \xi_i, i = \overline{1, 3}$ — отображения классифицирования, факторизации, импликации, оценивания и идентификации для метрик, критериев и факторов качества ПС соответственно.

Данная обобщенная математическая структура дает наглядное представление о процессе инспекции ПС, позволяет определить место K_{TC} — тезауруса-классификатора (базы данных, содержащей сведения о метриках, критериях и факторах качества по группам ПС [6, 7]) при проверке (изучении) программ, а также роли участников общего процесса инспекции.

Так появление K_{TC} — тезауруса-классификатора возможно при условии, что тезаурус-запас знаний программистов (авторов) позволяет ему выполнить человеко-машинные процедуры $L_i, \eta_i, \vartheta_i, \chi_i, \psi_i, \xi_i, i = \overline{1, 3}$ с целью создания массивов данных $I_{iY}^\vartheta, i = \overline{1, 3}$ для включения их в базу данных по классификационной группе ПС. Это кропотливый процесс на основе опыта и знаний авторов-

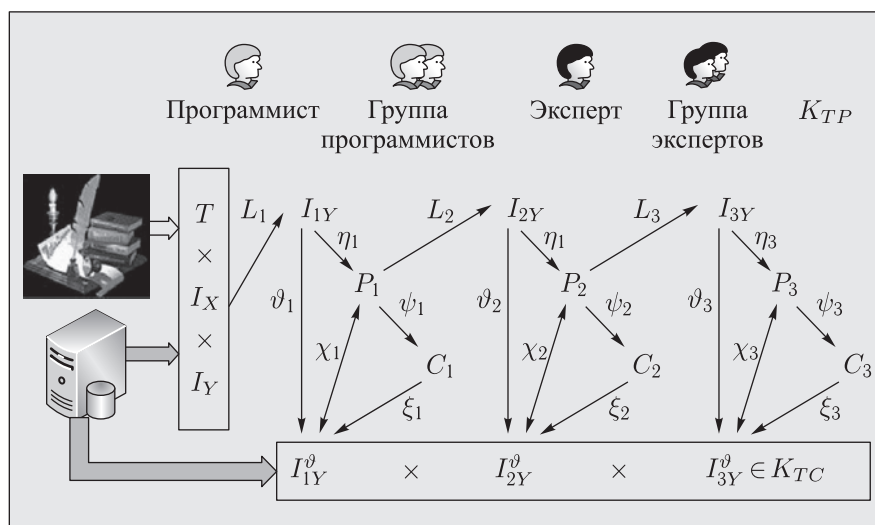


Рис. 1. Математическая структура инспекции качества ПС

программистов, аналог творческой деятельности работника искусства.

Суть отображений $L_i, \eta_i, \vartheta_i, \chi_i, \psi_i, i = \overline{1,3}$ для инспектируемого модуля программы состоит в том, чтобы на основе программной документации и нормативных документов создать метрики оцениваемых показателей, определиться с критериями и факторами качества ПС, затем классифицировать данные о программах, содержащиеся в программной документации, построить образы-эталоны для разбиения множества получаемых результатов на истинные и аномальные, оценить результаты практической работы экспертов. Результатом этих процедур, выполняемых заблаговременно, является фрагмент метрик, критериев и факторов качества для данного модуля программы (тезаурус-классификатор для проверки программы).

По готовности базы данных можно приступить к процессу инспекции ПС данной группы. Здесь уже эксперты выполняют отображения $L_i, i = \overline{1,3}$ и $\eta_i, i = \overline{1,3}$, а координатор экспертной группы лишь отображение $\psi_i, i = \overline{1,3}$. При необходимости уточнить содержание базы данных координатор экспертной группы может воспользоваться процедурой идентификации $\xi_i, i = \overline{1,3}$ с целью модификации исходных данных.

Важно отметить, что предлагаемая модель инспекции качества ПС не зависит от проблемной области, для которой создаются программные ком-

поненты. Учесть особенности проблемной области предлагается при разработке человеко-машинных процедур реализации отображений факторизации, импликации, классифицирования, оценивания и идентификации метрик, критериев и факторов качества ПС. Модель же позволяет определиться с ролями в процессе инспекции между участниками, а также определить класс задач-алгоритмов, которые нужно реализовать при создании, а затем при использовании по назначению тезауруса-классификатора.

Опыт анализа качества ПС специального назначения

Предложенная модель инспекции ПС была апробирована при анализе качества ПС специального назначения. В процессе инспекции члены команды экспертов исследовали ПС и другие входные данные до проведения инспекционной встречи, применяя те или иные аналитические техники с небольшим фрагментом продукта или к продукту в целом, рассматривая в последнем случае только один его аспект, например, интерфейсы [5].

Любая найденная аномалия документировалась, а информация о ней передавалась лидеру (руководителю) инспекции. В процессе инспекции лидер руководил сессиями «инспекции»

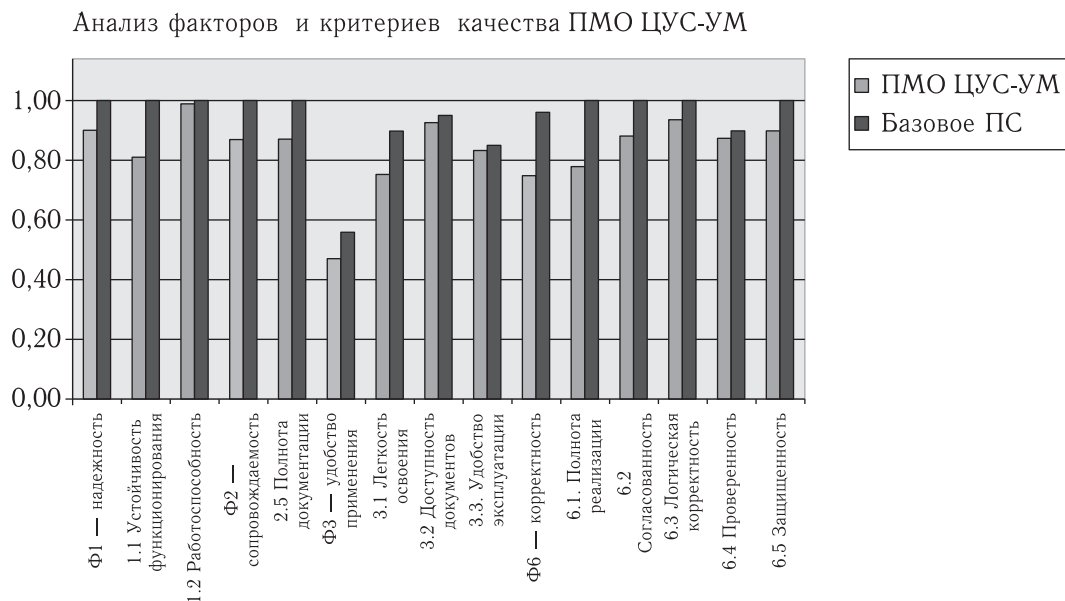


Рис. 2. Результаты инспекции ПС специального назначения

и контролировал готовность всех «членов команды» к инспектированию.

Общим инструментом, используемым при инспектировании, являлся **проверочный лист** (*checklist*), содержащий аномалии и вопросы, связанные с аспектами ПС, вызывающими интерес (см. ГОСТ 28195-89 Оценка качества программных средств. Общие положения [6]).

В **результатирующем листе** аномалии классифицированы (см. стандарт IEEE 1044-93 «IEEE Standard for the Classification of Software Anomalies» [7]) и оценивались командой с точки зрения его завершенности и точности.

Инспекционные встречи занимали несколько часов, в отличие от технической оценки и аудита, предполагающих, в большинстве случаев, больший объем работ и, соответственно, длящиеся дольше.

Проверочные и результирующий листы были созданы и проанализированы с помощью программы Excel офисного пакета. Факторы и критерии качества ПС специального назначения, полученные по методике в результате экспертной оценки, приведены на рис. 2.

Анализ результатов показал, что значения оценок факторов и критериев качества уступают базовым показателям качества, достигнутым в настоящее время для данного класса ПС. Этот факт под-

тверждает актуальность задачи совершенствования характеристик надежности, сопровождаемости, удобства применения и корректности (функциональности) ПС специального назначения. В первую очередь, следует улучшить свойства ПС по критериям устойчивости функционирования, полнота документации, легкость освоения, полнота реализации и согласованность.

Заключение

Жесткая и серьезная конкуренция на рынке готовых ПС заставляет искать способы, целью которых является как минимизация сроков разработки новых продуктов, так и повышение их надежности. Как известно, высокое качество и надежность гарантирует адекватно выполненное тестирование. Технология «быстрого тестирования» находит «золотую середину» между соблюдением сроков и гарантией высокого качества [5]. Однако ее результат на практике сильно зависит от подготовленности специалистов-экспертов, участвующих в инспекции ПС.

В рамках жизненного цикла разработки необходимо как можно раньше приступать к тестированию ПС, привлекая к этому испытателей и экспертов из расчета 2–3 человека на одного программиста (по оценкам зарубежных источников).

Эффективность проделанной работы должна оцениваться, прежде всего, на основе количества обнаруженных ошибок.

Предлагаемая в статье обобщенная математическая структура проведения тестирования качества программного обеспечения с использованием инспекций легко реализуется инструментальными средствами офисных приложений и позволяет автоматизировать процесс сбора и обработки данных о показателях-признаках, характеризующих качество ПС.

Список литературы

1. *Лунаев В.В.* Оценка качества программных средств // Сетевой журнал, 2002, № 3.
<http://www.setevoi.ru>
2. SWEBOOK 2004. Основы программной инженерии, 2010.
3. *Ловцов Д.А.* Информационная теория эргосистем: базисные аспекты.
<http://viperson.ru/wind.php?ID=499227&soch=1>
4. *Лобан А.В., Ловцов Д.А.* Метод распределенной переработки телеметрической информации в сети АСУ // Автоматика и телемеханика, 1995, № 5. С. 150–160.
5. *Калберстон Р., Браун К., Кобб Г.* Быстрое тестирование. М.: ИД «Вильямс», 2002.
6. ГОСТ 28195-89 Оценка качества программных средств. Общие положения.
7. Стандарт IEEE 1044-93 «IEEE Standard for the Classification of Software Anomalies».

УДК 621.396.61.47.47.31

Организация низкочастотной части приемного устройства Ку-диапазона радиоволн систем абонентской аппаратуры ретрансляции

В. В. Красков

начальник сектора, ОАО «Российские космические системы»

e-mail: postx001@gmail.com

Аннотация. Рассматривается пример эффективного подхода к проектированию низкочастотной части приемного устройства (на примере низкочастотной части приемного устройства Ку-диапазона радиоволн систем абонентской аппаратуры ретрансляции) путем реализации системы на кристалле.

Ключевые слова: система на кристалле, цифровая обработка сигналов, приемное устройство

Organization of the Low-Frequency Part in the Ku-Band Receiving Device of User Relay Equipment Systems

V. V. Kraskov

head of sector, Joint Stock Company "Russian Space Systems"

e-mail: postx001@gmail.com

Abstract. In this work, we consider the example of an effective approach to the design of the low-frequency part of the receiving device (for example, the low-frequency part of the receiver Ku-band radio systems user equipment retransmission) by implementing a system-on-chip.

Key words: system-on-chip, digital signal processing, the receiver

Введение

Устройства, созданные с использованием подхода, выраженном в стремлении реализовать как можно больше функциональных элементов на одном кристалле, имеют ряд преимуществ по отношению к их аналогам, реализованным с использованием отдельных микросхем/микросборок и/или россыпи элементов [1]:

- уменьшение размеров устройства;
- уменьшение номенклатуры и количества применяемых элементов;
- увеличение показателей надежности устройства;
- уменьшение временных и материальных затрат на модернизацию устройства;
- высокие показатели технологичности устройства.

1. Постановка задачи

Цель работы — иллюстрация подхода к проектированию устройств в виде реализации значительной части его функциональных элементов на кристалле. Иллюстрация производится на примере низкочастотной части приемного устройства Ку-диапазона радиоволн систем абонентской аппаратуры ретрансляции. Функциональные и тактико-технические требования к низкочастотной части приемного устройства Ку-диапазона радиоволн систем абонентской аппаратуры ретрансляции (НЧ ПРМ) предполагают наличие некоторого необходимого набора функциональных элементов. К таким элементам, в частности, относятся:

- модуль автоматической регулировки уровня усиления входного сигнала;
- модуль управляемого синтезатора частот;
- модуль фазовой автоподстройки частоты входного сигнала;
- модуль абонентской части контроллера информационного обмена по интерфейсу RS-485.

2. Реализация функциональных элементов НЧ ПРМ на кристалле

Рассмотрим более подробно реализацию данного подхода.

Структурно-функциональная схема НЧ ПРМ приведена на рис. 1.

Преобладающая часть устройства НЧ ПРМ реализована в виде функциональных элементов на одном кристалле типа ПЛИС FPGA. В качестве ПЛИС используется микросхема XC5VLX155 фирмы Xilinx [2]. Данная ПЛИС имеет 24 320 ячеек (также 128 ячеек цифровой обработки сигналов) и 6912 Кбит ОЗУ. Технические и функциональные возможности данной ПЛИС позволяют в полной мере реализовать тактико-технические требования к функциональным элементам НЧ ПРМ.

В ПЛИС реализованы следующие функциональные элементы:

- блок поиска, захвата и слежения за частотой и фазой сигнала входного сигнала F_0 ;
- блок демодуляции фазоманипулированного квадратурного небалансного сигнала и разделения сигналов по каналам I и Q;
- блок слежения за частотой, фазой поднесущей и демодуляции поднесущей;
- блок формирования управляющих сигналов для поддержания постоянного уровня сигнала на входе АЦП;
- блок выделения цифровой информации ЦИ I, формирования сопровождающей тактовой сетки ТС ЦИ I и сигнала битовой синхронизации БС I;
- блок выделения цифровой информации ЦИ Q, формирования сопровождающей тактовой сетки ТС ЦИ Q и сигнала битовой синхронизации БС Q;
- блок контроля загрузки и работоспособности ПЛИС;
- блок сбора и выдачи телеметрической информации ТМИ;
- блок приема команд управления КУ и выдачи диагностической информации ДИ;

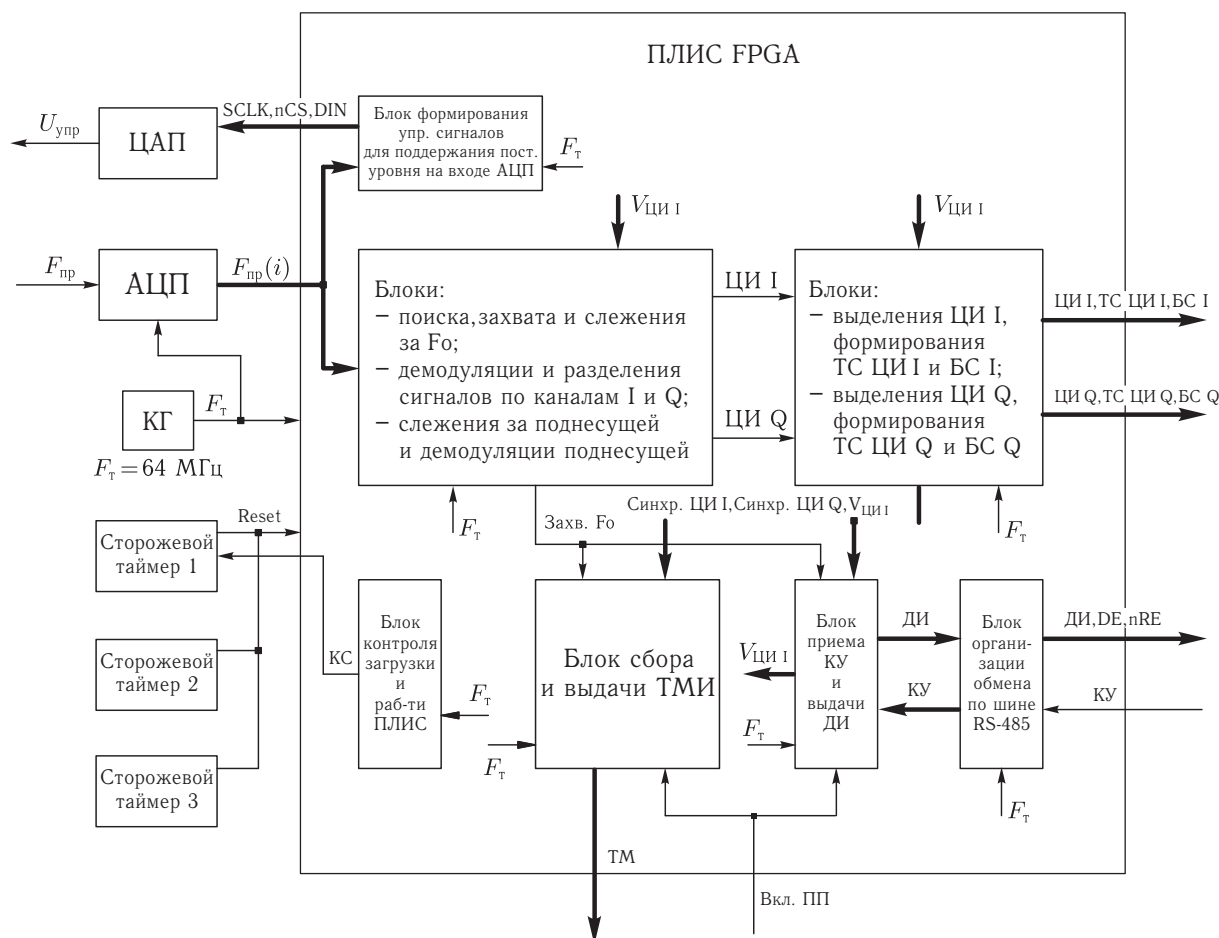


Рис. 1. Структурно-функциональная схема НЧ ПРМ

- блок организации обмена по шине RS-485 согласно отдельному протоколу.

Проиллюстрируем отдельно организацию некоторых функциональных элементов.

Блок формирования управляющих сигналов для поддержания постоянного уровня сигнала на входе АЦП.

Общая схема автоматической регулировки уровня усиления входного сигнала (АРУ) F_0 представлена на рис. 2.

Схема состоит из:

- аттенюатора АТТ на 25 дБ АТ-255 (фирмы Tyco Electronics);
- схемы усиления сигнала УС;
- АЦП типа AD6640AST (фирмы Analog Devices);
- блока цифровой части АРУ, реализованной на ПЛИС;

- ЦАП типа TLV5618A (фирмы Texas Instruments);

- схемы низкочастотной фильтрации сигнала.

Блок цифровой части АРУ управляет аттенюатором, на вход которого поступает сигнал F_0 . Управляющий сигнал обеспечивает поддержание постоянного уровня $V_{p-p} = 1$ В (требование на АЦП AD6640AST) на входе АЦП в динамическом диапазоне уровней суммарной входной мощности $P_{ВХ\Sigma} = -(3 \pm 5)$ дБмВт.

Функциональная схема блока цифровой части АРУ представлена на рис. 3.

Принцип работы блока цифровой части АРУ основан на минимизации величины среднеквадратического отклонения значения входного сигнала относительно опорного.

Выходной сигнал управления усилением в виде последовательного 12-разрядного кода DIN

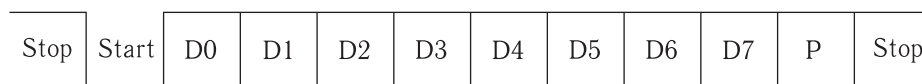


Рис. 4. Формат кадра данных протокола UART

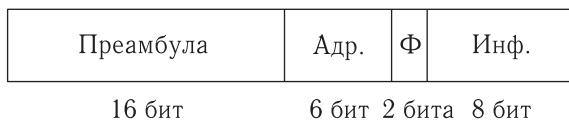


Рис. 5. Структура информационной части сообщения

сегментах каждого из четырех кадров. Структура информационной составляющей сообщения приведена на рис. 5, где:

- Препамбула = 0101010101010101;
- Адр. — адрес устройства на шине (для НЧ ПРМ равен 000001);
- Ф — функция сообщения;
- Инф. — информационное поле.

Процедура обработки данных окончательным устройством подчиняется следующей схеме:

- 1) Проверка соответствия битов четности. В случае успешной проверки — переход к этапу 2, иначе — окончательным устройством выдается ответное сообщение на повтор выдачи команды (данное сообщение может выдано до трех раз в рамках одной транзакции — при последовательном повторении ошибок проверки на четность; повторы регулируются контроллером шины). Информационная часть сообщения на повтор выдачи команды имеет вид (Препамбула, Адр., Ф, Инф.) = (0101010101010101, 000001, 00, 00000000).
- 2) Анализ препамбулы. Пороговое принятие решения о наличии препамбулы. В случае положительного завершения — переход к этапу 3, иначе — молчание.
- 3) Анализ адреса. При совпадении входящего адреса с адресом устройства (000001) переход к этапу 4, иначе — молчание.
- 4) Считывание поля 'функция' и переход к этапу 5.
- 5) Считывание поля 'Инф.'. При наличии соответствующего кода в таблице команд окончательного устройства — исполнение и переход к этапу 6, иначе — молчание.

- 6) Выдача ответного сообщения. Вид сообщения зависит от типа обмена, который был инициирован контроллером.

Процедура обмена при выдаче контроллером команды на установку окончательного устройства в определенное состояние подчиняется следующей схеме:

- 1) п. 1–5 процедуры обработки данных окончательным устройством.
- 2) Выдача ответного сообщения. Информационная часть сообщения имеет вид (Препамбула, Адр., Ф, Инф.) = (0101010101010101, 000001, 01, 00000000).

Процедура обмена при выдаче контроллером команды на передачу окончательным устройством информации подчиняется следующей схеме:

- 1) п. 1–5 процедуры обработки данных окончательным устройством.
- 2) Выдача ответного сообщения. Информационная часть сообщения имеет вид (Препамбула, Адр., Ф, Инф.) = (0101010101010101, 000001, 01, 0'd6"d5"d4"d3"d2"d1"d0'), где d6–d0 — биты диагностического сообщения.

Блок занимает 320 обычных ячеек, 0 ячеек ЦОС и 512 бит ОЗУ.

Синтез элементов из VHDL-описания проводился в программе Xilinx ISE Design Suite 13.1.

Реализация описанных в таблице элементов с использованием отдельных микросхем/микросборок и/или схемотехнических решений привела бы к значительному ухудшению характеристик устройства, таких как массово-габаритные показатели, показатели потребления.

Каждый функциональный элемент представляет собой законченную структуру, описанную на языке высокого уровня VHDL и требует для своего размещения в ПЛИС определенных ресурсов. В совокупности данные элементы представляют собой библиотеку функциональных элементов, применение которых возможно в аналогичных разработках. При выборе другого типа ПЛИС в разработках

Таблица. Сводная таблица занимаемых ресурсов ПЛИС функциональными элементами

Функциональный элемент	Количество обычных ячеек	Количество ячеек ЦОС	Количество ОУЗ, бит
Блок поиска, захвата и слежения за частотой и фазой сигнала входного сигнала Fo	10 217	96	2 088 000
Блок демодуляции фазоманипулированного квадратурного небалансного сигнала и разделения сигналов по каналам I и Q	2682	18	36 000
Блок слежения за частотой, фазой поднесущей и демодуляции поднесущей	484	0	256
Блок формирования управляющих сигналов для поддержания постоянного уровня сигнала на входе АЦП	25	5	64
Блок выделения цифровой информации ЦИ I, формирования сопровождающей тактовой сетки ТС ЦИ I и сигнала битовой синхронизации БС I	562	0	128
Блок выделения цифровой информации ЦИ Q, формирования сопровождающей тактовой сетки ТС ЦИ Q и сигнала битовой синхронизации БС Q	608	0	1024
Блок контроля загрузки и работоспособности ПЛИС	14	0	0
Блок сбора и выдачи телеметрической информации ТМИ	95	0	128
Блок приема команд управления КУ и выдачи диагностической информации ДИ	124	0	256
Всего	14 811 (61,9%)	119 (93,0%)	2 125 856 (30,8%)

можно ориентироваться на данные по занимаемым ресурсам в исходной ПЛИС, но с учетом различия архитектуры исходной ПЛИС и замещающей.

Заключение

В статье проиллюстрирован пример подхода к проектированию низкочастотной части приемного устройства (на примере низкочастотной части приемного устройства Ки-диапазона радиоволн систем абонентской аппаратуры ретрансляции) путем реализации системы на кристалле. Приведен перечень реализованных на ПЛИС функциональных элементов с указанием занимаемых ресурсов на кристалле.

Применение подхода, выраженного в стремлении реализовать как можно большее число функциональных элементов на одном кристалле сопряжено с определенными трудностями, а именно с необходимостью реализовывать различные

процедуры и алгоритмы цифровой обработки сигналов (ЦОС) [3]. Однако такой подход оправдан, поскольку позволяет существенно уменьшить размеры разрабатываемого устройства, увеличить показатели надежности и прочее. При наличии готовой библиотеки функциональных элементов данный подход позволяет значительно сократить временные затраты на разработку аналогичных устройств.

Список литературы

1. Склэр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, 2-е изд., испр.: Пер. с англ. М.: ИД «Вильямс», 2004. 1104 с.
2. www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds202.pdf, ver. 5.3, 05.05.2010.
3. Айфичер Э. С., Джервис Б. У. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е изд.: Пер. с англ. М.: ИД «Вильямс», 2004. 992 с.

УДК 62-93

Обзор подходов к построению систем аварийного спасения и эвакуации экипажей

Н. В. Андреев

начальник группы, ОАО «Российские космические системы»

e-mail: andreevzv@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены основные существующие и перспективные варианты построения систем аварийного спасения и технологии спасения экипажей пилотируемых космических кораблей.

Ключевые слова: система аварийного спасения, технология спасения экипажа, пилотируемый космический аппарат

Overview of Approaches to the Construction of Emergency Rescue and Crew Evacuation Systems

N. V. Andreev

head of group, Joint Stock Company "Russian Space Systems"

e-mail: andreevzv@gmail.com

Abstract. Describes the main existing and future variants of the emergency rescue system and technology of manned spacecraft.

Key words: emergency rescue system, technology crew rescue, spacecraft

Введение

Одна из важных составляющих существующей и перспективной космической деятельности — осуществление пилотируемых запусков как на околоземные орбиты, так и к объектам Солнечной системы. Данные запуски являются наиболее ответственными, поскольку связаны с рисками гибели экипажа пилотируемых космических кораблей (ПКК).

Основные этапы запуска ПКК — выведение его на орбиту, функционирование на орбите и посадка возвращаемого аппарата (ВА) после выполнения программы полета.

Наиболее актуальны вопросы обеспечения безопасности экипажа на этапах старта РКН и вывода на орбиту, а также возвращения на Землю.

В настоящее время пилотируемые запуски осуществляют только три страны, а именно: Российская Федерация, Соединенные Штаты Америки (завершили программу «Спейс шаттл» после гибели двух орбитальных модулей с экипажами) и Китайская Народная Республика.

Проблема обеспечения безопасности экипажей ПКК решалась космическими державами путем создания систем аварийного спасения (САС), которые обеспечивали эвакуацию экипажа из ПКК на предстартовом этапе, а также увод возвращаемого аппарата с экипажем от аварийной ракеты-носителя на этапе выведения и дальнейшую безопасную посадку ВА. Исключением была САС «Спейс шаттл». Спасение экипажа, при необходимости покидания челнока на этапе выведения, осуществлялось путем десантирования астронавтов по телескопической изогнутой направляющей через боковой люк (см. рис. 1).

Такая схема спасения имеет много недостатков и длительна по времени. Основной ее недостаток — то обстоятельство, что она не «работает» на ряде этапов полета: на старте, непосредственно после старта и на этапе входа челнока в плотные слои атмосферы. Именно на этих участках и произошли катастрофы челнока, что и явилось одной из основных причин закрытия данной программы. Таким образом, обеспечение безопасности экипажа пилотируемых систем — важнейшая ее составляющая, а пренебрежение ею может привести к прекращению программы в целом.

Условно спасение экипажа при аварии можно разделить на экстренный «увод» спускаемого аппарата от ракеты-носителя (зоны аварии), обеспечение посадки ВА и эвакуацию экипажа.

Запуски отечественных ПКК («Союз ТМА») в настоящее время осуществляются с космодрома Байконур. Трасса запуска проходит над территорией Казахстана и континентальной частью России. Таким образом, в случае срабатывания САС посадка ВА будет произведена на суше. При штатном возвращении ВА посадка осуществляется на территории Казахстана либо Оренбургской области.

К 2024 г. Россия планирует осуществить запуск пилотируемого транспортного корабля нового поколения (ПТК НП) со строящегося космодрома «Восточный». Основная особенность данного запуска — тот факт, что этап выведения аппарата происходит над акваторией Охотского моря и Тихого океана, что подразумевает применение поисково-спасательных судов. Посадку ПТК НП планирует осуществлять в южных регионах России.

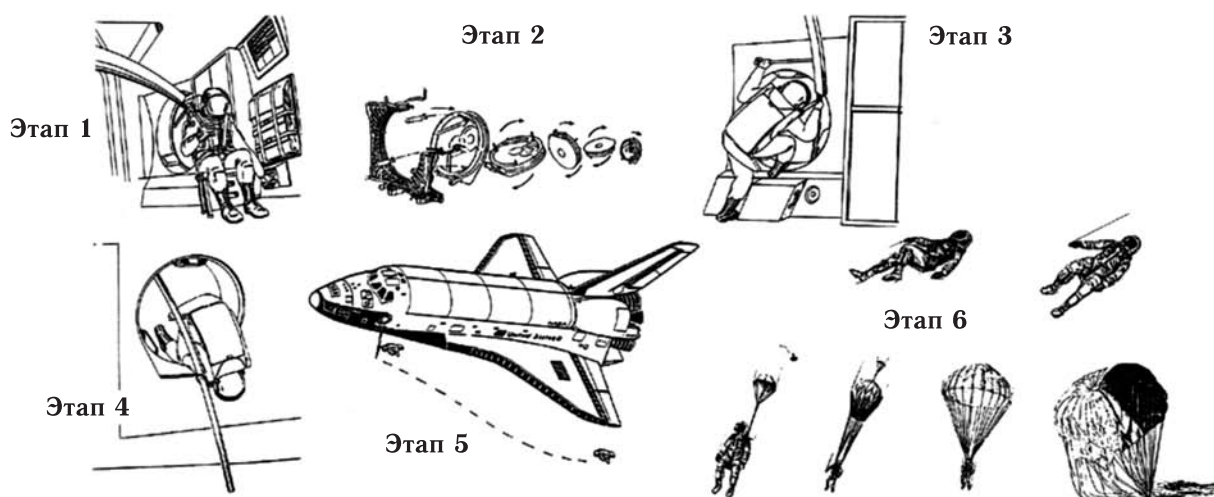
Китай производит запуски ПКК «Шэньчжоу» (конструктивно корабль аналогичен кораблю «Союз ТМА») с космодрома Цзюцюань, трасса полета которого проходит над континентальной частью Китая. Штатная посадка «Шэньчжоу» осуществляется на территории Внутренней Монголии.

США отрабатывает несколько перспективных программ: «Орион» («Orion»), CST-100, «Дракон» («Dragon»). Основная особенность данных проектов, как и в случае с ПТК НП, состоит в том, что выведение этих аппаратов будет проходить также над акваторией мирового океана. Кроме того, возвращение ПКК будет осуществляться в том числе и на море (это снижает объем БА), что подразумевает поиск и спасение кораблей в море с применением морских средств.

Система и технология аварийного спасения КК «Орион»

В настоящее время NASA США финансирует разработку двух космических кораблей (КК):

- КК «Орион» (см. рис. 2), предназначенного для полетов к объектам Солнечной системы [1,2];



- Этап 1. Члены экипажа одевают парашюты и цепляются за направляющий шест.
 Этап 2. Отделение выходного люка с помощью пиротехнических средств.
 Этап 3. Члены экипажа готовятся к покиданию орбитального корабля через проем люка.
 Этап 4. Члены экипажа покидают шаттл в положении «головой вперед».
 Этап 5. Шест направляет астронавта вдоль фюзеляжа ниже лобовой кромки крыла.
 Этап 6. Приземление членов экипажа на индивидуальных парашютах.

Рис. 1. Десантирование экипажа



Рис. 2. КК «Орион»

- КК CST-100 для доставки астронавтов на околоземные орбиты, например, на МКС и частные космические станции.

Разработку КК «Орион» и CST-100 осуществляют компании Lockheed Martin и Boeing соответственно.

Основное внимание NASA уделяет КК «Орион», поскольку считает целесообразным сосредото-

чить свои усилия на освоении дальнего космоса. Полеты на околоземные орбиты планируется передать частным компаниям.

В связи со значительными массогабаритными ограничениями на КК «Орион» в качестве штатной посадки возвращаемого аппарата предусматривается только посадка на воду. Разработкой САС занимается компания Orbital Sciences Corp.,

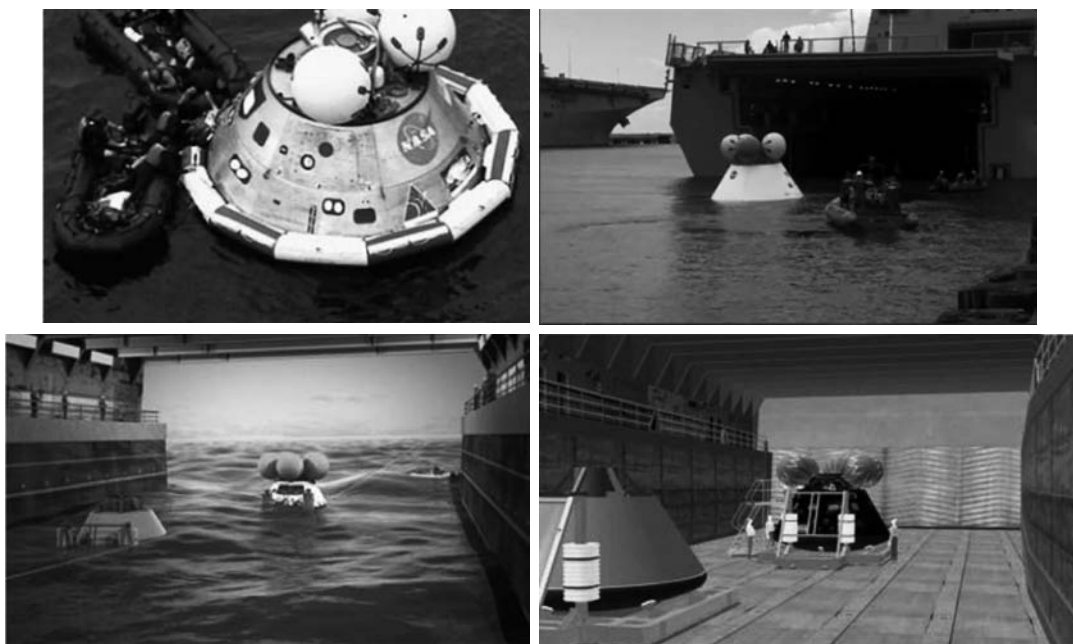


Рис. 3. Проведение спасательной операции по эвакуации экипажа ВА

которая рассматривала различные варианты построения ВА, в т. ч. крылатого. Однако в окончательном варианте реализации ВА было принято решение об использовании парашютной системы для обеспечения посадки ВА. Данное решение основывалось на опыте построения и использования САС американского ПКК «Аполлон» («Джемини» и др. КА США), российского ПКК «Союз ТМА» и китайского «Шэньчжоу».

Рассмотрим вопросы обеспечения безопасности экипажа на примере корабля «Орион».

При возникновении аварийной ситуации на РН необходимо экстренно увести ВА на безопасное расстояние. Построение системы увода ВА от аварийной РН осуществляется так же, как и на ПКК «Союз» и «Шэньчжоу»: над ВА расположен твердотопливный двигатель, который позволяет выполнить быстрый увод ВА от РН. Однако новая САС обладает рядом особенностей.

САС, как и ранее, размещается на мачте, над ВА, однако располагается соплами вверх с развернутыми на 155° четырьмя выпускными каналами, которые и формируют тягу, направленную вниз и в стороны. Эта конструкция позволяет разместить их вдали от ВА и минимизировать тепловое влияние на него. Система спроектирована так,

что увод экипажа может быть осуществлен в любой точке выведения вплоть до высоты ~ 90 км [3].

Второй этап (как в случае аварийной ситуации, так и при штатном спуске ВА) — поиск ВА и эвакуация экипажа также находится под пристальным вниманием.

ВМС США и NASA после почти 40-летнего перерыва возобновили сотрудничество по космическим программам [4]. 15 августа 2013 г. они провели на военно-морской базе в Норфолке (штат Вирджиния) учения, в ходе которых из воды был извлечен прототип ВА КК «Орион».

Однако, если в 1960–1970-е гг. кабину с американскими астронавтами поднимали прямо на борт военного корабля, то теперь ВМС США и NASA решили действовать другим способом (см. рис. 3). К приводнившейся капсуле будут крепить стальные тросы и с помощью моторных катеров буксировать ее в открытый шлюзовой отсек десантного корабля типа «Сан-Антонио» (в составе ВМС США 8 кораблей такого типа). После откачки воды из трюма экипаж откроет люк и сможет выбраться наружу.

Специалисты решили, что такой подход снизит физическую нагрузку на астронавтов, которые будут оставаться внутри кабины в течение всей

операции. Кроме того, пришлось учитывать размер и вес нового космического корабля, который больше и тяжелее своих предшественников.

Для ускорения поиска ВА на нем установлен радиомаяк, который начинает передавать сигнал с координатами ВА через 15 мин после его приводнения [6]. Для взаимодействия во время спасательной операции ЦУП с экипажем предусмотрен спутниковый телефон. Кроме того, для большей заметности ВА оборудован цветными шарами, которые позволяют обнаруживать ВА на значительном удалении от сил спасения.

ВА рассчитан на поддержание систем жизнеобеспечения экипажа и связи в течение 24 ч. Данный показатель ограничивается запасами энергоресурсов ВА. В случае приводнения ВА вдали от предполагаемого места предусмотрено использование легких спасательных катеров, доставляемых авиатранспортом к ВА с необходимым запасом ресурсов для экипажа ВА. В состав этой группы также будут входить и специалисты по ВА, которые смогут оказать необходимую помощь экипажу до прибытия спасательного корабля.

Система и технология аварийного спасения КК «Дракон»

Пилотируемый КК «Дракон» разрабатывает компания SpaceX, которая планирует создавать САС нетрадиционным путем. Вместо использования башни с установленными на ней двигателями САС компания предлагает систему, которая полностью интегрирована с космическим аппаратом и может быть использована не только в случае аварийного прекращения запуска [5].

КК «Дракон» (см. рис. 4) будет оснащен 8 двигателями «SuperDraco», работающими на жидком топливе и встроенными в боковые стены КК. Преимущество использования двигателя «SuperDraco» на жидкостном топливе состоит в том, что он обладает широким диапазоном изменения тяги. Двигатели могут запускаться несколько раз.

Второе преимущество — отсутствие башенной структуры. Интеграция двигателей непосредственно в КК «Дракон» позволит экипажу экстренно эвакуироваться на более поздних этапах выведения.



Рис. 4. Грузовая модификация КК «Дракон»

Кроме того, это позволит повторно использовать КК при отсутствии повреждений в двигателях после его возвращения.

Самое главное преимущество КК «Дракон» заключается в том, что возможно использование двигателей «SuperDraco» во время посадки КК. Однако при создании «Дракона» не отказались и от парашютной системы, которая может спасти экипаж при возникновении неполадок в двигателях, а также необходима для совершения безопасной посадки на воду (см. рис. 5).

Технология дальнейшего спасения КК не отличается от применяемых в настоящее время. После нахождения КК поднимают на борт специализированного судна с использованием бортового подъемного устройства (см. рис. 6).

Система и технология аварийного спасения КК «ПТК НП»

Первый пилотируемый запуск со строящегося космодрома «Восточный» запланирован на 2021 г. РН типа «Ангара» должна будет вывести на орбиту с наклоном $51,6^\circ$ пилотируемый транспортный корабль нового поколения (см. рис. 7) разработки ОАО «РКК «Энергия».

Эскизное проектирование по данному проекту было завершено в июне 2010 г., а в 2011 г.

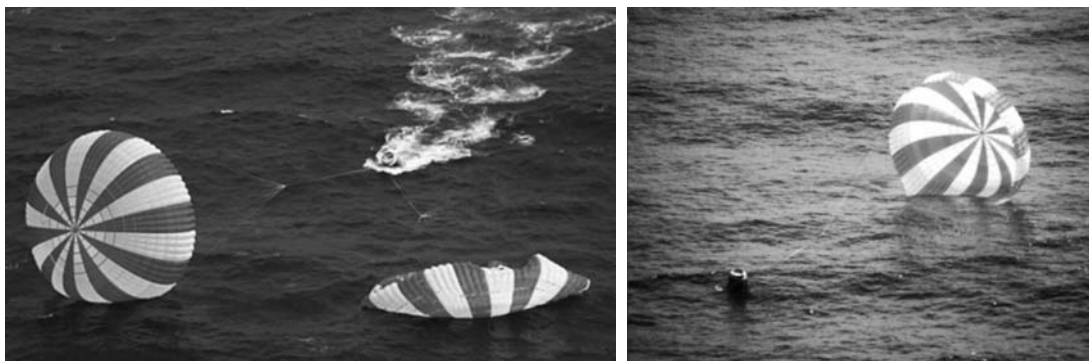


Рис. 5. Приводнение КК «Дракон» с использованием парашютной системы

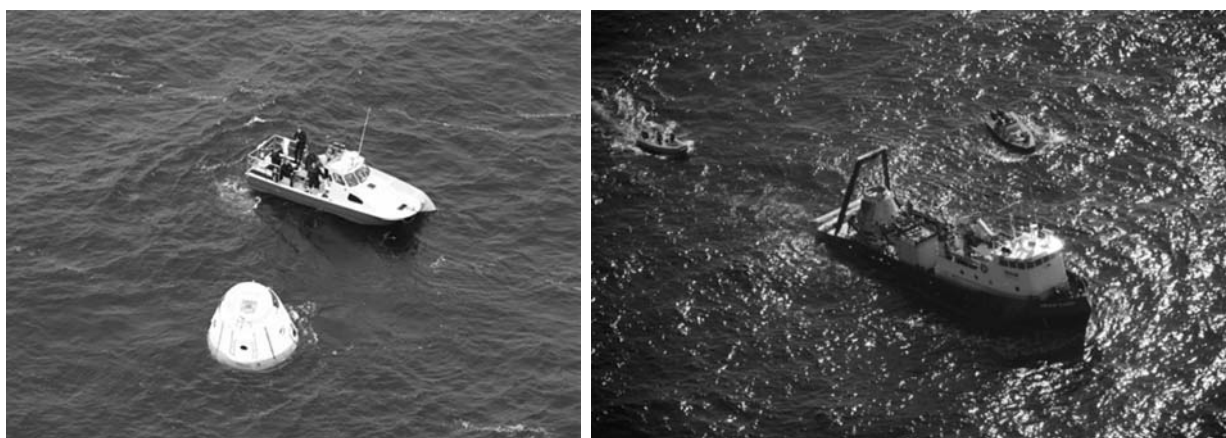


Рис. 6. Спасение КК «Дракон» после его приводнения

полноразмерный макет нового космического корабля смогли увидеть зрители МАКС-2011. В состав перспективной пилотируемой транспортной системы (ППТС) входят пилотируемый космический корабль, а также ряд модификаций, выполненных на его основе. Базовым является вариант «ПТК НП». Его главное предназначение — это обслуживание орбитальных станций: доставка на них груза, экипажей и возврат их на Землю.

Модификации «ПТК НП» смогут решать различные специализированные задачи, среди которых ремонт и обслуживание спутников, расположенных на околоземных орбитах, полеты к Луне, длительные (сроком до 1 мес) автономные полеты с целью проведения разнообразных экспериментов и исследований, а также доставка на орбиту и возвращение на Землю грузов.

Для нового корабля было принято модульное построение в виде 3 основных функционально



Рис. 7. Пилотируемый транспортный корабль нового поколения

законченных элементов: возвращаемого аппарата, двигательного отсека (ДО) и ракетного блока аварийного спасения (РБАС). Форма ВА была выбрана с учетом условий, которые позволяют обеспечить

повышенные аэродинамические качества во время выполнения необходимых маневров. Это очень важно в условиях приземления ВА на российские посадочные полигоны.

Применение российских полигонов для осуществления посадки аппарата требует увеличенной точности приземления, так как на территории России не так много подходящих открытых пространств, расположенных южнее широты 51,6°, которые отвечали бы всем необходимым требованиям (характер грунтов, рельеф, ограничения по силе ветра, отсутствие разного рода сооружений и др.). Именно по этой причине главные отличия «ПТК НП» от эксплуатируемых ПКК «Союз ТМА» заключаются в применяемой системе посадки.

В целях повышения точности посадки аппарата было принято решение об отказе от парашютной системы, которая подвержена влиянию ветрового сноса. Предполагается, что ВА перейдет полностью к реактивной системе. Уменьшать скорость снижения планируется при помощи твердотопливных ракетных двигателей начиная с высоты около 1000 м. Посадка будет выполняться на специальные амортизированные опоры. За счет такого решения исключается типичное для «Союзов» падение ВА на бок после того, как аппарат касается грунтовой площадки. Реализация на практике «мягкой» вертикальной реактивной посадки в запланированном районе местности ограниченных размеров позволит применять ВА не менее 10 раз. Помимо этого, опыт данных посадок может быть использован при создании специализированных лунных и марсианских посадочных модулей.

При возникновении аварийной ситуации во время пуска РКН к работе приступает РБАС, который осуществляет экстренный увод ВА на безопасное расстояние от РН (при возможности осуществляется доведение корабля на одновитковую орбиту).

При отсутствии возможности выхода «ПТК НП» на одновитковую орбиту посадка будет осуществляться в акватории Тихого океана (за исключением начального этапа выведения).

Для обеспечения поиска и спасения экипажа «ПТК НП» в случае аварии РН на активном участке траектории специализированные спаса-

тельные суда должны быть размещены вдоль трассы с учетом следующих факторов:

- время спасения экипажа до 30 ч;
- длина акватории возможного приводнения до 6500 км;
- статистика наиболее вероятных моментов возникновения аварийных ситуаций на активном участке выведения.

По экспертным оценкам для обеспечения гарантированного спасения экипажа «ПТК НП» необходимо до 3 судов, оборудованных специализированными бортовыми подъемными устройствами, позволяющими поднять корабль из воды на палубу. Кроме того, рассматривается вариант буксировки ВА до ближайшего корабля-спасателя.

Заключение

Система аварийного спасения экипажа — важнейшая составляющая при возникновении аварийных ситуаций на этапе выведения ПКК либо при штатной посадке ВА.

Основными вариантами построения САС, с точки зрения размещения двигательной установки, являются:

- использование двигательной установки, размещенной на мачте над ВА;
- использование двигательной установки, встроенной непосредственно в ВА.

Преимущества использования мачтовой схемы построения сводятся к меньшим финансовым затратам при создании САС, большей надежности двигателей (применяются твердотопливные двигатели). Главные достоинства применения схемы с непосредственным размещением двигательной установки в ВА — многообразие данной конструкции (при отсутствии повреждений ДУ во время посадки) и возможность корректировки траектории посадки ВА.

На этапе посадки ВА как при аварийном завершении пуска, так и при штатном спуске с орбиты на первый план выходит сценарий поиска

и спасения экипажа. Основная сложность, в данном случае, — поиск и спасение экипажа на акватории мирового океана. Существующие сценарии: поиск и подъем ВА на палубу спасательного судна при помощи бортового подъемного устройства (БПУ); поиск и буксировка ВА в открытый шлюзовой отсек спасательного судна обеспечивают поиск и спасение экипажа с различными достоинствами и недостатками. Подъем ВА на палубу предпочтителен тем, что на существующих подходящих судах возможно разместить БПУ, в то время как шлюзовой отсек позволяет снизить нагрузку на экипаж, который остается в кабине ВА на протяжении всей спасательной операции, и принимать более тяжелые ВА.

Трасса запуска ПКК с космодрома «Восточный» обуславливает применение морских средств для поиска и спасения экипажа в случае возникновения аварийной ситуации и приводнения ВА на акватории мирового океана. Наиболее предпочтительным сценарием спасения космонавтов, на мой взгляд, является первый вариант по следующим причинам:

- в настоящее время существует несколько проектов судов общего назначения, которые возможно в короткие сроки доработать до обеспечения выполнения задач по поиску и спасению экипажа ВА по первому сценарию;
- разработка судов с открытым шлюзовым отсеком займет продолжительное время, а также

потребуется значительно больших финансовых затрат;

- суда с открытым шлюзовым отсеком будут иметь гораздо большее водоизмещение, что повлечет трудности с поиском портов приписки, а также затратами на эксплуатацию.

Количество судов для обеспечения поиска и спасения экипажа остается неизменным при любом из вариантов спасения ВА.

Список литературы

1. *Афанасьев И.* Да здравствует Orion? // Новости космонавтики, 2011, № 10. С. 14–15.
2. *Землякова Е., Полярный П.* «Орион» бессмертный // Новости космонавтики, 2010, № 9. С. 10–15.
3. *Павельцев П.* Первый летний Orion // Новости космонавтики, 2011, № 11. С. 22–23.
4. *David L.* NASA Test Launches Rocket Escape System for Astronauts [электронный ресурс]. <http://www.space.com/8350-nasa-test-launches-rocket-escape-system-astronauts.html>
5. *Bergin C.* SpaceX Dragon advancing the Launch Abort System to new heights [электронный ресурс]. <http://www.nasaspaceflight.com/2012/02/spacex-dragon-advancing-launch-abort-system-new-heights/>
6. *Bergin C.* NASA evaluate rescue plans for Orion crew after off-nominal landing [электронный ресурс]. <http://www.nasaspaceflight.com/2012/10/nasa-evaluate-rescue-orion-crew-off-nominal-landing/>

УДК 621.314.5

Импульсная модель преобразователя частоты системы электропитания летательного аппарата

С. Г. Огурцова

инженер-исследователь 3 кат., НЦ СЭО ОАО «Российские космические системы»

e-mail: prostina-ncseo@yandex.ru

Аннотация. Создана импульсная модель преобразователя частоты и исследованы процессы, протекающие в нем. Описаны и проанализированы различные режимы работы устройства в составе системы электропитания (СЭС) летательного аппарата (ЛА). Оценены достоинства и недостатки исследования на базе импульсной модели и предложены пути усовершенствования методов исследования работы устройства в составе энергетического комплекса на основе принципа разделения движения и создания усредненной модели.

Ключевые слова: импульсная модель, преобразователь частоты, система электропитания летательных аппаратов, принцип разделения движения

Impulse Model of the Frequency Converter in the Aircraft Power Supply System

S. G. Ogurtsova

¹research engineer (3 cat.), Joint Stock Company “Russian Space Systems”

e-mail: prostina-ncseo@yandex.ru

Abstract. The impulse model of the frequency convertor was developed and processes that take place in the inverter were researched. Various operation modes of device in the power system of the aircraft were described and analyzed. Advantages and disadvantages of research based on impulse model were evaluated and it was suggested ways to improve the methods to research work of the device in the energy sector based on the principle of the separation movement and creation averaged model.

Key words: impulse model, frequency convertor, aircraft power supply systems, principle of distribution movements

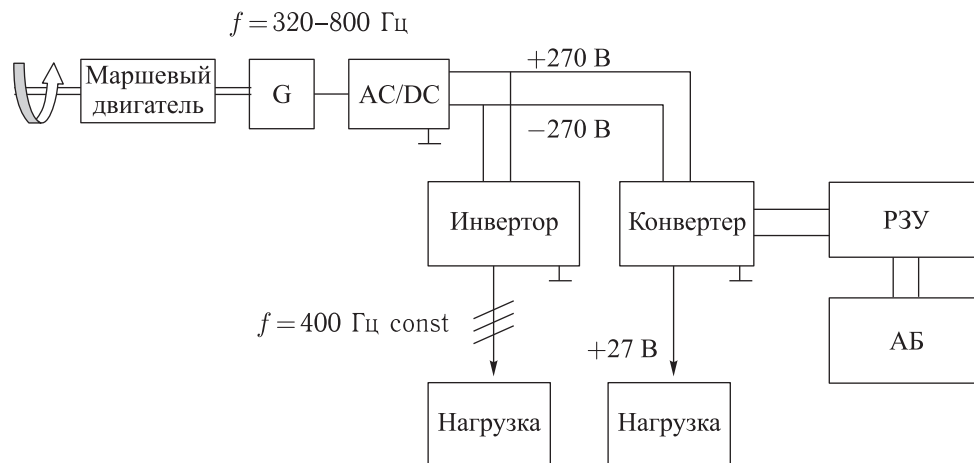


Рис. 1. Канал СЭС беспилотного ЛА: G — генератор; AC/DC — выпрямитель; РЗУ — разрядно-зарядное устройство; АБ — аккумуляторная батарея

Введение

Современная концепция самолета с повышенным уровнем электрификации использует в СЭС первичный генератор с плавающей частотой, которая может изменяться от 320 до 800 Гц. Возникает необходимость в устройствах, которые могут преобразовать напряжение первичного источника питания в сетевое напряжение с качеством, требуемым [1]. Основная масса выпускаемой в настоящее время бортовой радиоэлектронной аппаратуры рассчитана на питание от сети переменного тока с фиксированной частотой.

Цель данной работы — исследование процессов в СЭС ЛА, анализ влияния работы преобразователя частоты на систему и изучение взаимодействий между отдельными подсистемами. Трехфазный преобразователь частоты имеет определяющее влияние на эти процессы, поэтому при проектировании СЭС ЛА разработка моделей преобразователей является важной задачей. На рис. 1 представлена структура канала СЭС беспилотного ЛА.

Описание проблемы

Классическая процедура математического моделирования состоит из нескольких этапов и имеет ряд недостатков. На первом этапе оговаривается набор допущений, формирующих модель

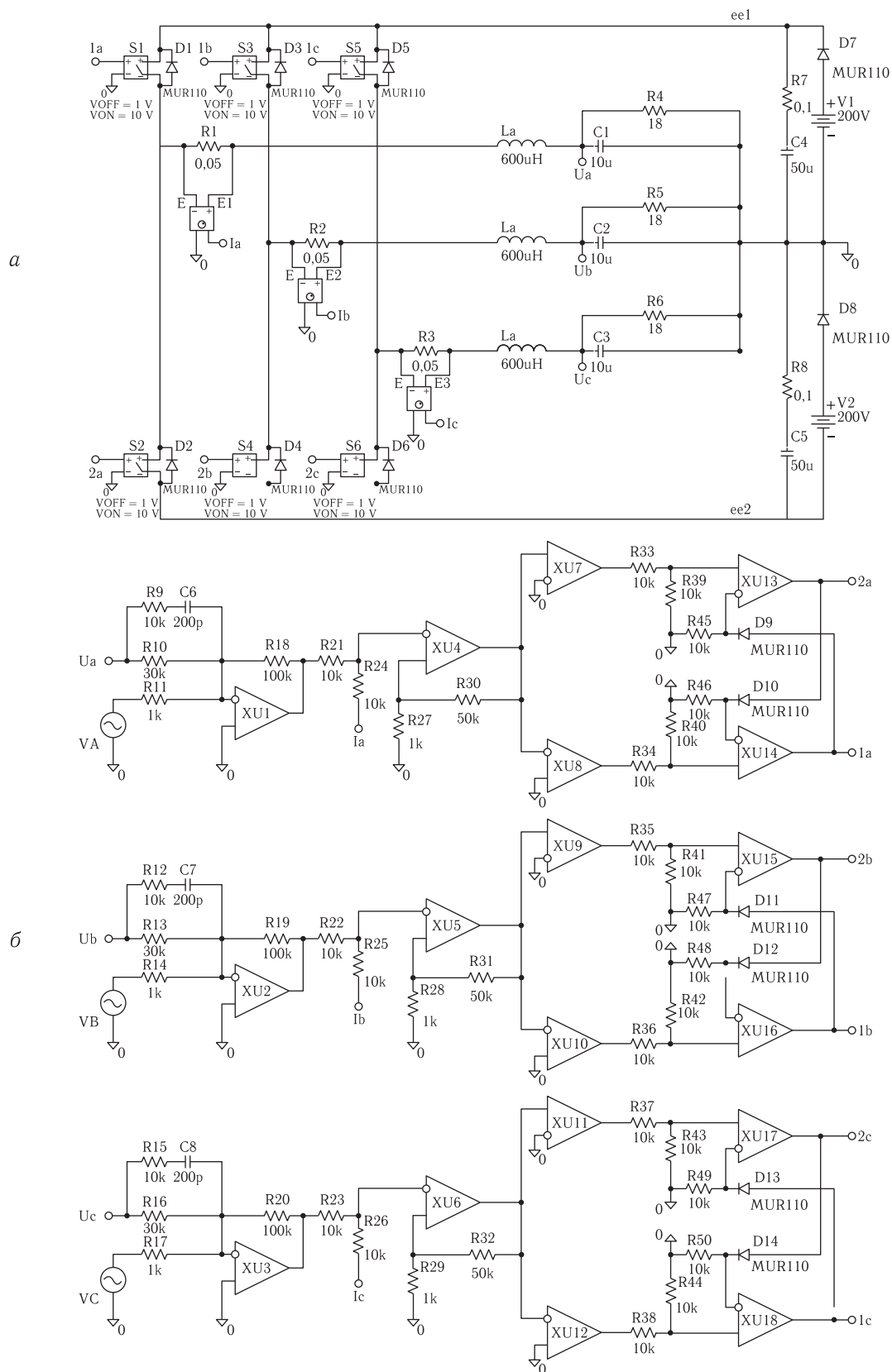
объекта. На втором составляется математическо-аналитическая модель, адекватная своему аналогу. На третьем проводится математическое исследование. Такая процедура моделирования сложна и занимает много времени и ресурсов.

Импульсная модель преобразователя частоты

В работе рассматривается импульсная модель, которая имитирует функционирование устройства на основе полупроводниковых приборов, а также различные режимы работы этой модели. Результаты компьютерного моделирования используются для анализа работы преобразователя при псевдоустановившихся и переходных процессах, протекающих в нем [2]. На рис. 2 представлена схема модели, разработанная в программе OrCAD.

Модель преобразователя частоты состоит из:

- трех стоек моста, каждая из которых включает два ключа, имитирующих работу полупроводниковых приборов, и два защитных диода (рис. 2, а);
- двух источников питания, моделирующих входной AC/DC-преобразователь [3], с последовательным диодом, параллельным конденсатором и его последовательным сопротивлением (рис. 2, а);
- нагрузку (рис. 2, а);

Рис. 2. Схема модели преобразователя частоты: *a* — силовая часть; *б* — цепи управления ключами

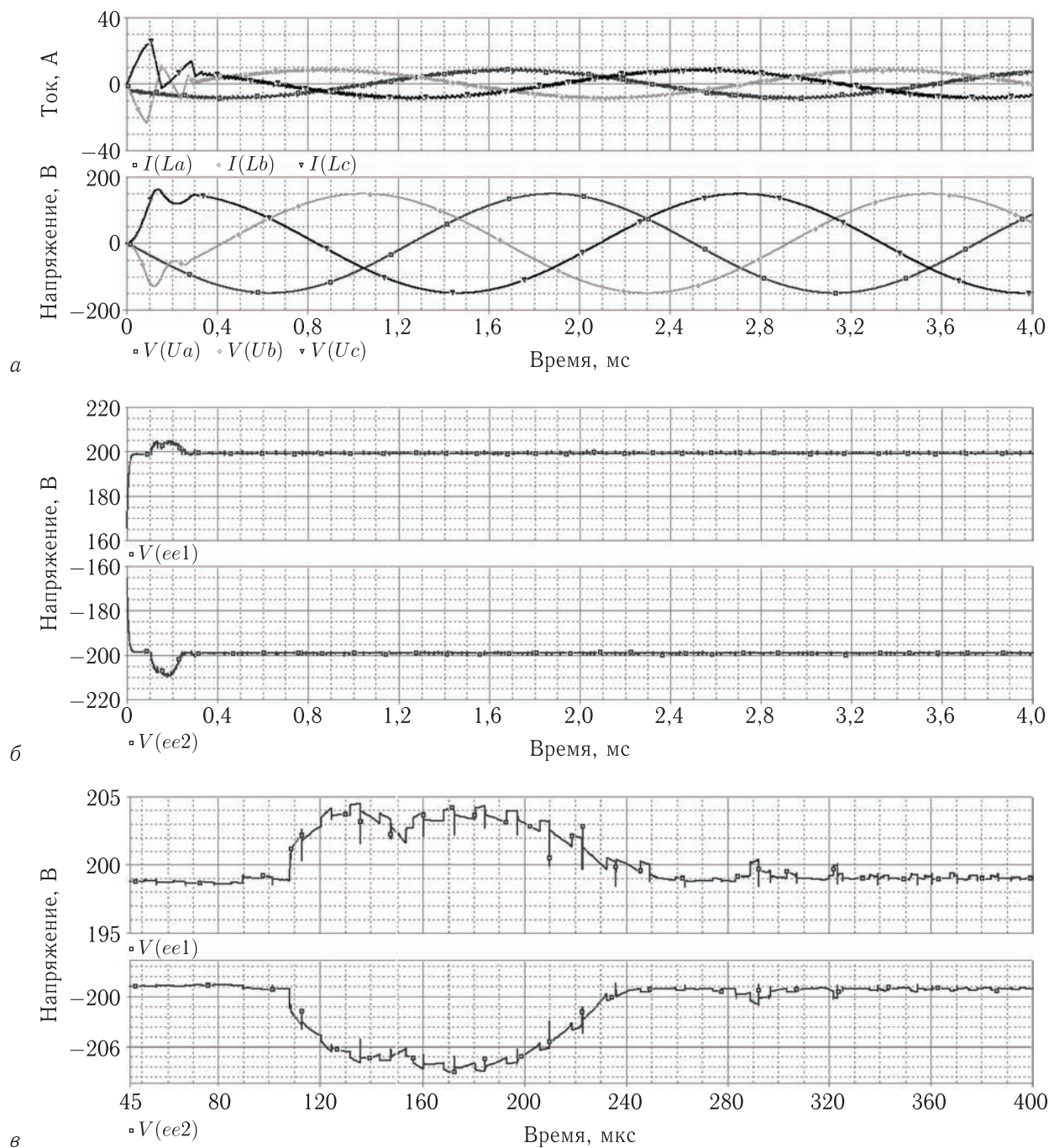


Рис. 3. Результаты работы преобразователя частоты при токах нагрузки $I = 10$ А: а — диаграммы токов нагрузки $I(La)$, $I(Lb)$, $I(Lc)$ и напряжений $V(Ua)$, $V(Ub)$, $V(Uc)$; б — диаграммы напряжений источников питания $V(ee1)$, $V(ee2)$; в — диаграммы напряжений источников питания $V(ee1)$, $V(ee2)$ в момент включения

– цепей управления ключами, формирующих импульсы управления и задержки на их включение (рис. 2, б);

– трех датчиков тока (рис. 2, б).

Анализ идет в режиме, позволяющем проводить исследования во временной области и строить зависимости изменения электрических параметров во времени.

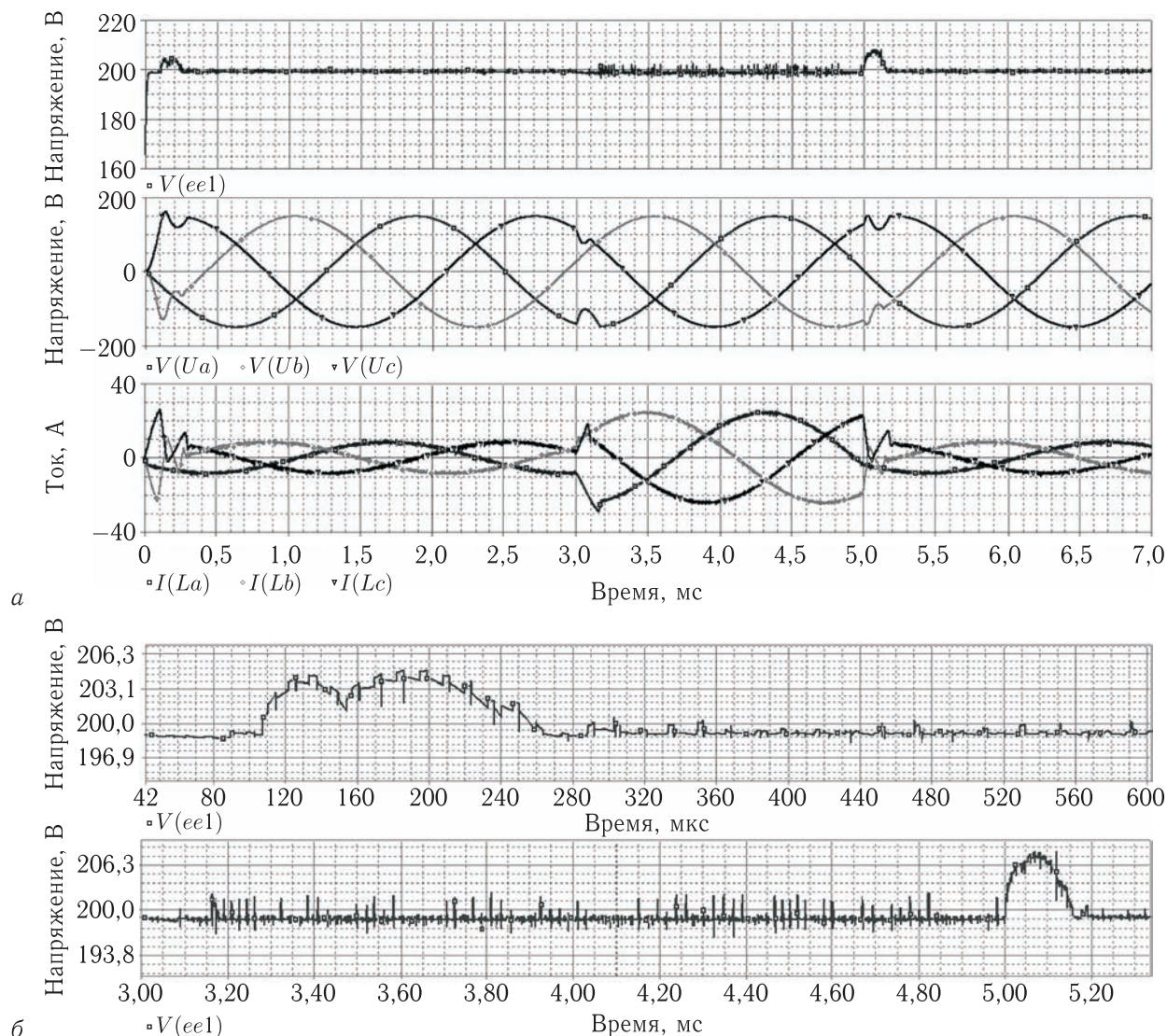


Рис. 4. Результаты работы трехфазного инвертора в режиме «сброса-наброса» нагрузки: *а* — работа в режиме «сброса-наброса» нагрузки; *б* — напряжение питания на источнике $V1$ при «сбросе-набросе» нагрузки

При моделировании преобразователей на основе импульсных моделей учитываются гармоники высокого порядка, а также средние и среднеквадратичные значения первой гармоники, представляющие основной интерес при моделировании.

Были исследованы следующие режимы работы устройства:

1. Работа при малом токе.
2. Работа в режиме «сброса-наброса» нагрузки.
3. Работа при различных значениях $\cos \varphi$.

Результаты моделирования представлены на рис. 3–5.

Диаграммы напряжений и токов, полученные по результатам работы модели преобразователя частоты при токах нагрузки $I = 10$ А, показаны на рис. 3. Выведены токи на индуктивной нагрузке: $I(La)$, $I(Lb)$, $I(Lc)$ и выходные фазные напряжения: $V(Ua)$, $V(Ub)$, $V(Uc)$ (рис. 3, *а*); напряжения на источниках питания: $V(ee1)$, $V(ee2)$ (рис. 3, *б*). На рис. 3, *а, б* показана вся исследуемая временная область, а на рис. 3, *в* более детально рассмотрены броски напряжения на источниках питания в момент включения схемы. Выявлено, что в момент включения происходят броски в цепях

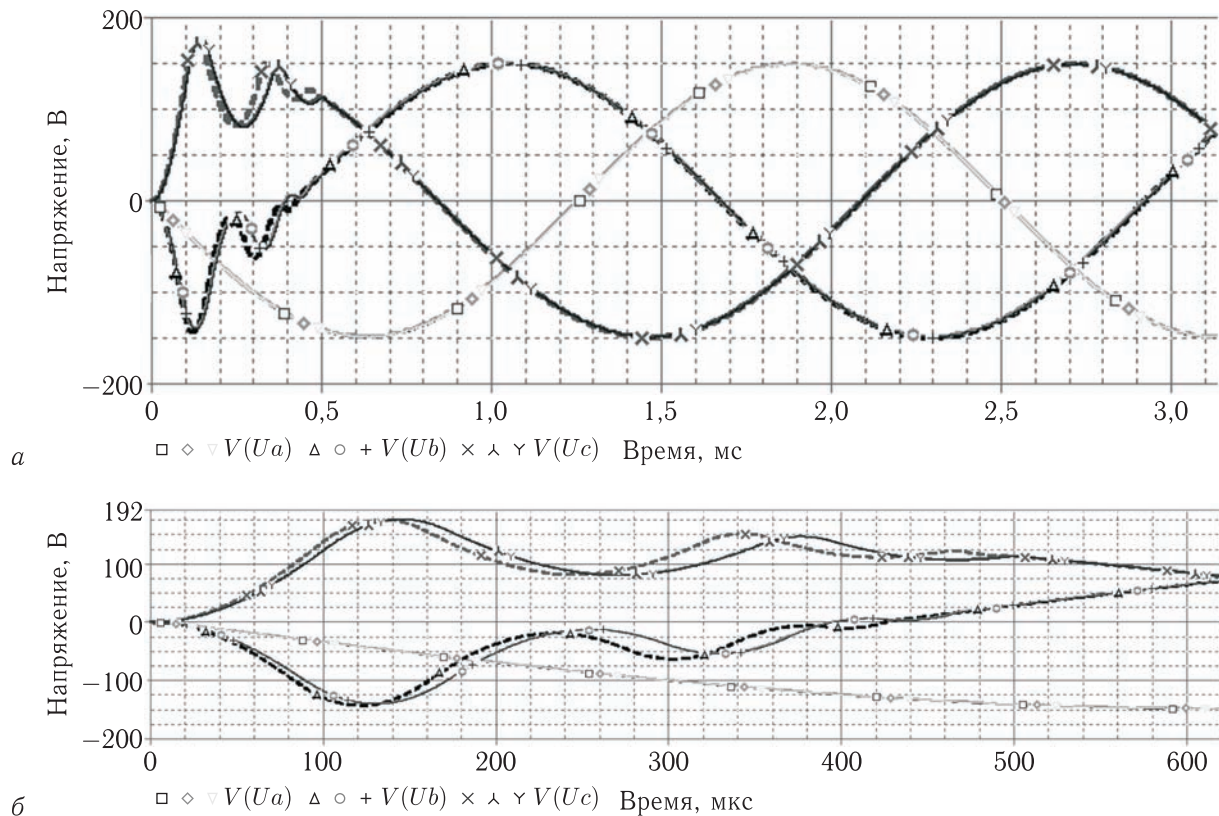


Рис. 5. Работа схемы с различным значением $\cos \varphi$: а — фазные напряжения во всей временной области; б — фазные напряжения в переходном режиме

питания, которые составляют 102,35% и 104,73% от номинальных значений для источников $V1$ и $V2$ соответственно.

Результаты исследования режима «сброса – наброса» нагрузки показаны на рис. 4. Проведено моделирование схемы в режиме «переброса» тока, значения при этом равны: $I1 = 10$ А, $I2 = 25$ А, $I3 = 10$ А (рис. 4, а). «Наброс» нагрузки производится в момент времени $T_{\text{наброса}} = 3$ мс, длится в течение 2 мс, далее осуществляется «сброс» в момент времени $T_{\text{сброса}} = 5$ мс. Также приведены графики фазного напряжения и напряжения питания.

Выявлено, что в момент включения происходят броски в цепях питания, которые составляют 102,35% и 104,86% от номинальных значений источников $V1$ и $V2$; при «набросе» нагрузки наблюдается небольшая просадка напряжения питания; а при «сбросе» нагрузка оказывает значительное влияние на источники и составляет 103,5% и 103,7% от номинального значения источников

(на рис. 4, б представлено напряжение одного из источников).

Были исследованы процессы при различных значениях коэффициента мощности — $\cos \varphi$. Моделирование проведено при следующих значениях: $\cos \varphi = 0,8$, $\cos \varphi = 0,9$, $\cos \varphi = 1$, характер изменения переходных процессов дан на рис. 5. Выявленная зависимость показывает, что при увеличении значения $\cos \varphi$ переходные процессы протекают быстрее. На графике пунктирными линиями обозначены значения напряжения при $\cos \varphi = 1$.

Заключение

В ходе моделирования преобразователя частоты выявлено влияние скачков в нагрузке на сеть. Показан характер изменения переходных процессов при изменении $\cos \varphi$. Результаты показали, что моделирование процессов на основе импульсной модели наглядно описывает поведение самого

преобразователя, но для оценки влияния его на сеть требуется много времени.

Исследование системы с использованием импульсных элементов позволяет изучить преобразователь частоты детально. Это помогает в целом оценить работу преобразователя и исследовать процессы, протекающие в нем, оценить влияние нагрузки на сеть. Но при этом затрачивается много времени и ресурсов, что не дает возможности сконцентрировать внимание на исследовании взаимодействия подсистем и системы в целом.

В связи с вышесказанным предлагается создать усредненную модель преобразователя, а также перейти на принцип разделения движений на базе теоремы Тихонова и принципов Филиппова [4], т. е. раздельно изучать различные составляющие движения (процессов), что позволило бы существенно сократить время моделирования. Предполагается по отдельности исследовать быстрые и медленные процессы, протекающие в преобразователе. Этот подход позволил бы значительно уменьшить трудоемкость моделирования для задачи любой сложности. Полученные при этом результаты необходимы для сравнительного анализа с работой усредненной модели устройства [5].

Опыт построения импульсной модели становится важнейшим инструментом для последующего

моделирования и проверки адекватности усредненной модели. Главное преимущество приведенного подхода — детальное представление о процессах при моделировании и возможность оценки устойчивости системы.

Список литературы

1. ГОСТ-54073-2010—Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества электроэнергии.
2. Гранков И. Е., Крючков В. В., Малышков Г. М., Соловьев И. Н. Моделирование электромагнитных процессов в инверторах для агрегатов бесперебойного питания. В кн.: «Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации». Труды VIII Международного научно-технического семинара. Алушта, 1999. М.: Изд-во МАИ, 1999.
3. Добрусин Л. А. Моделирование влияния преобразователей на сеть в среде системы Designe – Pspice. СПб.: Силовая электроника, 2005.
4. Новожилов И. В. Приближенные методы исследования динамических систем: Конспект лекций. М.: МЭИ, 1980.
5. Boroyevich D., Chair, Lai J., Baumann W. Modeling of multi-pulse transformer rectifier units in power distribution systems, 2003.

УДК 621.317.7

Использование антенных полей в перебазировемых измерительных комплексах

А. В. Костюков¹, С. И. Ватулин², А. П. Маслов³

¹инженер-исследователь 2 кат., ОАО «Российские космические системы»

²начальник сектора, ОАО «Российские космические системы»

³начальник отдела, ОАО «Российские космические системы»

e-mail: kostyukov@russia.ru

Аннотация. Описываются возможности улучшения характеристик антенных систем перебазировемых измерительных комплексов путем применения антенного поля. Рассмотрены недостатки имеющихся решений и пути их устранения с использованием технологии, основанной на построении антенной решетки. Представлены данные расчетов энергетического запаса, а также данные по стоимости антенн различных диаметров. Приведено обоснование рациональности замены одиночных антенн решеткой из нескольких антенн меньшего диаметра.

Ключевые слова: антенная система, антенная решетка, перебазировемый измерительный пункт

Application of Antenna Fields in Mobile Measurement Systems

A. V. Kostyukov¹, S. I. Vatutin², A. P. Maslov³

¹research engineer (2 cat.), Joint Stock Company "Russian Space Systems"

²head of sector, Joint Stock Company "Russian Space Systems"

³head of department, Joint Stock Company "Russian Space Systems"

e-mail: kostyukov@russia.ru

Abstract. This document describes the possibility of improving the performance of antenna systems of moved measurement complexes by applied antenna field. Disadvantages of the available solutions and ways to correct them using technology based on the construction of the antenna array are considered. The calculations of the energy reserve and cost data for different antenna diameters are presented. Justification rationality replace single antenna array of multiple antennas smaller diameter is given in this article.

Key words: antenna system, antenna array, moved measurement complex

Активное освоение космоса в настоящее время — высокоприоритетное направление во многих странах. Навигационные и телекоммуникационные технологии доступны практически в любой точке мира. Огромный шаг вперед был сделан в области картографии, метеорологии, изучения Земли и околоземного пространства. Службы спасения получили возможность отслеживать природные катаклизмы и принимать необходимые меры заранее. Оперативность спецслужб возросла на порядок. Данные со спутников дистанционного зондирования Земли представляют собой бесценную информацию. Достичь этого позволили уникальные решения в ракетостроительной области и применение сложнейших методов проектирования космических аппаратов. Естественно, все это было бы невозможно без развития наземной инфраструктуры.

Расположенные в разных уголках планеты комплексы непрерывно фиксируют огромные потоки данных, представляющих особую важность в случае нештатной ситуации. Отслеживаются малейшие отклонения от заданной траектории, изменения в работе узлов, температура, давление и прочие параметры, совокупность которых влияет на успех в достижении поставленной задачи.

Для полноценного функционирования спутников и вывода их на орбиту необходим стабильный информационный обмен с пунктами измерения и управления. Имеющихся стационарных измерительных пунктов для реализации этого требования на данный момент недостаточно. Как следствие, на некоторых участках траектории объекты наблюдения могут «исчезать», что чрезвычайно критично при пусковых работах. В идеале наземные средства должны получать данные от ракеты и/или космического аппарата постоянно, а значит, принципиальную важность имеет «прямая видимость» во время прохождения критических участков траектории.

Для минимизации количества «слепых зон» используются перебазируемые измерительные комплексы. Изделия подобного типа позволяют получать телеметрические данные там, где по каким-либо причинам строительство невозможно, экономически невыгодно или попросту нерационально.

При всех достоинствах данного решения существуют факторы, ограничивающие потенциал изде-

лий подобного типа. Одна из наиболее сложных задач при проектировании перебазируемых комплексов связана с выбором антенной системы. Как правило, в перебазируемых измерительных пунктах используются параболические антенны диаметром до нескольких метров. Связано это в первую очередь с высокими требованиями компактности, обусловленными необходимостью транспортировки комплекса до рабочей позиции различными способами, в том числе авиационным и железнодорожным транспортом.

Для соблюдения требований к массогабаритным характеристикам выбор антенн ограничивается диаметром до 5 м. Энергетические характеристики подобных антенных систем недостаточно велики для обеспечения возможности проведения сеансов связи с космическими аппаратами, находящимися на высоких орбитах. Снижается максимальная наклонная дальность. Уменьшение размеров антенны негативно сказывается и на скорости передачи данных. Как следствие, становится невозможным прием данных от высокоинформативных бортовых комплексов.

В качестве альтернативы имеющимся на данный момент решениям с единичной антенной предлагается рассмотреть антенное поле. Сегодня наиболее актуальное направление в этой области — класс цифровых антенных решеток (ЦАР). Цифровая антенная решетка — это разновидность активной фазированной антенной решетки (АФАР). Принципиальное отличие данного типа антенн заключается в том, что для фазирования вместо фазовращателей и линий задержки используется цифровая обработка.

В основе конструкции АФАР лежит приемопередающий модуль (ППМ), включающий в себя два канала: приемный и передающий. Схема приемопередающего модуля ЦАР представлена на рис. 1. В каждом канале установлен нелинейный элемент — усилитель, а также по два устройства управления амплитудно-фазовым распределением: фазовращатель и аттенуатор.

Основа приемного канала — аналого-цифровой преобразователь, который заменяет в аналоговом варианте реализации активного модуля два устройства: фазовращатель и аттенуатор. Аналого-цифровой преобразователь позволяет перейти

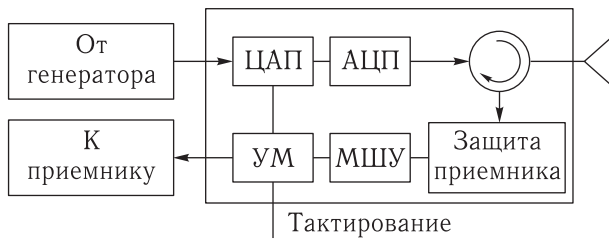


Рис. 1. Приемопередающий модуль ЦАР

от аналогового к цифровому представлению сигнала для дальнейшего его анализа в схеме цифровой обработки сигнала.

Для синтеза цифрового канала используется цифро-аналоговый преобразователь. В передающем канале его используют как фазовращатель и аттенюатор, а также часть генератора — устройство синтеза сигнала, модулятор и синтезатор частоты (гетеродин). За цифро-аналоговым преобразователем в канале сигнал проходит усилитель мощности и излучается антенной.

Схема цифровой антенной решетки приведена на рис. 2, где АЦП — это цифро-аналоговый преобразователь, ЦАП — цифро-аналоговый преобразователь, а ЦФЛ — цифровое фазирование лучей.

Так как оба канала работают на один излучатель, для предотвращения конфликтов применяют развязку каналов, чтобы сигнал передающего канала не мешал приемному. В качестве разделителя используют циркулятор с развязкой порядка 30 дБ.

При работе в диапазонах ДІ, ДІІ и ДІV ценным свойством цифровых антенных решеток является широкодиапазонность. Достигается она благодаря тому, что фазирование сигналов разных антенн происходит в многоканальном приемнике после оцифровки сигналов приемных антенн решетки на промежуточной частоте.

С применением данной технологии в перебазируемых измерительных пунктах появляется возможность значительно расширить их функционал и адаптивные свойства. При этом основные принципы, заложенные при проектировании, останутся неизменными, то есть модификация затронет только некоторую часть используемого оборудования и программного обеспечения. А с учетом того, что на отечественном рынке уже имеется необходимая аппаратура от ведущих предприятий

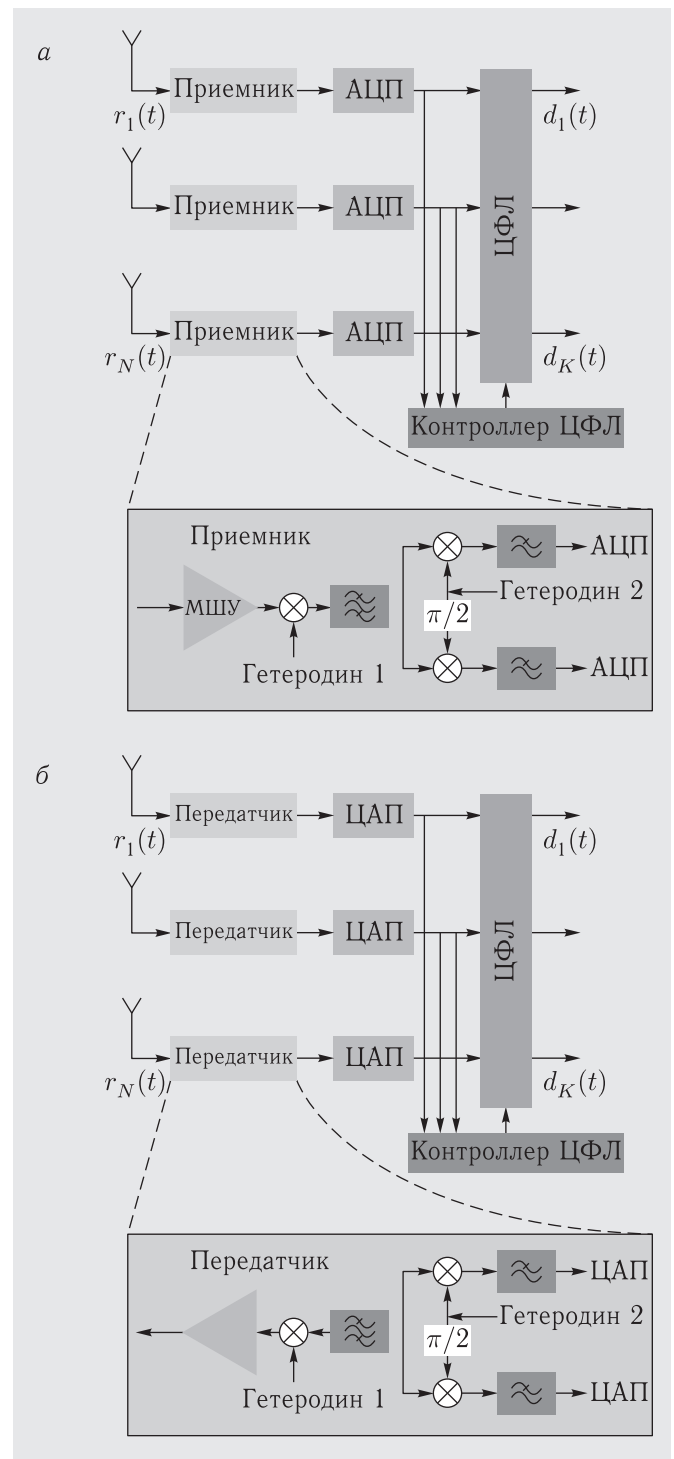


Рис. 2. Приемный (а) и передающий (б) сегменты цифровой антенной решетки

ракетно-космической отрасли, позволяющая реализовать данную технологию, отпадает необходимость разрабатывать ее с нуля.

Использование антенного поля позволит менять диаграмму направленности в зависимости от поставленной задачи и предъявляемых требований по ее реализации путем различного размещения антенн. Допускается размещение элементов решетки вдоль прямой, по дуге или поверхности произвольной формы либо в заданном объеме. Помимо этого, решетки подразделяются на эквидистантные и неэквидистантные, то есть состоящие из элементов, располагающихся на определенном расстоянии друг от друга или на дистанции, меняющейся в соответствии с определенным законом, а иногда и случайным образом. Экспериментируя с расположением, можно добиться хороших результатов в достижении высоких показателей коэффициента направленного действия, сведя к минимуму влияние паразитных лучей.

Так как с увеличением площади отражателя стоимость антенны возрастает квадратично, то с использованием антенного поля решается вопрос высоких денежных затрат на производство антенной системы. Замена одной антенны диаметром около 10 м несколькими антеннами диаметром 3–4 м снижает стоимость системы на десятки миллионов рублей.

Как видно из графика (рис. 3), если диаметр рефлектора антенны превышает 4 м, использование антенной решетки представляется достаточно рациональным решением. Чем большая эффективная площадь требуется, тем более выгодной становится подобная замена.

Особенности ландшафта могут доставлять много неудобств при размещении перебазируемых

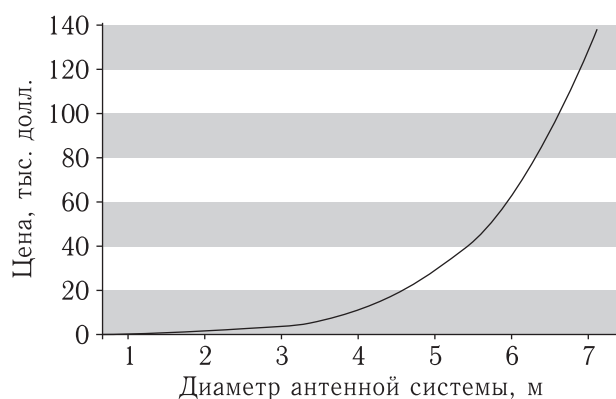


Рис. 3. Стоимость антенных систем в зависимости от диаметра антенны

комплексов на заданной позиции. Для установки антенной системы в требуемое положение зачастую возникает необходимость оборудовать специальную площадку или искать уже имеющуюся. Иначе естественные неровности земной поверхности, особенности грунта и погодных условий способны помешать проведению сеанса связи, так как не позволят расположить антенну в устойчивом положении под требуемыми углами. При замене стандартных систем антенными решетками снижаются требования к жесткости почвы в связи с уменьшением массы отдельных частей системы.

Еще одна проблема, актуальная для перебазируемых комплексов, — это ветровые нагрузки. С применением цифровых антенных решеток значимость этого негативного фактора сводится к минимуму. Рефлекторы антенн, входящих в состав поля, будут иметь малую площадь, что существенно снизит воздействие воздушных потоков на каждую из антенн.

Рассмотрим такое конструкторское решение, как размещение антенной системы с опорно-поворотным механизмом в кузове-контейнере. Если в состав изделия подобного рода включить еще один или несколько контейнеров с антенной, то полученная антенная решетка позволит перебазируемому комплексу работать с эффективностью, сопоставимой со стационарными пунктами. Следовательно, становится возможной работа по более высоким орбитам и значительным наклонным дальностям.

Для наглядности приведем сводную таблицу результатов расчета энергетического запаса радиолиний для антенн диаметром от 1,5 до 5 м. В ходе расчетов наклонная дальность изменялась, начиная с 1500 км, в сторону уменьшения. Значение 1500 км соответствует предельному значению наклонной дальности, которое чаще всего реализуется при слежении за ракетой на активном участке траектории.

Вычисления проводились по формуле:

$$P_{\text{вх}} = (P_{\text{пер}} \cdot K_{\text{у}} \cdot K_{\text{пот}} \cdot S_{\text{эф}}) / (4 \cdot \pi \cdot r^2),$$

где

- $P_{\text{вх}}$ — мощность на входе приемника;
- $P_{\text{пер}}$ — мощность бортового передатчика;
- $S_{\text{эф}}$ — эффективная площадь антенны;
- r — наклонная дальность.

Таблица. Энергетический запас радиолиний для различных значений наклонной дальности, дБ

$P_{\text{пер.}}, \text{ Вт}$	Диаметр антенны, м							
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	3,8	4,6	5,0
	Наклонная дальность 1500 км							
5,0	–14,08	–11,58	–9,65	–8,06	–6,72	–6,01	–4,35	–3,62
15,0	–9,31	–6,81	–4,87	–3,29	–1,95	–1,24	0,42	1,15
30,0	–6,30	–3,80	–1,86	–0,28	1,06	1,77	3,43	4,16
	Наклонная дальность 1200 км							
5,0	–12,14	–9,65	–7,71	–6,12	–4,78	–4,07	–2,41	–1,69
15,0	–7,37	–4,87	–2,94	–1,35	–0,01	0,70	2,36	3,08
30,0	–4,36	–1,86	0,07	1,66	3,00	3,71	5,37	6,09
	Наклонная дальность 1000 км							
5,0	–10,56	–8,06	–6,12	–4,54	–3,20	–2,49	–0,83	–0,10
15,0	–5,79	–3,29	–1,35	0,23	1,57	2,28	3,94	4,67
30,0	–2,78	–0,28	1,66	3,24	4,58	5,29	6,95	7,68
	Наклонная дальность 800 км							
5,0	–8,62	–6,12	–4,19	–2,60	–1,26	–0,55	1,11	1,84
15,0	–3,85	–1,35	0,59	2,17	3,51	4,22	5,88	6,61
30,0	–0,84	1,66	3,60	5,18	6,52	7,23	8,89	9,62
	Наклонная дальность 600 км							
5,0	–6,12	–3,62	–1,69	–0,10	1,24	1,95	3,61	4,33
15,0	–1,35	1,15	3,08	4,67	6,01	6,72	8,38	9,11
30,0	1,66	4,16	6,09	7,68	9,02	9,73	11,39	12,12
	Наклонная дальность 400 км							
5,0	–2,60	–0,10	1,84	3,42	4,76	5,47	7,13	7,86
15,0	2,17	4,67	6,61	8,19	9,53	10,24	11,90	12,63
30,0	5,18	7,68	9,62	11,20	12,54	13,25	14,91	15,64

Расчет проводился для следующих значений:

– пороговая чувствительность приемного устройства $P_{\text{пор}} = 1,2 \cdot 10^{-13}$ Вт (маломощные усилители отсутствуют);

– коэффициент усиления бортовой антенны $K_y = 0,05$;

– коэффициент суммарных потерь в радиолинии $K_{\text{пот}} = 0,5$;

– коэффициент эффективного использования площади антенны $K_{\text{исп}} = 0,6$.

Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что на дальность уверенного приема сигнала влияет не только мощность бортового передатчика, но и эффективная площадь антенны. С уве-

личением диаметра антенны растут энергетические характеристики приемного тракта.

Замена антенны диаметром 5 м четырьмя антеннами диаметром 2,5 м даст равноценный энергетический запас, но при этом существенно снизит общую стоимость антенной системы.

Заключение

Для обеспечения надежного сеанса связи необходимо иметь антенну большого диаметра. Практика показывает, что для перебазируемых комплексов максимальный диаметр антенны составляет 5 м, так как с увеличением ее размеров

значительно возрастают весовые характеристики антенной системы в целом, что накладывает ограничения на мобильность измерительного пункта. Помимо этого, при большом диаметре дополнительные сложности создают ветровые нагрузки.

Применение антенных полей способно существенно расширить возможности перебазируемых комплексов измерения, улучшить их характеристики, снизить затраты на их производство и устранить ограничивающие факторы крупных антенных систем.

Существует несколько подходов к использованию данной технологии, каждый из которых имеет ряд особенностей, достоинств и недостатков. Разные типы антенных решеток также будут сильно различаться по характеристикам и стоимости. Все это необходимо учитывать при проектировании.

В зависимости от поставленной задачи важно расставить приоритеты. Требуется ли максимальная скорость передачи данных, будет ли комплекс работать по высоким орбитам, критично ли время развертывания комплекса в полевых условиях,

в каком диапазоне будут меняться климатические условия? И это далеко не все вопросы, ответы на которые непосредственно скажутся на выборе типа антенной решетки и методе ее использования в изделии.

Таким образом, реализация антенных полей представляется в перспективе экономически выгодным решением.

Список литературы

1. *Слюсар В. И.* Цифровые антенные решетки в мобильной спутниковой связи // Первая миля, 2008, № 4, с. 10–15.
2. *Гришмановский В. А., Степанов В. С.* Расчет дальности, времени видимости КА и энергетических характеристик радиолиний для передачи телеметрической информации. Учебно-методическое пособие к практическим занятиям по курсу «Командно-измерительный комплекс управления». ВИКИ им. А. Ф. Можайского. 1985.
3. *Лайонс Р.* Цифровая обработка сигналов: 2-е изд.: Пер. с англ. М.: Бином-Пресс, 2006. 656 с.

УДК 004.052.32

Контроль задержек распространения сигналов в программируемых логических интегральных схемах

А. Я. Кулибаба¹, А. А. Огурцов²

¹и. о. начальника сектора, НЦ СЭО ОАО «Российские космические системы»

²инженер-исследователь 2 кат., НЦ СЭО ОАО «Российские космические системы»

e-mail: ¹jarsunny@rambler.ru, ²sanoyashi@yandex.ru

Аннотация. Рассматриваются существующие методы контроля задержек распространения сигналов в ПЛИС, реализуемые средствами самой ПЛИС. Подробно разбирается метод измерения задержек, основанный на схеме кольцевого генератора.

Ключевые слова: функциональный контроль, параметрический контроль, программируемая логическая интегральная схема, ПЛИС, задержка распространения сигнала, кольцевой генератор

Signal Propagation Delay Control in Programmable Logic Devices

A. Ya. Koulibaba¹, A. A. Ogurtsov²

¹acting head of sector, Joint Stock Company "Russian Space Systems"

²research engineer (2 cat.), Joint Stock Company "Russian Space Systems"

e-mail: ¹jarsunny@rambler.ru, ²sanoyashi@yandex.ru

Abstract. This report is devoted to the existing methods for testing programmable logic integrated circuits (FPGA, CPLD) signal propagation delays. In particular, the method based on the ring oscillator circuit is reviewed.

Key words: functional testing, parametric testing, programmable logic, FPGA, CPLD, signal propagation delay, ring oscillator

Введение

В настоящее время в ракетно-космической технике для уменьшения массогабаритных показателей, а также для увеличения быстродействия разрабатываемой аппаратуры широко используются программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). Современные ПЛИС — это высокотехнологичные устройства, содержащие в себе множество функционально сложных модулей. Большая логическая емкость ПЛИС приводит к увеличению вероятности возникновения функционального отказа. В связи с этим возникает необходимость в проведении полного функционального и параметрического контроля ПЛИС.

Важный параметр работоспособности ПЛИС — время распространения сигнала в них. Так, например, наличие задержек, связанных с внутренними дефектами, на каком-либо внутреннем блоке или на тактовых линиях и межсоединениях, может привести к неправильной работе проекта и к невозможности реализации на ПЛИС многих высокоскоростных устройств, например, современных интерфейсов приема и передачи информации.

Известные методы тестирования задержек

Как было сказано раньше, тестирование задержек — один из необходимых параметров при проведении функционального и параметрического контроля ПЛИС. Данное испытание становится все более актуальным, поскольку ограничения на время распространения сигнала с каждым поколением ПЛИС постоянно уменьшаются, тем самым увеличивая максимальную производительность микросхемы.

Существуют три основных метода для тестирования задержек: случайный, функциональный и структурный [1].

Случайный метод основывается на контроле задержек с помощью встроенных производителем в ПЛИС схем самодиагностики, так называемых BIST-схем [2, 3]. Преимущество этого метода в том, что нет необходимости разрабатывать сложные алгоритмы тестирования. BIST-схемы

предназначены для выявления всех типов дефектов в проверяемых внутренних цепях, в том числе для выявления дефектов, связанных со слишком большой задержкой распространения сигналов внутри ПЛИС. Основным недостатком применения случайного метода — то, что производители ПЛИС зачастую не предоставляют информации об архитектуре и тестовых последовательностях, необходимых для использования BIST-схем. Зачастую BIST-схемы проверяют только определенные части микросхемы, не покрывая всю внутреннюю структуру ПЛИС. Тем самым, при отсутствии полной информации от производителя об архитектуре встроенных BIST-схем, использование данного метода возможно только при проведении приемосдаточных испытаний на предприятиях — производителях ПЛИС.

Метод функционального тестирования (на предельной частоте) применим к отдельным встроенным функциональным блокам ПЛИС, например микропроцессорным ядрам, встроенным или программно реализованным на внутренней логике ПЛИС. Этот метод обеспечивает точное тестирование задержек встроенных процессорных ядер, потому что ПЛИС тестируется в необходимом режиме функционирования с помощью загрузки последовательности инструкций и их выполнения [4, 5]. Основные недостатки функционального тестирования состоят в трудности разработки длинных тестовых последовательностей для обеспечения высокой степени тестового покрытия встроенных блоков. Также для воспроизведения этих последовательностей необходимо дорогостоящее тестовое оборудование с большим объемом памяти на один тестовый канал.

Метод структурного тестирования основан на знании внутренней структуры ПЛИС. При этом методе тестирования контролируется время задержки сигнала на разных элементах: логических вентилях, встроенных блоках и межсоединениях, по отдельности, с помощью различных «прошивок» ПЛИС. Преимущество структурного тестирования в том, что этот метод покрывает максимальный объем внутренней логической емкости ПЛИС. Раздельное тестирование задержек на разных блоках также значительно облегчает контроль задержек распространения сигналов внутри ПЛИС. Недостаток данного метода — необходимость разработки

специализированных алгоритмов контроля задержек. Также при контроле задержек отдельных блоков ПЛИС значение может значительно отличаться от суммарной задержки нескольких функциональных блоков, что может быть связано с дополнительными задержками на длинных линиях внутренних межсоединений, входных и выходных буферах ПЛИС.

В докладе авторами рассматривается метод структурного тестирования ПЛИС. Для контроля задержек распространения сигналов методом структурного тестирования необходимо измерять задержку на отдельных блоках ПЛИС, для чего кратко рассмотрим внутреннюю архитектуру ПЛИС.

Структура ПЛИС

Архитектура современной ПЛИС содержит в себе множество конфигурируемых логических блоков (Configurable Logic Block, CLB), состоящих из группы логических элементов, цепей переноса, регистров, а также локальных внутренних межсоединений. Логические элементы (макроячейки) современных ПЛИС выполняются на основе таблиц преобразования (Look-Up Table, LUT), программируемых регистров (программируемых как JK-, D-, T- или RS-триггер) и логики ускоренного переноса, включающей дополнительную логику (мультиплексоры, сумматор и т. д.). Таблица преобразования представляет собой элемент, способный реализовывать любую функцию n переменных. Принцип ее работы похож на принцип работы стандартного ОЗУ, шиной адреса которой являются входы LUT-блока, а шиной данных — выходы LUT-блока. При конфигурировании ПЛИС в таблицу преобразования записываются данные, представляющие собой бинарную таблицу соответствия функции, выполняемой LUT-блоком макроячейки ПЛИС (рис. 1).

Обязательны для архитектуры ПЛИС блоки ввода/вывода (input/output blocks — IOBs), позволяющие реализовать двунаправленную передачу сигналов между ПЛИС и внешними устройствами. Соединения конфигурируемых логических блоков между собой и с блоками ввода/вывода осуществляются с помощью ресурсов маршрути-

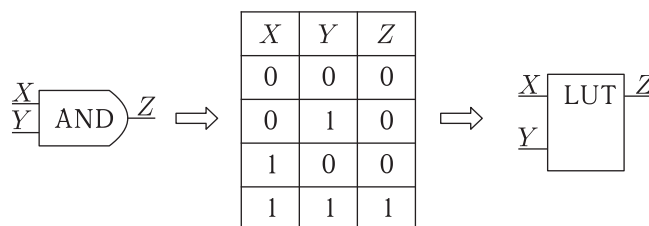


Рис. 1. Пример конфигурирования LUT-блока

зации — программируемых матриц соединений (Switch Matrices), состоящих из программируемых точек соединений (PIPs).

В состав ПЛИС также входят блоки умножителей, блоки оперативных запоминающих устройств (Random Access Memory, RAM) и конфигурационной памяти. В настоящее время многие ПЛИС содержат встроенные микропроцессорные блоки цифровой обработки сигналов (Digital Signal Processor, DSP), аналоговые модули фазовой автоподстройки (Phase-Locked Loop, PLL), цифровые модули управления внутренней синхронизацией (Digital Clock Manager, DCM), интегрированные аппаратные модули (PCI Express), последовательные высокоскоростные приемопередатчики (RocketIO) и множество других интерфейсов.

Далее рассматриваются алгоритмы контроля задержек распространения сигналов в ПЛИС.

Анализ алгоритмов контроля задержек распространения сигналов в ПЛИС

Контроль задержек распространения сигнала в ПЛИС включает контроль задержек на логических элементах (макроячейках), межсоединениях и входных и выходных буферах, так как обычно эти параметры указываются и нормируются в документации производителя [6]. Для контроля задержек на логических элементах необходимо контролировать задержку на регистрах, LUT-блоках и остальной логике, входящей в состав логического элемента.

При контроле задержек распространения сигналов на внутренних регистрах можно использовать схему, представленную на рис. 2.

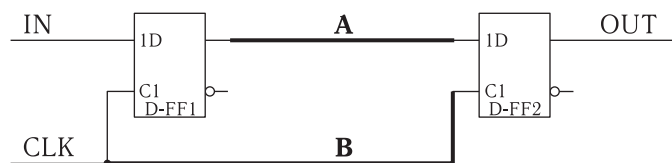


Рис. 2. Пример конфигурации для контроля задержки распространения сигнала на программируемом регистре логического элемента ПЛИС

При формировании данной схемы регистры, на которых контролируется задержка распространения сигналов, должны быть запрограммированы как D-триггеры. Необходимо выбрать тестируемую цепь «А» с временем распространения сигнала заведомо меньшим (согласно документации производителя), чем в тактовой цепи «В».

Алгоритм тестирования задержек распространения сигналов, согласно приведенной на рис. 2 принципиальной схеме, следующий:

- первоначально на вход IN подается логический «0», и положительным фронтом в цепи тактирования CLK выход первого триггера D-FF1 устанавливается в логический «0»;
- на вход IN подается логическая «1», и положительным фронтом в цепи тактирования CLK выход первого триггера D-FF1 устанавливается в логическую «1»;
- если тестируемые регистры обладают надлежащей задержкой распространения сигнала, то логическая «1» достигает входа триггера D-FF2 раньше тактового сигнала, распространяющегося по цепи «В», в результате чего выход триггера D-FF2 также устанавливается в логическую «1»; это символизирует, что триггер D-FF1 обладает надлежащей задержкой;
- если тестируемые регистры обладают большой задержкой распространения сигнала, то логическая «1» достигает входа триггера D-FF2 позже тактового сигнала, распространяющегося по цепи «В», в результате чего выход триггера D-FF2 останется в состоянии логического «0».

Данный алгоритм, к сожалению, не обеспечивает точное измерение задержки, и при его ре-

лизации необходимо, чтобы по цепи «В» задержка распространения не превышала предельно допустимого значения задержки указанного в документации производителя.

Для измерения значений временных задержек логических элементов предлагается использовать алгоритм на основе схемы кольцевого генератора [7–9]. Для этого в ПЛИС реализуется кольцевой генератор (рис. 3).

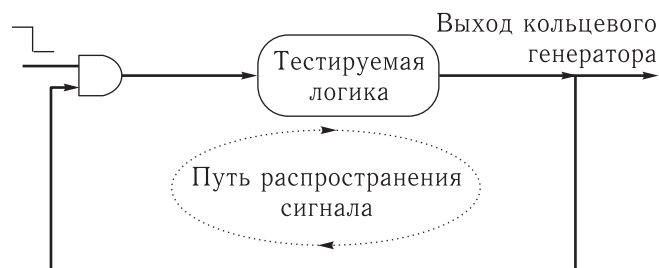


Рис. 3. Принципиальная схема конфигурирования ПЛИС при измерении задержки распространения сигнала на логическом элементе

Для того чтобы разобраться в работе метода, рассмотрим пример измерения задержек распространения сигнала в LUT-блоке. При измерении задержки LUT-блока используется схема кольцевого генератора, состоящая из N элементов задержки (рис. 4). Стоит заметить, что для построения схемы необходимо, чтобы на заданной частоте при фазовом сдвиге прямой ветви, равном π , коэффициент усиления был не меньше единицы, что является условием возбуждения и поддержания колебаний в схеме кольцевого генератора. Поэтому если замкнуть выходы единственного элемента на его противофазные входы, то колебания не возникают вследствие невыполнения условия возбуждения. По мере увеличения количества элементов задержки в схеме общий фазовый сдвиг возрастает и возникают близкие к гармоническим автоколебания с малой амплитудой при коэффициенте усиления, равном единице. Дальнейшее увеличение числа N элементов приводит к возрастанию времени задержки и коэффициента усиления. Это обуславливает увеличение амплитуды выходного напряжения, при этом форма сигнала приближается к сглаженной трапеции (мягкое ограничение). Наконец, при существенном увеличении числа элементов каждый

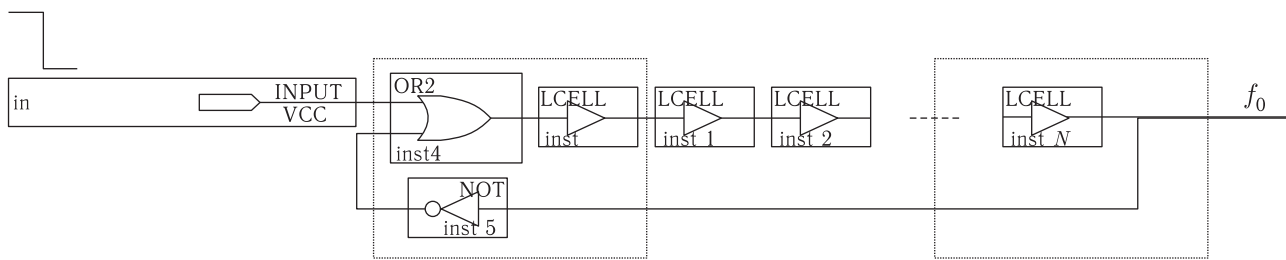


Рис. 4. Схема конфигурации при контроле задержек на LUT-блоке

из них успевает полностью переключаться, амплитуда сигналов достигает максимума, а их форма становится близкой к меандру.

Импульс распространяется через все N элементов задержки один раз, обеспечивая фазовый сдвиг π в течение полупериода Nt_D , где t_D — задержка одного элемента задержки. После этого импульс инвертируется и второй раз распространяется через те же элементы задержки, что обеспечивает общий период $2Nt_D$. Таким образом, частота колебаний оказывается равной

$$f_0 = \frac{1}{2Nt_D}.$$

Измерив полученную частоту кольцевого генератора, мы можем рассчитать задержку одного элемента задержки, реализованного на LUT-блоке:

$$t_D = \frac{1}{2Nf_0}.$$

Результат имеет погрешность, вызванную дополнительной задержкой на длинных межсоединениях и буферах входа/выхода. Для учета погрешности необходимо отдельно померить задержку на буферах входа/выхода и вычесть ее из полученного значения. Также при компиляции проекта прошивки в САПР в автоматическом режиме могут возникать дополнительные задержки на линиях межсоединений. Это связано с тем, что САПР для работы с ПЛИС (Quartus II, ISE, Libero IDE) при автоматической трассировке проекта обычно распределяют логические элементы схемы по всей площади кристалла ПЛИС, исключая тем самым участки неравномерного потребления мощности. Для исключения задержек на длинных линиях межсоединений необходимо все части схемы кольцевого

генератора вручную трассировать на соседних логических элементах.

Заключение

Изложенные алгоритмы задержек распространения сигналов в ПЛИС позволят повысить эффективность выявления ошибок и дефектов во внутренних блоках ПЛИС, связанных с задержкой распространения сигналов. Все изложенные алгоритмы используются в НЦ СЭО ОАО «Российские космические системы» при проведении входного контроля и сертификационных испытаний ПЛИС.

Список литературы

1. Wang L. T., Stroud Ch. E., Toubia N. A. System-on-chip test architectures nanometer design for testability. USA, Morgan Kaufmann Publishers is an imprint of Elsevier, 2007. ISBN 978-0-12-373973-5.
2. Harris I. G., Menon P. R., and Tessier R. BIST-based delay path testing in FPGA architectures. In Proc. IEEE International Test Conference, 2001.
3. Abramovici M., Stroud C. E. BIST-based delay-fault testing in FPGAs // Journal of Electronic Testing: Theory and Applications, 2003. Vol. 19. № 5. P. 549–558.
4. Wang L. T., Wu C. W., and Wen X. VLSI Test Principles and Architectures: Design for Testability. Morgan Kaufmann, San Francisco, 2006.
5. Navabi Z. VHDL: Analysis and Modeling of Digital Systems. Second Edition. New York: McGraw-Hill, 1997.
6. MAX II Device Handbook. Chapter 5. DC and Switching haracteristics, Altera Corporation, 2009.

7. *Медведев А. В., Чулков В. А.* Кольцевые генераторы импульсов на ПЛИС // Изв. вузов. Приборостроение, 2009, т. 52, № 12.
8. *Maiti A., Schaumont P.* Improved Ring Oscillator PUF: An FPGA-friendly Secure Primitive. Journal of Cryptology, 14 October 2010.
9. *Morozov S., Maiti A., Schaumont P.* An analysis of delay based PUF implementations on FPGA // In 6th International Symposium on Applied Reconfigurable Computing. LNCS, 2010. Vol. 5992. P. 382–387.
10. *Krasniewski A.* Evaluation of testability of path delay faults for userconfigured programmable devices. In Proc. Field-Programmable Logic and Applications, 2003.
11. *Krstic A. and Cheng K. T.* Delay Fault Testing for VLSI Circuits. Kluwer Academic Publishers, Boston, 1998.

УДК 629.7+681.2

Развитие электронно-компонентной базы СВЧ-диапазона малых спутников для целей обнаружения метеоритной и астероидной угрозы

С. А. Ежов¹, Н. С. Данилин², Д. М. Димитров³,
И. Х. Сабиров⁴, Д. А. Белов⁵, И. Ю. Булаев⁶

¹д. т. н., проф., первый заместитель генерального директора — генеральный конструктор
ОАО «Российские космические системы»

²д. т. н., проф., заместитель начальника НЦ СЭО по науке
ОАО «Российские космические системы»

³д. т. н., проф., заместитель генерального директора ООО «Космос-Комплект»

⁴генеральный директор ООО «Космос-Комплект»

⁵начальник сектора, ОАО «Российские космические системы»

⁶инженер-исследователь 1 кат., ОАО «Российские космические системы»

e-mail: n_danilin@rambler.ru

Аннотация. Представлена информация о современных методах и инструментальных средствах использования космической электронной компонентной базы на основе микросистем в корпусе. Материалы отражают мировой уровень космической индустрии и получены в результате совместных исследований специалистов ОАО «Российские космические системы» и ООО «Космос-Комплект» по реализации концепции инновационных космических микросистем в корпусе.

Ключевые слова: ЭКБ, микросистемы в корпусе, микроспутники

Development of Small Satellite Microwave Electronic Component Base for Meteorite and Asteroid Threat Detection

S. A. Ezhov¹, N. S. Danilin², D. M. Dimitrov³, I. H. Sabirov⁴, D. A. Belov⁵, I. Yu. Bulaev⁶

¹doctor of engineering science, professor, first deputy director general

²doctor of technical science, professor, deputy head Research Center of the certification components
and equipment JSC “Russian Space Systems”

³doctor of technical science, professor, deputy general director JSC “Kosmos-Komplekt”

⁴general director JSC “Kosmos-Komplekt”

⁵chief of sector, Joint Stock Company “Russian Space Systems”

⁶research engineer (1 cat.), Joint Stock Company “Russian Space Systems”

e-mail: n_danilin@rambler.ru

Abstract. The report presents information about modern methods and instrument for using the space electronic components base composed of cased microsystems. It shows world level of space industry and is the result of combined investigations of “Russian Space Systems” and “Kosmos-Komplekt” on innovative packaged Microsystems.

Key words: electronic components base, cased microsystems, microsatellite

Вплоть до середины–конца 1980-х гг. малые аппараты существенно уступали по характеристикам большим, поскольку использовали ту же самую элементную базу. Однако успехи микроминиатюризации, выразившиеся в появлении больших интегральных микросхем, миниатюрных электро-механических систем, «систем в корпусе» и «систем на кристалле», позволили заложить серьезный функционал в аппаратуре малых масс и габаритов.

Ведущие мировые фирмы космического и оборонного сегментов уже несколько лет используют в своих изделиях так называемые системы в корпусе (СвК) (System in Package), где на смену электронно-компонентной базе (ЭКБ) пришли микросистемы в корпусе. Система в корпусе — это технология, которая позволяет интегрировать КМОП, КНИ, КНС, биполярные и пленочные структуры с СВЧ, МЭМС оптоэлектронными и дискретными компонентами в одном корпусе. Уникальность этой технологии определяется соотношением между ценой реализуемых изделий и их функциональностью в единице объема корпуса.

Нами впервые в РФ разработаны теория и методические основы, подходы и принцип создания, развития и целевого использования инновационных космических микросистем в корпусе как основы макроуровня перспективных микроспутников. Эта прогрессивная технология позволяет снизить массогабаритные характеристики изделия, его энергопотребление, повысить функциональность в единице объема, сократить цикл «разработка–выпуск» новых космических аппаратов.

Результаты указанных исследований одобрены на коллегии Минэкономразвития (июль 2011 г.), вошли в проект «Сколково», а также в межправительственную Программу РФ–США по развитию космической техники.

Таким образом, СвК является стратегической технологией для мировой и отечественной космической промышленности и полностью определяет возможности по эффективному занятию рынка микроспутниковых систем. Доля СвК в космических аппаратах США за 2010 г. составляет 39 % от общего объема ЭКБ — стоимость 0,5 млрд долл. Эта тенденция стала практикой потому, что расходы на проектирование конечных изделий удеше-

вились на 15–20 %. Процесс проектирования сокращен по времени на 40 %. Комплектация и построение изделий на базе заведомо исправных кристаллов «Known Good Die» и типовых узлов в виде микросистем в корпусе сократила производственные расходы на 30 %. Тестирование изделий заняло не более 10 % от общего времени реализации изделий. В 2010 г. доля проектов с применением микроспутников составила 90 % от общего объема космических проектов США (рис. 1).

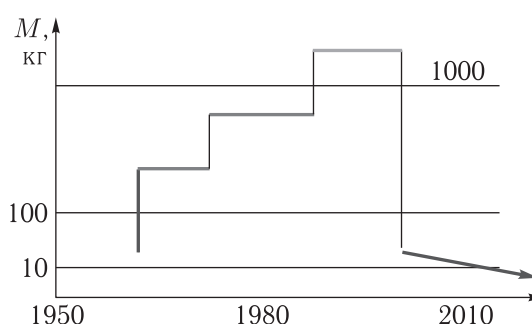


Рис. 1. Весовые характеристики спутников NASA

Все это вызвало своеобразный «ренессанс» малых спутников, которые уже примерно четверть века развиваются достаточно успешно.

В настоящее время считается, что, кроме миниатюризации компонентов, интерес к МКА вызывают еще несколько тенденций, среди которых:

- сокращение сложности миссий и снижение затрат на управление;
- удешевление наземной инфраструктуры для получения, обработки и распространения данных;
- появление на рынке новых систем выведения.

Развитие «умной начинки» МКА подчиняется закону Мура, единому для всей современной электроники. Он гласит, что число транзисторов в интегральной микросхеме растет, экспоненциально увеличиваясь на порядок каждые шесть лет. Таким образом, эффективность бортового радиоэлектронного оборудования спутника способна возрастать (или оставаться на необходимом уровне) при сохранении и даже уменьшении исходных размеров аппарата. В соответствии с законом Мура

характеристики МКА в ряде случаев становятся сопоставимы с возможностями «больших» собратьев. Именно поэтому наиболее впечатляющие успехи на «малогабаритном фронте» заметны среди спутников наблюдения (рис. 2).

• SPACE CRAFT IQ			
• 17			
• THINKING			
• 10 s/c			
•		SCIENCE CRAFT	
42 000			
•	SCIENCE CRAFT		
• 1	96		
• GALILEO			
80-е гг.	90-е гг.	2002–2010 гг.	2010–2020 гг.

Рис. 2. Концепции миниатюризации и IQ микроспутников

МКА массой всего 8 кг имеют стоимость в разы (если не на порядок) меньше, чем стоимость обычного спутника — около 1 млн долл. Группировка в 30 МКА обеспечит круглосуточную оперативную выдачу информации. Полученные изображения потребители смогут получать по радиоканалу круглосуточно.

Важнейшая особенность МКА — возможность формирования орбитальных группировок по типу «роя». В нем спутники могут разбиваться на специализированные группы: управления, энергоснабжения, целевого назначения, связи и т. д. Это дает ряд ценных преимуществ:

- способность реконфигурировать систему за счет оперативного перераспределения функций;
- высокую устойчивость;
- возможность синтеза очень больших оптических и радиолокационных апертур, недоступных «нормальным» аппаратам.

МКА работают в основном с небольшим баллистическим сроком существования — от нескольких месяцев до трех–пяти лет. А раз так, зачем применять на них дорогую электронику класса «space», вполне можно обойтись комплектующими класса «industrial», буквально взятыми с полки.

Это будет быстрее, проще и существенно дешевле, чем замахиваться на космический «hi-tech».

В итоге страна сможет иметь компактную качественную группировку спутников как с оптико-электронной, так и с радиолокационной аппаратурой, чтобы обеспечить оперативное получение спутниковых снимков космического пространства.

Для реализации поставленных задач в СВЧ-диапазоне целесообразно использовать перспективные полупроводниковые материалы.

К настоящему моменту в практике разработки РЧБУ утвердились следующие гетероструктуры: GaAs, GaN, SiGe, InP (рис. 3). В качестве иллюстрации ниже приводятся несколько примеров их применения.

Технология GaAs на сегодняшний день является основной для реализации бортовых усилителей мощности, что позволяет достичь значения объема годового рынка таких микросхем до 500 000. Эта технология также используется в качестве основной при производстве СВЧ-переключателей. Поскольку РЧБУ развиваются в сторону увеличения частоты при снижении потерь сигнала и увеличении числа каналов коммутации с близкими к нулю токами в ненагруженном режиме, то GaAs рНЕМТ-ключи идеальное решение в таких приложениях. Кроме того, важное применение GaAs-структур в РЧБУ — это Ку-диапазонные приемники и переключатели для DBS-телевидения.

Радарные приложения, радиокommunikации типа «point-to-point» и множество специальных изделий в классе «high end» являются основным рынком сбыта для структур типа GaAs, SiC и GaN.

Следует отметить, что GaAs-структуры устойчивы к воздействиям факторов космического пространства, обладая высоким уровнем радиационной стойкости. Этот фактор является определяющим при комплектации бортовых устройств как отдельными микросхемами, изготовленными по этой технологии, так и многокристальными модулями. Так, например, бортовые активные фазированные антенные решетки (АФАР) изготавливаются с использованием изделий этого класса.

Обширные исследованные возможности кремниевых структур не могут затмить такие характеристики гетероструктур, как высокая скорость перемещения зарядов и низкий уровень шума

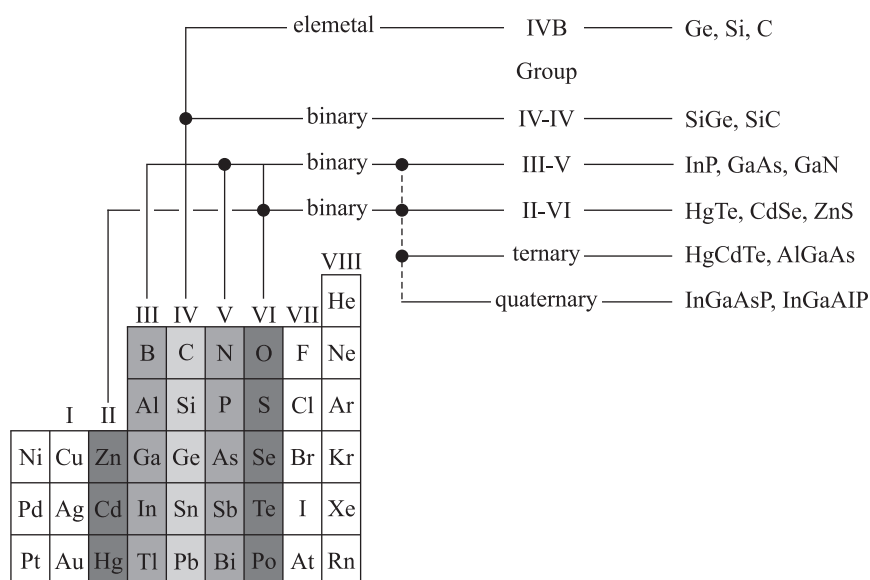


Рис. 3. Обзор перспективных гетерополупроводниковых материалов для применения в РЧБУ

при гарантированной радиационной стойкости. Кроме того, кремниевая микроэлектроника представлена изделиями с огромным числом транзисторов на единицу площади кристалла при рабочем напряжении порядка единиц вольт и с ограниченным частотным диапазоном до 10 ГГц. По этим причинам естественным является решение об интеграции кремниевых и гетерополупроводниковых изделий по технологии «система в корпусе».

С 2008 г. МО США (DARPA) развивает так называемые технологии COSMOS (Compound Semiconductors on Silicon) по интеграции гетерополупроводниковых изделий с кремниевыми кристаллами.

Технология интеграции гетерокристаллов в процессе изготовления КМОП-пластин адаптирована компаниями Northrop Grumman и Raytheon.

Ключевыми факторами для эффективной реализации этого технологического процесса являются:

- точность расположения подложки гетерополупроводника на подложке КМОП-изделия;
- совместимость характеристик материалов, в частности, коэффициенты температурного расширения и потенциальная деградация отдельных изделий;
- удельная плотность соединений между материалами;

– уровень выхода годных изделий как интегральный критерий эффективности процесса COSMOS.

В основе предлагаемого подхода находится использование многослойной керамики (LTCC) в качестве подложки, на которой формируются соединения в формате 2D- или 3D- между необходимыми кристаллами и дискретными компонентами.

Практический опыт в этом направлении приобрели компании «Aeroflex», «Armko» и др. Об успешности этой интеграционной технологии может говорить то, что только на «Aeroflex» по заказным спецификациям методом интеграции на уровне многокристалльных сборок производятся более 15 типов гибридных изделий с тиражом не менее 200 шт. каждого номинала.

Существенным препятствием для развития системной микроминиатюризации в области космического приборостроения является множественность номенклатуры функциональных назначений радиочастотных бортовых узлов (РЧБУ). Причина этого, прежде всего, — большое число типов используемых ЭРИ, а также ряд специфических требований, как, например, электромагнитная совместимость и помехозащищенность. Переход на новые конструктивные решения с редуцированными размерами, равно как и разработка узлов с малым потреблением энергии и низким уровнем шумов,

возможны только при масштабном внедрении интегрированных систем из гетерополупроводников и КМОП-изделий. Наличие успешного мирового опыта (например, технологии класса COSMOS) и подходящей отечественной технологической среды гарантируют успешное развитие новых поколений РЧБУ космического применения с использованием технологии интеграции гетерополупроводниковых изделий с кремниевыми кристаллами.

Список литературы

1. Данилин Н. С., Димитров Д. М., Сабиров И. Х. Инновационные космические микросистемы в корпусе. М.: ИД «Спектр», 2011.
2. Белов Д. А., Данилин Н. С. Бортовой космический ретранслятор на базе передовой технологии электронной компонентной базы «системы-в-корпусе» // Вестник электроники, 2012, № 4.

УДК 621.396.6:621.391.827

Проведение аттестации по электростатической стойкости бортовой радиотехнической аппаратуры космического применения бесконтейнерной конструкции и использование ее результатов для повышения надежности

Р. Ю. Дорофеев¹, Д. А. Белов²

¹ведущий инженер-исследователь, НЦ СЭО ОАО «Российские космические системы»

²начальник сектора, НЦ СЭО ОАО «Российские космические системы»

e-mail: rdorof@yandex.ru

Аннотация. Приведены результаты анализа электростатической стойкости бортового сегмента системы дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ), имеющей бесконтейнерную компоновку высокой плотности, с последующей аттестацией системы на стойкость к воздействию магнитосферной плазмы космического пространства.

Ключевые слова: электростатические испытания, электростатическая стойкость, срок активного существования, электрорадиоизделия

Electrostatical Resistance-Based Attestation of Containerless Constructions of On-Board Electronic Equipment for Space Application and the Use of Its Results for Reliability Improvement

R. Yu. Dorofeev¹, D. A. Belov²

¹research engineer, Joint Stock Company "Russian Space Systems"

²chief of sector, Joint Stock Company "Russian Space Systems"

e-mail: rdorof@yandex.ru

Abstract. Results of the analysis of the electrostatic stability of the system-board segment Differential Correction and Monitoring (SDCM) having without an hermetically sealed high-density layout, with certification system for resistance to the magnetospheric plasma of space.

Key words: electrostatic test, electrostatic resistance, active shelf life, electronic components

Современная радиоэлектронная аппаратура, устанавливаемая на борту космических аппаратов (КА), совершенствуется в сторону внедрения новых технологий, повышения тактовых частот обработки информации, расширения спектра обрабатываемых сигналов. Одновременно минимизируются массогабаритные параметры аппаратуры, увеличивается плотность ее компоновки в объеме КА. Тенденция увеличения плотности упаковки при размещении элементов и устройств, электронных блоков и систем различного назначения вынуждает отказываться от использования гермоконтейнеров, что приводит к необходимости решения задач по защите бортовой радиоэлектронной аппаратуры от воздействия магнитосферной плазмы на новом качественном уровне. Особую роль при этом играют процессы электризации поверхности КА, вызывающие электростатические разряды (ЭСР) на поверхности блоков и бортовых кабельных сетей. ЭСР приводят к кратковременным сбоям и отказам бортовой радиоэлектронной аппаратуры (БРА), искажению информационных сигналов и сигналов управления, а в отдельных случаях физическому повреждению бортовых устройств. Из-за высокой сложности реальных конструкций КА и их БРА задача определения места разряда и его уровня достаточно сложна и на сегодняшний день не отработана. Это затрудняет разработку методов, средств контроля и предотвращения ЭСР и, соответственно, защиты аппаратуры от его воздействия.

В БРА при воздействии ЭСР могут иметь место следующие нарушения в работе устройств:

- пропуски импульсов в кодовых группах в режиме передачи; возникновение сбоев, проявляющихся в выдаче ложных команд по разрядам кодовых групп;
- возникновение сбоев питания, проявляющихся в кратковременном прерывании или существенном снижении напряжения питания;
- возникновение сбоев, проявляющихся в переводе схем из одного устойчивого состояния в другое.

Основной документ, которым руководствуется разработчик на этапе проектирования БРА, — техническое задание (ТЗ), в котором сформулированы

требования по стойкости к влиянию внешних воздействующих факторов (ВВФ), в том числе:

- а) электронов и протонов ЕРПЗ;
- б) протонов СКЛ;
- в) тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ) космических лучей;
- г) магнитосферной плазмы;
- д) при воздействии на внешнюю поверхность КА метеорного вещества.

Как правило, стойкость к воздействию магнитосферной плазмы должна экспериментально подтверждаться. Для этого принята модель развития на внешней поверхности КА электростатических разрядов, возникающих вследствие влияния магнитосферной плазмы, со следующими характеристиками:

- ток в разрядном импульсе ≤ 100 А;
- длительность разрядного импульса 10^{-7} – 10^{-6} с;
- длительность фронтов разрядного импульса 10^{-9} – 10^{-7} с;
- энергия в разрядном импульсе $\leq 0,2$ Дж;
- частота разрядов ≤ 10 Гц;
- напряжение разрядного импульса ≤ 20 кВ.

На основе анализа условий эксплуатации БРА рассчитываются нормы испытаний. В аттестационный испытательный центр, как правило, поставляются образцы аппаратуры, прошедшие конструкторско-отработочные испытания (КОИ). По результатам испытаний формируется заключение о соответствии аппаратуры эксплуатационным требованиям с рекомендациями введения при необходимости дополнительной защиты и экранирования.

Изложенный регламент действий реализован на примере разработки бортового сегмента СДКМ [3]. Система выполнена для установки на геостационарных аппаратах типа «Луч» со сроком активного существования 10 лет.

В состав бортового сегмента СДКМ входят:

- малощумящий конвертер Ку/L-диапазона (МШК) — прибор, обеспечивающий прием и усиление сигналов от антенны в диапазоне частот 14,4 ГГц и перенос их в диапазон частот 1,5 ГГц;

- линейный тракт L-диапазона (ЛТ) — прибор, обеспечивающий формирование заданной полосы и уровня сигнала в диапазоне частот 1,5 ГГц;
- опорный генератор (ОГ) — формирователь высокостабильного опорного сигнала частотой 15 МГц;
- усилитель мощности L-диапазона (УМ) — прибор, обеспечивающий формирование заданного уровня на входе антенно-фидерного устройства (> 57 Вт) в диапазоне частот 1,5 ГГц.

С целью обеспечения требуемых значений ресурса каждый из приборов имеет в своем составе два полуконспекта, один из которых находится в холодном резерве.

При анализе, согласно [5], определен ограничительный перечень компонентов, наиболее чувствительных к эффектам электризации БРА (в первую очередь, ИС КМОП-технологий, транзисторы, диоды). Из общей номенклатуры ЭРИ, примененных в системе, содержащей до 200 наименований, было выделено около 50 позиций активных элементов для проведения расчетной оценки стойкости к электростатическим разрядам. Из общей номенклатуры были исключены пассивные элементы (резисторы, конденсаторы и др.).

Для определения вероятности электрического пробоя комплектующих вследствие возникновения ЭСР была произведена оценка напряженности электростатического поля E , действующего на них.

Суммарное ослабление A_s воздействия ЭСР стенками приборов из алюминия толщиной порядка 6 мм определяется выражением:

$$A_s = A_o + A_n, \quad (1)$$

где A_o — ослабление энергии, падающей на экран плоской волны, за счет отражения, A_n — ослабление энергии, падающей на экран плоской волны, за счет поглощения. Величины A_o и A_n определены в [5].

Ослабление электрической компоненты ЭМП на низких частотах составляет ~ 40 дБ.

Тогда

$$A_s = 40 \times \lg(E_o/E). \quad (2)$$

Отсюда

$$E_o = E/10^{11}, \quad (3)$$

где E_o — напряженность электростатического поля на расстоянии 0,1 м.

Анализ показал [5], что воздействие ЭСР в объеме приборов в течение срока активного существования (САС) 10 лет в условиях эксплуатации на геостационарной орбите с учетом компоновки на аппарате не превышает 100 А и 20 кВ. При потенциале 20 кВ напряженность электрической составляющей ЭМП на расстоянии 0,1 м — $E_o = 200$ кВ/м, что в соответствии с (3) $E < 10$ В/м. Таким образом, для всех электрорадиоизделий (ЭРИ), имеющих сведения об электростатической стойкости, величина напряженности электростатического поля недостаточна для пробоя.

Тем не менее, согласно нормативным документам и ТЗ, требовалось экспериментальное подтверждение результатов расчетной оценки. Кроме того, для ряда ЭРИ отсутствовала информация по стойкости к воздействию ЭСР. Таким образом, требовалось проведение экспериментальной фазы аттестации к ЭСР.

С целью максимальной дефектации ЭРИ и максимально точного выявления порогового значения возможного отказа испытание на стойкость к воздействию ЭСР осуществлялось тремя методами:

- емкостная антенна;
- воздушный разряд;
- контактный разряд.

В табл. 1 представлены нормы электростатического воздействия на каждый из приборов.

Таблица 1

Напряжение разрядного импульса	20 кВ ± 10 %
Ток в разрядном импульсе	100 А ± 10 %
Длительность разрядного импульса	10^{-7} – 10^{-6} с
Длительность фронтов разрядного импульса	10^{-9} – 10^{-7} с
Энергия в разрядном импульсе	0,2 Дж
Частота разрядов	10 Гц ± 10 %

При экспозиции осуществлялся контроль тока потребления образцов. Во время каждого из сеансов проходила проверка приборов на рабочем месте

на соответствие требованиям ТУ. За все время испытаний отмечено незначительное изменение тока для всех приборов. Контроль параметров на рабочем месте для всех приборов кроме ЛТ также показал незначительный разброс параметров в пределах норм ТУ.

При испытании ЛТ выявлено существенное самопроизвольное изменение (как увеличение, так и уменьшение) выходной мощности при одном и том же уровне воздействия. В табл. 2 представлены значения смещения уровня выходного сигнала для разных сеансов.

С другой стороны, выходной сигнал БРТР в целом соответствует нормам ТУ, т.к. был скомпенсирован запасами усиления в тракте и изменение выходной мощности ЛТ не оказало влияние на выходной уровень БРТР в целом.

Таблица 2

№ сеанса	Относительное смещение уровня выходного сигнала, дБ	
	1 п/к	2 п/к
До испытаний	0	0
1	–3,0	–5,0
2	+1,0	–11,0
3	–7,0	+2,0
4	0	–3,0
5	–8,0	+3,0
6	0	–11,0

Анализ причин смещения уровня ЛТ показал, что «виновен» управляемый аттенюатор типа НМС306МС10 фирмы Hittite Microwave [4]. При воздействии ЭСР аттенюатор самопроизвольно принимал любое значение из своего рабочего диапазона (от 0 до 31 дБ с дискретностью 1 дБ), что и определяло смещение выходного уровня. Тем не менее, на программном уровне предусматривается возможность управления уровнем выходного сигнала ЛТ в исходное состояние путем коррекции значения ослабления управляемого аттенюатора.

Геомагнитные возмущения магнитосферной плазмы достаточно редкое явление. Соответственно вероятность изменения выходной мощности ЛТ в случае воздействия ЭСР нивелируется возможностью его перезагрузки и возвращением в исходное

состояние по команде оператора. Таким образом, с учетом возможности устранения последствий воздействия принято решение о сохранении схемотехнической конфигурации при условии добавления локальной защиты ЛТ от воздействия ЭСР.

Стоит отметить, что управляемый аттенюатор типа НМС306МС10 был исключен из ограничительного перечня компонентов, наиболее чувствительных к эффектам электризации БРА [5]. Таким образом, в дальнейшем, с целью повышения достоверности прогноза и снижения вероятности критического отказа при штатной эксплуатации, при проведении анализа стойкости аппаратуры к воздействию ЭСР рекомендуется с приоритетом квалифицировать по показателям электростатической стойкости цифровые аттенюаторы.

Для бортового сегмента СДКМ по результатам аттестационных и граничных испытаний на воздействие ЭСР выдано положительное заключение с рекомендацией установки дополнительного локального экрана (с экранированием разъемов и кабелей прибора) для защиты ЛТ цифрового аттенюатора с повторным проведением локальных испытаний.

Выводы

– электростатические испытания разработанных приборов бортового сегмента СДКМ дали положительные результаты, в целом подтвердившие требования ТЗ;

– испытания показали, что в ряде случаев эффективность прогноза может быть усилена результатами анализа стойкости компонентов, не включенных в ограничительный перечень [5];

– достигнутые нормы воздействия ЭСР позволили аттестовать ряд компонентов (ЭРИ), по которым сведения о их стойкости недостаточно достоверны;

– по результатам испытаний рекомендовано использование цифровых аттенюаторов типа НМС306МС10 фирмы-производителя Hittite Microwave за дополнительным локальным экраном (с экранированием разъемов и кабелей прибора) с последующей заменой аттенюатора в приборе на стойкий аналог.

Список литературы

1. РД.134.0140-2005 Методические указания. Порядок применения иностранной электронной компонентной базы в аппаратуре объектов ракетно-космической техники научного и социально-экономического назначения. Общие положения.
2. РД.134.0154-2007 Методические указания. Порядок применения иностранной электронной компонентной базы в аппаратуре объектов ракетно-космической техники научного и социально-экономического назначения. Порядок организации и проведения сертификации изделий иностранной электронной компонентной базы.
3. Техническое задание на разработку бортового радиотехнического ретранслятора сигналов системы дифференциальной коррекции и мониторинга, устанавливаемого на малых геостационарных КА «Луч-5А» и «Луч-5Б» космического комплекса «Луч-М», создаваемых на базе платформы «Экспресс-1000А», шифр «БРТР-СДКМ». ОАО «ИСС», г. Железнодорожск, 2008.
4. Отчет по результатам проведения экспериментальной отработки приборов изделия 757А.РСДКМ на воздействие электростатического разряда. ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф.Решетнева», г. Москва, 2011.
5. Расчетная оценка показателей стойкости аппаратуры изделия 757А.РСДКМ, применяемого в КА «Луч-5А» и «Луч-5Б», к воздействию эффектов, возникающих при взаимодействии магнитосферной плазмы, электрических разрядов и ионизирующих излучений космического пространства с поверхностью приборов. ОАО «Российские космические системы», г. Москва, 2011.

УДК 378.2 (629)

Концептуальные вопросы научно-образовательной деятельности в ОАО «Российские космические системы»

О. Н. Римская¹, Г. Г. Язерян²

¹к. э. н., заместитель начальника отдела научно-технической информации,
ОАО «Российские космические системы»

²к. т. н., начальник редакционной группы отдела научно-технической информации,
ОАО «Российские космические системы»

e-mail: ¹olgarim@mail.ru, ²gyazeryan@yandex.ru

Аннотация. В статье дается анализ организации научной и образовательной деятельности в ОАО «Российские космические системы» и предлагаются конкретные мероприятия в вопросе подготовки инженерных и научных кадров. Важное место отводится кооперации предприятий высокотехнологичного производства с ведущими вузами страны.

Ключевые слова: подготовка и переподготовка кадров, научный потенциал, кооперация вузов и предприятий космической отрасли, система непрерывного обучения

Conceptual Questions of Scientific and Educational Activity at Joint Stock Company “Russian Space Systems”

O. N. Rinskaya, G. G. Yazeryan

¹candidate of economic sciences, deputy head of the Department of Scientific
and Technical Information, Joint Stock Company “Russian Space Systems”

²candidate of engineering science, editing group head at the Department of Scientific
and Technical Information, Joint Stock Company “Russian Space Systems”

e-mail: ¹olgarim@mail.ru, ²gyazeryan@yandex.ru

Abstract. In the present article an analysis of the research and academic activities at JSC “Russian Space Systems” is carried out and specific ways of improving their efficiency are proposed. The cooperation of high-technology manufacturing enterprises and the country’s leading higher education institutions is assigned an important part in the sphere of training technical and scientific staff.

Key words: staff training and retraining, scientific potential, cooperation between higher education institutions and manufacturing companies in the space industry, lifelong learning

Введение

ОАО «Российские космические системы» располагает уникальными возможностями для проведения научных работ — от рождения идеи до ее воплощения в виде устройства, системы или комплекса в составе реально функционирующей космической техники. Практически с самого начала своего создания (в 1946 г.) как научно-исследовательского института с проектно-конструкторским бюро оно стало головным предприятием по системам управления ракет (НИИ-885). Институт со временем стал полноценным многопрофильным предприятием, способным самостоятельно разрабатывать и производить бортовую и наземную аппаратуру, оптимально интегрируя ее в комплексы и системы.

Сегодня научная деятельность нашей организации в основном носит прикладной, а не фундаментальный характер. Научные исследования по каждому направлению имеют конкретную цель: расширять возможности, улучшать качество создаваемых в корпорации радиотехнических систем, комплексов и аппаратуры. Этой логике должна быть подчинена структура научно-исследовательского сегмента организации и необходимая материально-техническая база.

Руководством нашей страны в последние годы уделяется большое внимание проблеме развития кадрового потенциала, в особенности инженерно-технических профессий. Ведь на каждом этапе высокотехнологичного производства, кроме развитой технической базы, в первую очередь, требуется и соответствующая квалификация от исполнителей — от научного руководителя до слесаря и сборщика аппаратуры. В свете вышесказанного трудно переоценить роль и значение подготовки и переподготовки кадров для обеспечения требуемого качества разработок и производимых изделий.

Организация и финансирование НИР

С организационной точки зрения представляется практичным следующее структурное решение.

Руководить и координировать научно-исследовательскую деятельность должен аппарат замес-

тителя генерального директора по науке. Организовать и проводить исследования должны соответствующие тематические подразделения. Наряду с такими важными факторами успеха, как техническое оснащение предприятия и финансирование НИР, может внести вклад в общее дело отдел научно-технической информации (ОНТИ): например, в оперативном получении научно-технической информации. Представляется также логичным тесное взаимодействие отдела научно-технической информации с научно-техническим советом (НТС), диссертационным советом и научно-образовательным центром (НОЦ) организации.

Главный камень преткновения на пути развития НИР — недостаточность целевого финансирования научной деятельности, а также неэффективность его использования. Традиционно в конструкторских подразделениях не совсем понимают роль научных исследований, потому что в условиях хозрасчета вынуждены жить сегодняшним днем. А наука в чистом виде не так быстро приносит материальный результат. Хотя любая опытно-конструкторская работа (ОКР) содержит раздел «Обоснование эскизного проекта», который по своей значимости и содержанию является полноценной научно-исследовательской работой. Конструкторам следует обратить особое внимание на это обстоятельство как на фактор, во многом определяющий степень соответствия разработки мировому уровню.

На наш взгляд, важным шагом к стимулированию научной деятельности в организации стало введение надбавок сотрудникам за ученую степень кандидата и доктора наук при их достаточной публикационной активности. К числу факторов, мотивирующих научную деятельность наших специалистов, следует относить и возможность получения грантов на научные исследования от правительственных и иных структур (например, РФФИ). Считаем целесообразным учредить аналогичные гранты для молодых ученых и специалистов из собственных средств организации. Тематическая направленность этих грантов должна исходить из практических задач и проблемных вопросов, обсуждаемых на НТС и на совещаниях в рамках выполнения крупных проектов и программ. ОНТИ и НОЦ при этом должны совместно

организовать создание экспертной и конкурсной комиссий по распределению грантов и приемке научных отчетов по ним, разработать соответствующие положения и требования к ним.

С определенной долей сожаления должны констатировать, что в последние годы слишком много внимания уделяется коммерциализации и менеджменту научно-технических вопросов в ущерб самим научным исследованиям. С другой стороны, с развитием компьютерных технологий стало выгодным подменять реальные экспериментальные исследования компьютерными симуляциями. Возможно, в каких-то случаях это оправдано, но не при научном обосновании ОКР или разработках методик по определению геофизических и прочих характеристик подстилающей поверхности методами и средствами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), которые занимают значительное место в научно-производственной деятельности ОАО «Российские космические системы».

О некоторых проблемных вопросах в области ДЗЗ

В связи с тем, что в проекте Федеральной космической программы на 2016–2025 годы [1] Роскосмос планирует создание новейшей орбитальной группировки спутников дистанционного зондирования Земли, особую актуальность приобретает задача развития технологий и методик, основанных на использовании данных ДЗЗ, которые занимают одно из ведущих мест среди различных источников актуальных пространственных данных. В решении этой задачи важное значение имеют натурные эксперименты на специальных полигонах для отработки технологий в контролируемых условиях. Организация и проведение таких объемных работ требует привлечения широкого круга специалистов: от студентов и аспирантов до докторов наук. Именно в результате такой солидарной конгломерации в 80-х годах прошлого века в Институте радиотехники и электроники Академии наук СССР (ныне ИРЭ РАН) была разработана методика сверхвысокочастотного (СВЧ) радиометрического определения влажностных характеристик почвогрунтов [2]. Кстати, в то время данные самолетных

ИК- и СВЧ-радиометрических измерений влажностных и биометрических характеристик посевов овощных и зерновых культур (в частности, риса) использовались соответствующими службами сельхозпредприятий для управления технологическими процессами при возделывании этих культур [3]. Это накладывало дополнительные требования к качеству данных дистанционных измерений, в особенности к метрологическому обеспечению, валидации аппаратуры и данных ДЗЗ, что сохраняет свою актуальность по сей день.

По сути, работы по стандартизации в области метрологического обеспечения должны быть направлены на регламентацию порядка метрологической поддержки всей технологической цепочки получения и использования данных ДЗЗ и обеспечения достоверности результатов измерений. В рамках этого направления предполагается разработать нормативные документы, регламентирующие такие важные аспекты, как:

- порядок и правила метрологической аттестации и сертификации источников данных, методик обработки данных, автоматизированных рабочих мест для обработки информации;

- требования к наземным контрольно-калибровочным полигонам, создаваемым для обеспечения контроля характеристик технических средств ДЗЗ, а также тестовым полигонам, предназначенным для калибровки, верификации и валидации данных ДЗЗ.

В настоящее время российский уровень стандартизации в области геоинформатики отстает от общемирового.

В решении задач по стандартизации в сфере ДЗЗ могло бы принимать активное участие ОАО «Российские космические системы», в частности, Научный центр оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ), являющийся оператором российских космических средств ДЗЗ. НЦ ОМЗ тесно сотрудничает с институтами РАН (Институт космических исследований, Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова), Минсельхоза, Минприроды и МЧС. Целесообразно развивать это сотрудничество в интеграционном ключе для достижения конкретных результатов, например, в целевом мониторинге отдельных отраслей экономики. В частности, в информационных

и рекламных материалах НЦ ОМЗ декларируется возможность оценки многих параметров сельскохозяйственных полей, но вопрос о точности этих оценок обходится из-за отсутствия завершенных методик и стандартов.

Ранее для разработки этих методик привлекались огромные ресурсы: проводились «трехуровневые» эксперименты на испытательных полигонах с привлечением космических средств, авиации и наземных служб агрометеорологического контроля. Проводились межведомственные метрологические аттестации методик и аппаратуры [2]. Сегодня об этом опыте уже не вспоминают.

Не менее важная задача — испытание разрабатываемых аппаратов и систем, их отдельных узлов на стендах и полигонах до их установки на космические аппараты. Разработка методик и программ таких испытаний и экспериментальных проверок также представляет собой важную научно-техническую задачу.

Таким образом, в научно-исследовательской деятельности ОАО «Российские космические системы», на наш взгляд, в порядке обсуждения, можно выделить следующие ключевые аспекты.

1. Научно-исследовательская и опытно-конструкторская работы (НИИОКР) — важнейшие составляющие деятельности ОАО «Российские космические системы» для обеспечения требуемого уровня разработок и производства высокотехнологичной продукции космической отрасли. Для достижения качественного результата научная и конструкторская части работы должны выполняться в тесной взаимосвязи.

2. Целесообразно учредить гранты на научные исследования для молодых ученых и специалистов из собственных средств организации по основным тематическим направлениям. При этом активнее участвовать в получении грантов от сторонних организаций.

3. Результаты НИР должны систематически обсуждаться на семинарах и совещаниях с участием широкого круга специалистов нашей организации и корпорации. В установленной в предприятии организационной структуре инициатором таких обсуждений должен выступать Научно-образовательный центр, а организатором — отдел научно-технической информации.

4. Целесообразно развивать сотрудничество ОАО «Российские космические системы» с институтами РАН, Минсельхоза, Минприроды и МЧС в интеграционном ключе для достижения конкретных результатов, например, по метрологическому обеспечению, валидации аппаратуры и данных ДЗЗ при целевом мониторинге отдельных отраслей экономики.

Приоритетность направлений научных исследований диктуют время и реальное состояние научно-технического потенциала нашей организации. Общеизвестным главным достижением научной и конструкторской мысли ОАО «Российские космические системы» является ГЛОНАСС. Соответственно на разработку тематики спутниковой навигации направлено большинство НИИОКР, проводимых подразделениями нашей организации. Помимо этого, имеются значительные достижения в разработках бортовых и наземных комплексов управления космическими аппаратами, систем телеметрии, а также приемопередающей аппаратуры связи и ретрансляции. Анализ вопросов организации НИР по данным направлениям представляет для организации чрезвычайный интерес. Однако это выходит за рамки настоящей работы.

Сегодня чрезвычайную актуальность приобрела задача разработки технологий производства качественной электронной компонентной базы для космических систем. Решение данной задачи открывает перед космической отраслью наиболее эффективный путь к решению проблемы импортозамещения, остро стоящей перед отечественной радиоэлектронной промышленностью. И в этом важном вопросе одну из ведущих ролей может сыграть Завод ракетно-космического приборостроения, входящий в состав ОАО «Российские космические системы», история которого насчитывает более 70 лет. Завод обладает уникальными технологиями и традициями создания высококачественных приборов для приемопередающей, телеметрической, вычислительной аппаратуры космических аппаратов и наземных пунктов управления.

О проблемных вопросах в этих и других направлениях деятельности нашей организации будем говорить в следующих работах.

Подготовка инженерных и научных кадров

В последнее время Правительство Российской Федерации всерьез озаботилось проблемой подготовки профессиональных кадров для космической промышленности, результатом решения которой стал ряд мер и нормативных документов по созданию современной системы вузовской и послевузовской подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров.

В течение 2013 г. Федеральное космическое агентство (Роскосмос) совместно с Министерством образования и науки создало консорциум из 33 вузов, которые занимаются подготовкой кадров для отрасли. Туда вошли представители 17 крупнейших предприятий Роскосмоса, Минобрнауки, Российской академии наук [4].

Для нашей организации подготовку инженерно-технических кадров осуществляют ведущие вузы страны: МГУ, МФТИ, МГТУ им. Н. Э. Баумана, МАИ, МАТИ, ГУЗ и некоторые другие.

Задача подготовки научных кадров в основном решается собственными силами в рамках заочной аспирантуры. Как показывает практика, эффективность работы аспирантуры на предприятиях значительно ниже, чем в вузах и институтах РАН. Причина, на наш взгляд, заключается в формальном подходе к аттестации аспирантов, сдаче кандидатских и вступительных экзаменов, научному руководству аспирантами, в организации работы самой аспирантуры как структурной единицы: в частности, отсутствии ее взаимодействия с научно-техническим и диссертационным советами, методической помощи аспирантам в подготовке и защите диссертаций.

Важное значение в подготовке кадров для наукоемких предприятий, к каковым, несомненно, относится и наша корпорация, имеет развитие сотрудничества с вузами [5]. Цель проекта кооперации вузов и производственных предприятий — повышение эффективности подготовки кадров в российских высших учебных заведениях: развитие научной и образовательной деятельности в российских вузах, с одной стороны, и стимулирование использования производственными предпри-

ятиями потенциала высших учебных заведений для развития наукоемкого производства — с другой, что в сумме сводится к стимулированию инновационной деятельности в российской экономике.

В Минобрнауки России недавно состоялось совещание по вопросу участия образовательных организаций высшего образования в конкурсе на поддержку программ подготовки кадров для оборонно-промышленного комплекса: «Новые кадры оборонно-промышленного комплекса (ОПК)». Государственные подходы к формированию программ подготовки кадров для ОПК представил в своем выступлении директор Департамента государственной политики в сфере высшего образования Александр Соболев [6]. В конкурсе участвуют проекты в двух номинациях: проекты по целевому обучению студентов по образовательным программам высшего и среднего образования с дальнейшим трудоустройством в организациях ОПК и проекты по инфраструктурному обеспечению целевого обучения на базовых кафедрах.

В содружестве с вузами можно решить ряд существующих проблем в области подготовки кадров для космической отрасли.

1. Совершенствование системы послевузовского профессионального образования решается путем восстановления престижа научно-педагогического работника, закрепления молодежи в сфере науки и образования, укрепления и совершенствования материально-технической базы, оптимизации контрольных цифр приема в аспирантуру и докторантуру исходя из анализа эффективности работы данных структур в каждом отдельно взятом вузе или НИИ.

Вполне обоснованными представляются ожидания государства, когда, финансируя обучение граждан, оно будет преследовать в первую очередь свои интересы, а именно: обеспеченность организаций бюджетной сферы и предприятий высококвалифицированным персоналом в необходимом количестве и оптимизацию бюджетных средств, направленных на обучение [7].

Как известно, 1 марта 2013 г. в Роскосмосе было подписано Соглашение о сотрудничестве и совместной деятельности в области формирования современной эффективной системы подготовки квалифицированных кадров для ракетно-космической

промышленности [8], которое подразумевает создание Космического научно-образовательного инновационного консорциума. В Соглашении определены векторы реализации образовательных программ по направлениям и специальностям космического профиля.

2. Существовавшая ранее практика организации научно-образовательных центров на базе корпораций не приносила желаемой отдачи, поскольку организация учебного процесса на качественном уровне занимает значительную часть рабочего времени и ресурсов организации, требует определенного уровня квалификации сотрудников, занятых в реализации учебного процесса. В вузах же есть штатный квалифицированный профессорско-преподавательский персонал, технически оснащенные учебные аудитории, укомплектованный библиотечный фонд, а корпорации располагают, как правило, опытными научными кадрами и местами для научно-производственных практик студентов.

Интересен опыт создания на базе университета совместного с предприятием научно-образовательного центра. Летом 2013 г. подписан договор между Томским политехническим университетом и ракетно-космической корпорацией «Энергия» о создании очередного центра [9], в котором будут готовить кадры высшей квалификации для космической отрасли по программам магистратуры и аспирантуры. РКК «Энергия» создала три таких центра совместно с ведущими вузами страны: МФТИ, МИФИ и МГТУ им. Н.Э. Баумана.

3. В вузовском и бизнес-сообществе давно считают, что необходимо уходить от целевой подготовки кадров для отрасли и переходить к целевой контрактной подготовке. Таким образом, предприятие получает минимум на 3 года (срок действия контракта) подготовленного инженера, вуз имеет заказ на подготовку специалистов от предприятия, а выпускник — гарантированное место работы и социальные преференции от работодателя.

4. Дополнительное профессиональное образование рассматривается во всем мире, в том числе и в России, как составная часть системы непрерывного образования. Сфера непрерывного образования ориентирована на тесную связь с изменениями в реальном секторе экономики, с производством и непроизводственной сферой и с удовлетвори-

ем потребностей личности, общества и государства в непрерывном и постоянно обновляющемся образовании.

Понятие «непрерывное образование» ранее не было законодательно определено. Новый закон «Об образовании в Российской Федерации» № 273-ФЗ [10] в ст. 10 дает определение непрерывному образованию как образованию, получаемому посредством реализации основных образовательных программ и различных дополнительных образовательных программ, предоставляет возможность одновременного освоения нескольких образовательных программ, а также осуществляет учет при получении нового образования уже имеющихся образования, квалификации и опыта практической деятельности личности. Соответственно кадровый потенциал космической отрасли должен непременно находиться в системе обновляющегося, непрерывного образования.

Обучение по программам дополнительного профессионального образования — повышения квалификации и переподготовки кадров — может успешно вестись на местах, без отрыва от производства. Программы обучения кратко- и среднесрочные, имеют конкретную направленность и вполне могут быть реализованы силами сотрудников корпораций, в сочетании с дистанционным обучением. Вступивший в силу с 1 сентября 2013 г. закон «Об образовании» содержит ряд нововведений, облегчающих реализацию программ ДПО на предприятиях и организациях в части продолжительности обучения, отсутствия обязательной государственной аккредитации программ, а также определяет в качестве операторов обучения как образовательные организации, так и организации, осуществляющие обучение.

Вышеупомянутым законом предусмотрена сетевая форма реализации образовательных программ, которая обеспечивает возможность освоения образовательной программы с использованием ресурсов нескольких организаций, осуществляющих образовательную деятельность, в том числе иностранных, а также при необходимости с использованием ресурсов иных организаций (ст. 15 № 273-ФЗ). В законе закреплена реализация образовательных программ с применением электронного обучения и дистанционных образовательных

технологий (ст. 16 № 273-ФЗ). Ожидается, что указанные формы обучения существенно упростят и удешевят получаемое образование.

5. Без взаимодействия с промышленным сообществом вуз не в состоянии спрогнозировать изменения конъюнктуры рынков труда и вектор образовательных услуг. Не случайно ведущие технические университеты в последние годы разработали программы партнерства с предприятиями, ориентированные на совместную подготовку специалистов.

Создание базовых кафедр — проверенный и заслуживающий внимания способ подготовки кадров для нужд отрасли. Закон об образовании позволяет создавать на предприятиях кафедры профильных вузов. Туда должны быть вынесены часы дисциплин образовательного процесса, связанные с изучением конкретных технологий, а также прохождение производственной практики. Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 6 марта 2013 г. № 159 «Об утверждении порядка создания образовательными организациями, реализующими образовательные программы высшего образования, в научных организациях и иных организациях, осуществляющих научную (научно-исследовательскую) деятельность, кафедр, осуществляющих образовательную деятельность». Порядок адаптирован под новый закон «Об образовании» и вступил в силу с 1 сентября 2013 г.

В качестве примера можно привести сотрудничество концерна «Радиоэлектронные технологии» с 24 ведущими техническими вузами страны, которые реализуют совместно 45 программ подготовки кадров для космической отрасли [11].

6. Положительный опыт обучения сотрудников путем создания корпоративных университетов демонстрируют уже не первый год крупные российские компании: ОАО «РЖД», ОАО «Газпром», ОАО «Сбербанк РФ», Группа компаний «Аэрофлот», АПХ «Мираторг», горно-металлургическая компания «Норильский никель», ОКБ Сухого, «Ростелеком», «Северсталь», Группа компаний «Волга–Днепр», ОАО НК «РуссНефть», «Росатом» и другие.

Многие холдинги сотрудничают с известными российскими университетами в плане не только обучения работников, но и развития науки. Например, недавно между госкорпорацией «Росатом»

и Минобрнауки РФ был подписан лицензионный договор на предоставление права использования технологий системы управления знаниями «Росатома» для безвозмездного распространения и использования в вузах России.

В рамках Указа о создании Объединенной ракетно-космической корпорации [12] возможное создание корпоративного университета целесообразно рассматривать как систему обучения, выстроенную в рамках корпоративной идеологии на основе единой концепции и методологии, охватывающей все уровни руководителей и специалистов конкретной отрасли. Направления деятельности университета могут быть сформированы в зависимости от задач и потребностей корпорации. Например:

- формирование и подготовка кадрового резерва;
- подготовка управленческого персонала;
- переподготовка и повышение квалификации специалистов, развитие и внедрение инновационных образовательных технологий;
- подготовка отраслевых кадров по программам высшего профессионального образования;
- подготовка научных кадров и формирование научных школ;
- разработка профессиональных стандартов работников космической отрасли.

Безусловно, создание корпоративного университета потребует на начальном этапе значительных вложений.

В заключение стоит отметить, что сегодня России необходима национальная стратегия подготовки кадров для высокотехнологичных отраслей, включающая переподготовку кадров для модернизации предприятий, подготовку научно-педагогических кадров мирового класса, а также подготовку рабочих, специалистов и научных работников профильных специальностей в системе непрерывного образования.

Обозначим, на взгляд авторов, подходящие для ОАО «Российские космические системы» направления организации образовательной и научной деятельности в целях подготовки кадров для отрасли:

- сотрудничество с учебными заведениями через создание базовых кафедр в профильных вузах;

- контрактная подготовка специалистов;
- подготовка научных кадров в аспирантуре и докторантуре.

В будущем в организационном плане реализация задачи видится в создании (объединении существующих учебных центров) корпоративного университета для предприятий холдинга. Целевая аудитория — сотрудники предприятия или отрасли. Стратегия обучения должна быть единая и ориентирована на стратегию развития персонала как главного ресурса предприятия. Формат обучения можно выбрать среди перечисленных в законе «Об образовании в Российской Федерации» форм обучения.

Излишне уточнять, что корпоративный университет должен работать в кооперации с ведущими российскими и зарубежными университетами.

Список литературы

1. Проект концепции Федеральной космической программы России и Федеральной космической программы России на 2016–2025 годы [электронный ресурс]. <http://www.federalspace.ru/115/>. Дата обращения 11.09.2014.
2. Шутко А. М. СВЧ-радиометрия водной поверхности и почвогрунтов. М.: Наука, 1985. 215 с.
3. Язерян Г. Г. Мониторинг состояния водохозяйственных систем методом СВЧ-радиометрии (на примере орошаемых рисовых полей Кубани). Автореферат дисс...к. т. н. М.: ИВП РАН, 2000.
4. Состоялось подписание Соглашения о создании научно-образовательного консорциума [электронный ресурс]. <http://www.federalspace.ru/19395/>. Дата обращения 14.08.2014.
5. Постановление Правительства РФ №218 от 9 апреля 2010 г. «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».
6. Организациям ОПК и вузам разъяснили условия участия в конкурсе на поддержку программ подготовки новых кадров [электронный ресурс]. <http://минобрнауки.рф>. Дата обращения 2.09.2014.
7. Римская О. Н., Кранбихлер В. С., Чичелев М. Е. и др. Приоритеты и риски исполнения государственного задания на подготовку специалистов для современной экономики // Вестник науки Сибири. Электронное научное издание. Экономика и менеджмент, 2013, № 1(7), с. 195–201.
8. Соглашение о сотрудничестве и совместной деятельности в области формирования современной эффективной системы подготовки квалифицированных кадров для ракетно-космической промышленности [электронный ресурс]. <http://www.federalspace.ru/441/>. Дата обращения 14.09.2014.
9. В ТПУ будут готовить специалистов для ведущего ракетно-космического концерна [электронный ресурс]. http://www.akvobr.ru/spetsialistoi_dlya_raketnokosmicheskogo_kontserna.html. Дата обращения 17.08.2014.
10. Федеральный закон №273-ФЗ от 29.12.2012 г. «Об образовании в Российской Федерации». СПС «Консультант+».
11. Концерном заключены соглашения о сотрудничестве с 24 вузами [электронный ресурс]. <http://kret.com/ru/careers/program/3389/>. Дата обращения 10.07.2014.
12. Указ Президента РФ от 02.12.2013 г. № 874 «О системе управления ракетно-космической отраслью». СПС «Консультант+».

УДК 528.88:504

Возможности приема и обработки данных ДЗЗ в Консорциуме УНИГЕО

О. В. Бекренев¹, А. К. Гончаров², Л. А. Гришанцева³, К. С. Емельянов⁴, Б. С. Жуков⁵,
А. В. Никитин⁶, Л. И. Пермитина⁷, И. В. Полянский⁸, А. С. Рождественский⁹

¹начальник сектора, НЦ ОМЗ ОАО «Российские космические системы»

²к. т. н., начальник отдела, НЦ ОМЗ ОАО «Российские космические системы»

³к. ф.-м. н., старший научный сотрудник, НЦ ОМЗ ОАО «Российские космические системы»

⁴начальник отдела, НЦ ОМЗ ОАО «Российские космические системы»

⁵старший научный сотрудник, Институт космических исследований РАН

⁶к. т. н., старший научный сотрудник, Институт космических исследований РАН

⁷к. т. н., начальник сектора, НЦ ОМЗ ОАО «Российские космические системы»

⁸главный конструктор проекта, Институт космических исследований РАН

⁹главный специалист, НЦ ОМЗ ОАО «Российские космические системы»

e-mail: grishantseva_la@ntsomz.ru

Аннотация. Научным центром оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ) ОАО «Российские космические системы» — оператором российских космических средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) высшим учебным заведениям России предоставлена возможность приема данных, получаемых комплексом многозональной спутниковой съемки (КМСС) космического аппарата (КА) «Метеор-М» № 1 на станции участников Консорциума УНИГЕО.

Ключевые слова: ДЗЗ, КА, КК, УНИГЕО, КМСС, потоковая обработка

Earth Remote Sensing Data Acquisition and Processing Capabilities of the Consortium UNIGEO

O. V. Bekrenev¹, A. K. Goncharov², L. A. Grishantseva³, K. S. Emelyanov⁴, B. S. Zhukov⁵,
A. V. Nikitin⁶, L. I. Permitina⁷, I. V. Polyansky⁸, A. S. Rozhdestvensky⁹

¹head of section, Nts OMZ of Joint Stock Company "Russian Space Systems"

²candidate of engineering sciences, head of department,
Nts OMZ of Joint Stock Company "Russian Space Systems"

³candidate of physical and mathematical sciences, senior staff scientist,
Nts OMZ of Joint Stock Company "Russian Space Systems"

⁴head of department, Nts OMZ of Joint Stock Company "Russian Space Systems"

⁵senior staff scientist, Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences (IKI RAN)

⁶candidate of engineering sciences, senior staff scientist,
Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences (IKI RAN)

⁷candidate of engineering sciences, head of section,
Nts OMZ of Joint Stock Company "Russian Space Systems"

⁸senior constructor of project, Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences (IKI RAN)

⁹senior staff specialist, Nts OMZ of Joint Stock Company "Russian Space Systems"

e-mail: grishantseva_la@ntsomz.ru

Abstract. The Research Center for Earth Operative Monitoring (NTs OMZ) of JSC "Russian Space Systems" — an Operator of the Russian remote sensing space systems provided the universities of Russia with the possibility of receiving the data from the Multispectral Scanning Imaging System (KMSS) on board the Meteor-M1 spacecraft by the station of the UNIGEO Consortium participants.

Key words: remote sensing, spacecraft, UNIGEO, KMSS, flow processing

Консорциум «Университетские геопорталы» (УНИГЕО) создан в апреле 2011 г. на базе четырех российских вузов с целью интеграции интеллектуальных ресурсов и передовых технологий в областях ДЗЗ и геоинформатики для повышения качества образования и обеспечения открытого доступа общества к новым знаниям в этих областях [1]. В настоящее время участниками консорциума являются более 20 вузов, имеющих центры космического мониторинга, в том числе: Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ БелГУ), Южный федеральный университет (ЮФУ), Пермский государственный национальный исследовательский университет (ПГНИУ), Алтайский государственный университет (АлтГУ), Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ) и другие [2]. Координирующую роль в консорциуме играет ИТЦ «СканЭкс», который является поставщиком аппаратного и программного обеспечения для приема и обработки данных ДЗЗ.

Среди задач консорциума можно выделить следующие [1]:

- координация и организация взаимодействия высших учебных заведений России по использованию и развитию современных технологий космического ДЗЗ и геоинформатики в образовании, науке, промышленности и управлении развитием регионов;
- создание единой университетской сети Центров космического мониторинга на основе геопорталов;
- разработка образовательных программ подготовки высококвалифицированных специалистов, повышение квалификации и переподготовки кадров в области ДЗЗ и геоинформатики.

С целью решения этих задач в полном объеме необходимо обеспечить свободный доступ к космической информации ДЗЗ, который до недавнего времени был возможен только для информации с зарубежных космических аппаратов типа NOAA, Terra/Aqua.

27 марта 2013 г. руководством Федерального космического агентства (Роскосмос) приня-

то решение о предоставлении доступа участникам консорциума УНИГЕО к данным, получаемым с отечественных космических аппаратов, в частности к данным среднего разрешения КМСС, функционирующего на космическом аппарате «Метеор-М» №1 [3]. Ответственным за реализацию доступа к данным определен оператор российских космических средств ДЗЗ — НЦ ОМЗ ОАО «Российские космические системы». Использование данных КМСС позволяет получать информацию о состоянии окружающей среды на региональном уровне, проводить оценку последствий чрезвычайных ситуаций (наводнения, лесные пожары и др.), оценивать состояние растительного покрова и т. д.

Аппаратура КМСС состоит из трех многозональных сканирующих устройств (МСУ): двух МСУ-100 и одного МСУ-50, использующих в качестве приемника излучения линейные приборы зарядовой связи (ПЗС), содержащие 7926 активных элементарных детекторов размером 7 мкм [4]. МСУ-100 предназначены для исследования поверхности суши и обладают следующими характеристиками: фокусное расстояние объектива 100 мм, пространственное разрешение 60 м, угол поля зрения 30°, спектральные каналы: 0,535–0,575; 0,630–0,680; 0,760–0,900 мкм. МСУ-50 предназначено для исследования океана и обладает следующими характеристиками: фокусное расстояние объектива 50 мм, пространственное разрешение 120 м, угол поля зрения 60°, спектральные каналы: 0,370–0,450; 0,450–0,510; 0,580–0,690 мкм. Два прибора МСУ-100 развернуты поперек трассы полета и в сумме обеспечивают примерно такое же поле зрения, как и МСУ-50, — порядка 900 км.

В НЦ ОМЗ разработана и успешно применяется система потоковой обработки данных КМСС. Под потоковой обработкой имеется в виду автоматический процесс, который выполняется на одном сервере или параллельно на нескольких серверах под управлением и контролем технологической системы и не требует участия оператора. Результатом обработки являются данные уровня «1В» (по классификации CEOS), т. е. геометрически и радиометрически скорректированные, географически привязанные данные. Кроме того, в системе формируются метаданные, характеризующие весь сеанс

измерений, и обзорные изображения (просмотровые формы) с разрешением 1000 м (рис. 1, 2).

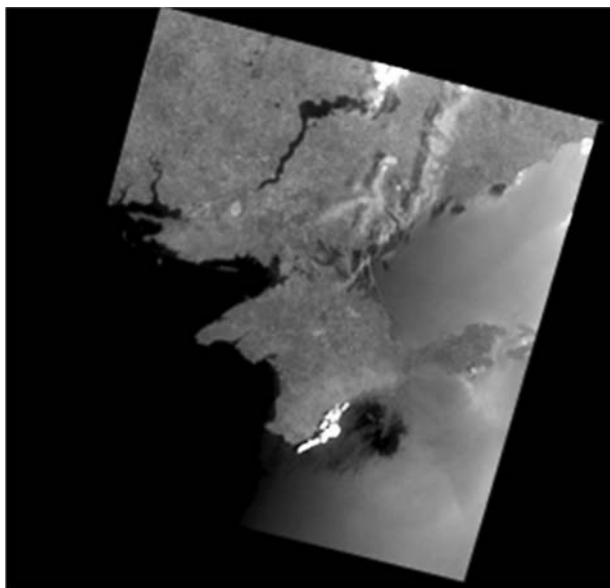


Рис. 1. П-ов Крым. Пример обзорного изображения, полученного КМСС КА «Метеор-М» № 1

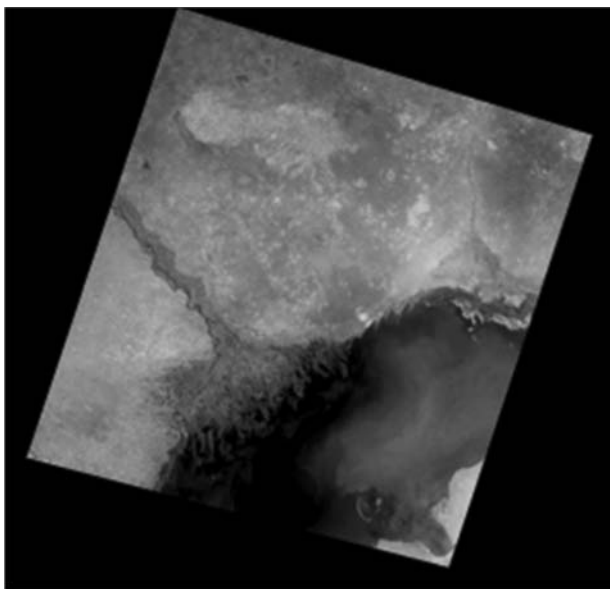


Рис. 2. Дельта Волги. Пример обзорного изображения, полученного КМСС КА «Метеор-М» № 1

Разработанное в НЦ ОМЗ специализированное программное обеспечение (СПО) потоковой обработки обеспечивает выполнение следующих задач:

- автоматическое распределение исходных данных с приемного комплекса на серверы обра-

ботки в соответствии с заранее заданными критериями;

- распаковку исходных данных, фильтрацию, исправление ошибок и формирование так называемых приборных файлов;

- вычисление и аппроксимацию элементов внешнего ориентирования для приборной системы координат МСУ в системе координат WGS-84, формирование навигационных файлов;

- выделение данных КМСС из приборного файла, разбиение на кадры таким образом, чтобы с номинальной высоты полета космического аппарата 832 км обеспечивался примерно равный линейный размер кадра в метрах вдоль и поперек направления полета;

- выполнение радиометрической и геометрической коррекции с использованием коэффициентов, уточняемых в процессе периодически проводимых полетных калибровок, а также географической координатной привязки видеоинформации по сформированным навигационным данным;

- геометрическое совмещение зональных данных в кадре на заданной географической сетке по навигационным данным, формирование совмещенных трансформированных в картографическую проекцию Universal Transverse Mercator (UTM) или в полярную стереографическую проекцию в зависимости от широты съемки данных в бинарном формате с заголовочным файлом в ENVI Standard и обзорных изображений в формате JPEG с разрешением 1000 м;

- формирование файлов метаданных для каждого кадра;

- каталогизацию, автоматическую упаковку и отправку обработанных данных уровня «1В» в систему хранения.

Предусмотрена возможность представления результатов обработки в единицах яркости или коэффициента яркости, а также проведения атмосферной коррекции по выбранной одной из двух априорных стандартных моделей атмосферы (зимней или летней) по требованию пользователя. Поскольку обработка проводится автоматически, требования потребителей выставляются заранее и далее распространяются на все обрабатываемые маршруты.

Разработанное СПО потоковой обработки является универсальным и предназначено для обеспечения обработки маршрутов съемки КМСС любого из КА космического комплекса (КК) «Метеор-ЗМ». В настоящее время осуществляется обработка видеоданных КМСС с функционирующего КА «Метеор-М» № 1.

В рамках технологии потоковой обработки географическая привязка видеoinформации КМСС, как правило, проводится на основе обработки результатов прямых измерений местоположения и ориентации КА, содержащихся в выходном кадре аппаратуры бортового комплекса координатно-временного обеспечения (ККВО). Данный комплекс содержит аппаратуру спутниковой навигации АСН-М-М, которая осуществляет прием радиосигналов СНС GPS и ГЛОНАСС и их обработку, определяя привязку к всемирному координированному времени положения центра масс КА и его вектора скорости в геоцентрической гринвичской системе координат. В комплекс также входит прибор астроориентации БОКЗ-М, предназначенный для высокоточного определения по изображениям произвольных участков небесной сферы инерциальной трехосной ориентации КА (т. е. ориентации КА относительно инерциальной системы координат в каждый момент времени).

К сожалению, ККВО КА «Метеор-М» № 1 работает в тестовом режиме и не на всех маршрутах обеспечивает наличие качественной навигационной информации. В этом случае для геометрического совмещения зональных изображений и географической привязки маршрута автоматически используются общедоступные баллистические данные NORAD (North American Aerospace Defense Command), в которых отсутствует информация об ориентации КА в момент съемки.

Опыт эксплуатации разработанной технологии показал, что автоматическая географическая координатная привязка по независимым орбитальным данным NORAD дает погрешности порядка 10 км, ошибка в геометрическом совмещении зональных изображений — около 5 км. Использование информации о пространственном положении центра масс КА и угловой ориентации осей КА, получаемой от БОКЗ, уменьшает погрешности автоматической привязки до величины порядка 1,5 км

(точность совмещения зональных изображений при этом — 0,2–0,5 км). Необходимо отметить, что указанные ошибки геопривязки возникают в основном из-за погрешности привязки видеоданных к сетке времени КА [5]. На следующем КА «Метеор-М» № 2 привязка видеоданных КМСС к сетке времени будет производиться на аппаратном уровне, что позволяет надеяться на получение точности геопривязки порядка одного пиксела.

Получаемые для КА «Метеор-М» № 1 погрешности геопривязки не позволяют выполнять ортопроектификацию и приводят к необходимости выполнять в интерактивном режиме дополнительную трудоемкую операцию по уточнению географической привязки маршрута по опорным точкам местности перед целевым использованием информации КМСС.

Программный комплекс потоковой обработки разработан таким образом, что может работать как на мощных серверах, так и на обычных персональных компьютерах, обладающих следующими характеристиками:

- процессор с характеристиками не хуже Intel Pentium IV;
- оперативная память объемом не менее 2 Гбайт;
- объем жесткого диска не менее 100 Гбайт.

На аппаратных средствах с вышеперечисленными характеристиками каждый маршрут обрабатывается порядка 30 мин и требует 2 Гбайт оперативной памяти и 10 Гбайт на жестком диске.

До установки программного комплекса на компьютере должно быть установлено следующее ПО:

- ОС Windows версии XP или 7;
- СУБД Firebird 2.0 или 2.5;
- архиватор WinRAR (версия 3.0 или следующие) или 7-ZIP (версия 9.2);
- Adobe Reader 11.0.0.

Для обеспечения работы вузов по обработке информации КМСС специалистами НЦ ОМЗ проведена доработка программного обеспечения в части распаковки форматов информации с приемных комплексов УНИСКАН. В связи с тем, что формат записи транспортного потока космических данных на антенных комплексах вузов и антенных комплексах НЦ ОМЗ различается, создана

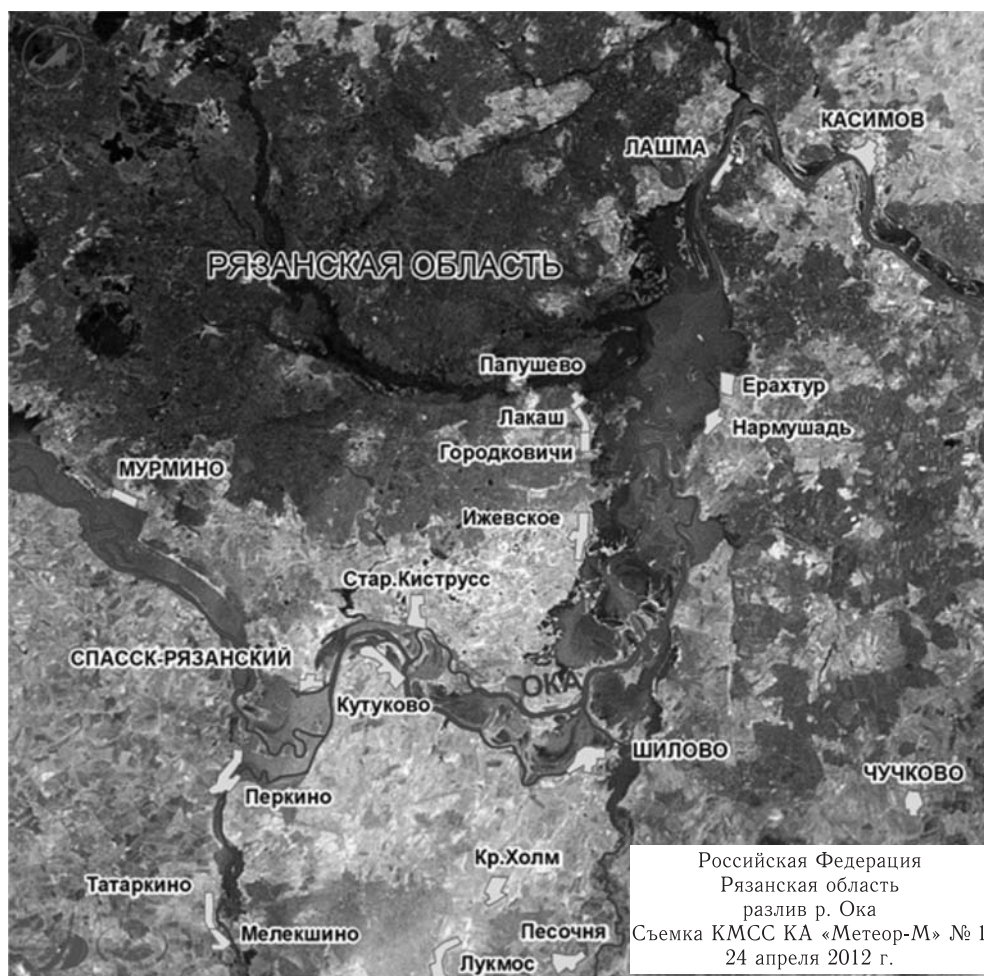


Рис. 3. Весенний разлив реки Ока

специальная программа-конвертер для согласования форматов. Особенность этой программы — то, что в процессе конвертации программа сама определяет датчик (МСУ-100-1, МСУ-100-2 или МСУ-50), информация которого упакована в зарегистрированном файле. При обработке информации в НЦ ОМЗ сведения о датчике известны заранее.

Для обеспечения входящих в консорциум вузов возможностью приема и обработки данных КМСС предлагается заключить с НЦ ОМЗ безвозмездный договор на информационное обслуживание, а также лицензионный договор о предоставлении права использования программы для ЭВМ [6].

Вузы, заключившие такие договоры с НЦ ОМЗ, регулярно обеспечиваются информацией о предстоящих сеансах приема данных КА «Метеор-М» № 1. Обеспечивается также техни-

ческая поддержка СПО. Специалисты НЦ ОМЗ удаленно настраивают СПО при предоставлении им соответствующего доступа, а также предоставляют консультационные услуги по требованию потребителя.

По состоянию на июль 2014 г. к информации аппаратуры КМСС получили доступ девять университетов:

- Саратовский государственный университет;
- Сибирский федеральный университет, г. Красноярск;
- Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону;
- Сибирский государственный аэрокосмический университет, г. Красноярск;

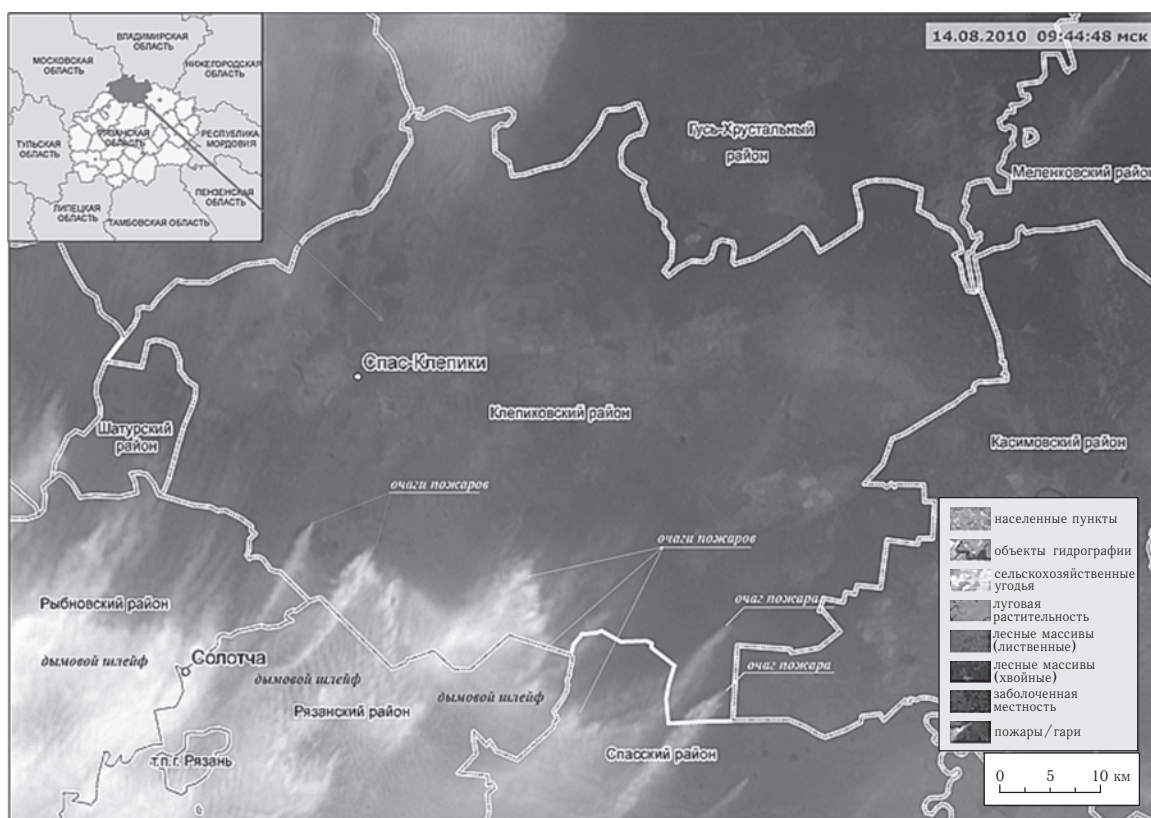


Рис. 4. Мониторинг пожаров в Рязанской области

- Уральский федеральный университет им. Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург;
- Алтайский государственный университет, г. Барнаул;
- Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения;
- Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники;
- Пермский государственный национально-исследовательский университет.

Центр космического мониторинга Земли (ЦКМЗ) Томского государственного университета одним из первых начал принимать данные с российского спутника «Метеор-М» № 1 [7]. По мнению директора ЦКМЗ А. А. Скугарева, для территории Западной Сибири, многие районы которой являются малонаселенными и труднодоступными, применение данных ДЗЗ необходимо как для принятия стратегических управленческих решений, так и для выполнения текущих задач, например, мониторин-

га речных наводнений (рис. 3) или обнаружения очагов лесных пожаров и оценке гарей (рис. 4). Причем оцениваемая стоимость таких работ демонстрирует преимущество космического мониторинга перед другими, традиционными, с использованием специальных наземных исследований, вертолетных облетов [7].

Учитывая возможности получения участниками УНИГЕО с большой периодичностью материалов съемки КМСС, уже на начальном этапе их свободного доступа к российским данным среднего разрешения можно ожидать повышения эффективности решения ряда геоинформационных и аналитических задач космического мониторинга как регионального, так и федерального уровня.

В дальнейшем планируется осуществлять обновление СПО с целью обеспечения обработки информации КМСС, получаемой от вводимых в эксплуатацию новых КА из состава КК «Метеор-3М».

В условиях эффективно развивающейся орбитальной группировки российских КА ДЗЗ

и с учетом накопленного участниками УНИГЕО опыта работы с информацией среднего разрешения следует ожидать, что на следующем этапе будут предприняты соответствующие шаги и проведены мероприятия по обеспечению участникам консорциума свободного доступа к необходимой информации ДЗЗ высокого разрешения.

Список литературы

1. УНИГЕО. Консорциум [электронный ресурс]. <http://unigeo.ru/page/about>. Дата обращения 05.06.2014.
2. УНИГЕО. Участники [электронный ресурс]. <http://unigeo.ru/participant>. Дата обращения 05.06.2014.
3. Южный федеральный университет. Ученые ЮФУ получают информацию с российского спутника «Метеор-М» № 1 [электронный ресурс]. [http://sfedu.ru/www/sfedu\\$news\\$.show_full?p_nws_id=44990](http://sfedu.ru/www/sfedu$news$.show_full?p_nws_id=44990). Дата обращения 05.06.2014.
4. Аванесов Г. А., Полянский И. В., Жуков Б. С. и др. Комплекс многозональной спутниковой съемки на борту КА «Метеор-М» № 1: три года на орбите // Исследование Земли из космоса. М.: ИКИ, 2013. № 2.
5. Кондратьева Т. В., Никитин А. В., Полянский И. В. Точность координатной привязки видеоданных камер МСУ-100/50 КА «Метеор-М» № 1 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М.: ИКИ, 2013, т. 10, № 3.
6. Научный центр оперативного мониторинга Земли. О возможности приема информации с КА «Метеор-М» № 1 на станции участников УНИГЕО [электронный ресурс]. http://www.ntsomz.ru/news/news_center/news_20130425. Дата обращения 05.06.2014.
7. ТУСУР / Новости / 2014 год / Апрель / Центр космического мониторинга Земли ТУСУРа первым за Уралом начал принимать данные с российского спутника «Метеор-М» № 1 [электронный ресурс]. <http://www.tusur.ru/ru/news/index.html&path=2014/04/46.html>. Дата обращения 05.06.2014.

УДК 629.7.05

Прототип экспертной диагностической системы поиска и коррекции скачков в безразностных фазовых измерениях

В. В. Бетанов¹, В. К. Ларин², З. А. Позяева³

¹д. т. н., проф., ОАО «Российские космические системы»

²к. т. н., ОАО «Российские космические системы»

³инженер, ОАО «Российские космические системы»

e-mail: betanov_vv@spacecorp.ru

Аннотация. Рассмотрены основные принципы обнаружения и коррекции скачков в безразностных фазовых измерениях, реализованные в аппаратно-программном комплексе (АПК) уточнения эфемеридно-временной информации (ЭВИ) ГНСС. Представлен демонстрационный прототип экспертной диагностической системы (ЭДС) для соответствующего программного модуля. Использование ЭДС позволяет повысить качество измерительной информации при формировании ЭВИ. Сделан вывод о возможности использования разработанной концепции ЭДС для АПК.

Ключевые слова: экспертная диагностическая система, предварительная обработка фазовых измерений, скачки фазовых циклов

The Prototype of an Expert Diagnostic System for Cycle Slip Detection and Correction

V. V. Betanov¹, V. K. Larin², Z. A. Pozyaeva³

¹doctor of engineering science, professor, Joint Stock Company "Russian Space Systems"

²candidate of engineering science, Joint Stock Company "Russian Space Systems"

³engineer, Joint Stock Company "Russian Space Systems"

e-mail: betanov_vv@spacecorp.ru

Abstract. This paper reviews the basic principles of cycle slip detection and correction, implemented in the GNSS hardware-software complex of ephemeris and time data refinement. The demonstration prototype of expert diagnostic system (EDS) for the corresponding software module is represented. Using the EDS allows to improve the quality of measurement information used in the formation of ephemeris and time data. The conclusion about the possibility of using EDS for the hardware-software complex is done.

Key words: expert diagnostic system, phase measurements pre-processing, cycle slips

Обработка траекторных измерений ГНСС и формирование эфемеридно-временной информации (ЭВИ) — сложный процесс, выполнение которого обеспечивается аппаратно-программным комплексом (АПК) уточнения ЭВИ [1]. В соответствии с требованиями к оперативности, точности и целостности формируемой ЭВИ сбои, возникающие при эксплуатации АПК, необходимо локализовать и устранять по возможности в кратчайшие сроки. Одним из инструментов для решения этой проблемы может выступать экспертная диагностическая система поиска и устранения ошибок и дефектов АПК (далее ЭкДС).

Ввиду объема и сложности АПК создание ЭкДС, обеспечивающей, по крайней мере, относительно полное покрытие возможных ошибок, дефектов и сбоев, является нетривиальной и чрезвычайно трудоемкой задачей. В связи с этим при разработке ЭкДС представляется удобным использовать концепцию быстрого прототипа, т.е. сначала разработать прототип, решающий некоторый узкий круг задач и подтверждающий целесообразность применения экспертных систем в заданной предметной области.

Как показано в [1], анализ функционирования АПК удобно выполнять, рассматривая АПК как совокупность отдельных составляющих. Одним из основных функциональных элементов АПК является предварительная обработка (ПРО) траекторных измерений, в том числе поиск и коррекция пропусков фазовых циклов («скачков») в безразностных фазовых измерениях, реализованных в виде отдельного программного модуля.

В данной статье приводится описание прототипа экспертной диагностической системы для программного модуля поиска и коррекции скачков в безразностных фазовых измерениях.

1. Описание предметной области

Одним из условий, необходимых для корректного использования фазовых (точнее псевдофазовых) измерений, является непрерывность приема радиосигналов от наблюдаемого спутника. На практике, в силу различных причин, может произойти нарушение приема и потеря счета

целого числа фазовых циклов в фазоизмерительном устройстве. Такие пропуски фазовых циклов, называемые «скачками», должны быть выявлены, количественно оценены и скорректированы, т.е. должны быть внесены соответствующие поправки в фазовые измерения.

Существуют различные методы, позволяющие выявлять и/или корректировать скачки в фазовых измерениях. В программном модуле поиска и коррекции скачков в безразностных фазовых измерениях (далее ПМ) реализована проверка сеансов измерений текущих навигационных параметров (ИТНП), основанная на совместном использовании линейных комбинаций фазовых и кодовых измерений: комбинации Melbourne–Wübbena и геометрически-свободной комбинации [2]. Под сеансом понимается набор ИТНП НКА, соответствующий временному интервалу, в течение которого НКА находится в зоне видимости приемника.

Сначала поиск скачков в измерениях выполняется независимо по комбинации Melbourne–Wübbena и геометрически-свободной комбинации. Полученные результаты сопоставляются и делается вывод о наличии или отсутствии скачка для каждой эпохи измерений сеанса. При необходимости рассчитываются предполагаемые величины скачков ΔN_1 и ΔN_2 (в фазовых циклах) по частотам f_1 и f_2 навигационного сигнала и вносятся соответствующие поправки в фазовые измерения. Кроме того, выполняется фильтрация измерений сеанса, в ходе которой из дальнейшей обработки исключаются единичные аномальные измерения. Также сами сеансы ИТНП подвергаются фильтрации по различным признакам, связанным с наличием скачков в измерениях (например, из обработки исключаются сеансы с большим количеством обнаруженных скачков, так как в этом случае велика вероятность ошибок в рассчитанных величинах ΔN_1 и ΔN_2). Обработанные таким образом сеансы ИТНП в дальнейшем служат базовой информацией для формирования ЭВИ.

Упрощенный алгоритм поиска и коррекции скачков в сеансах ИТНП представлен на рис. 1.

С точки зрения программной реализации ПМ представляет собой отдельный класс, содержащий функцию обработки сеансов ИТНП с проверкой на скачки, вызываемую для каждого сеанса ИТНП

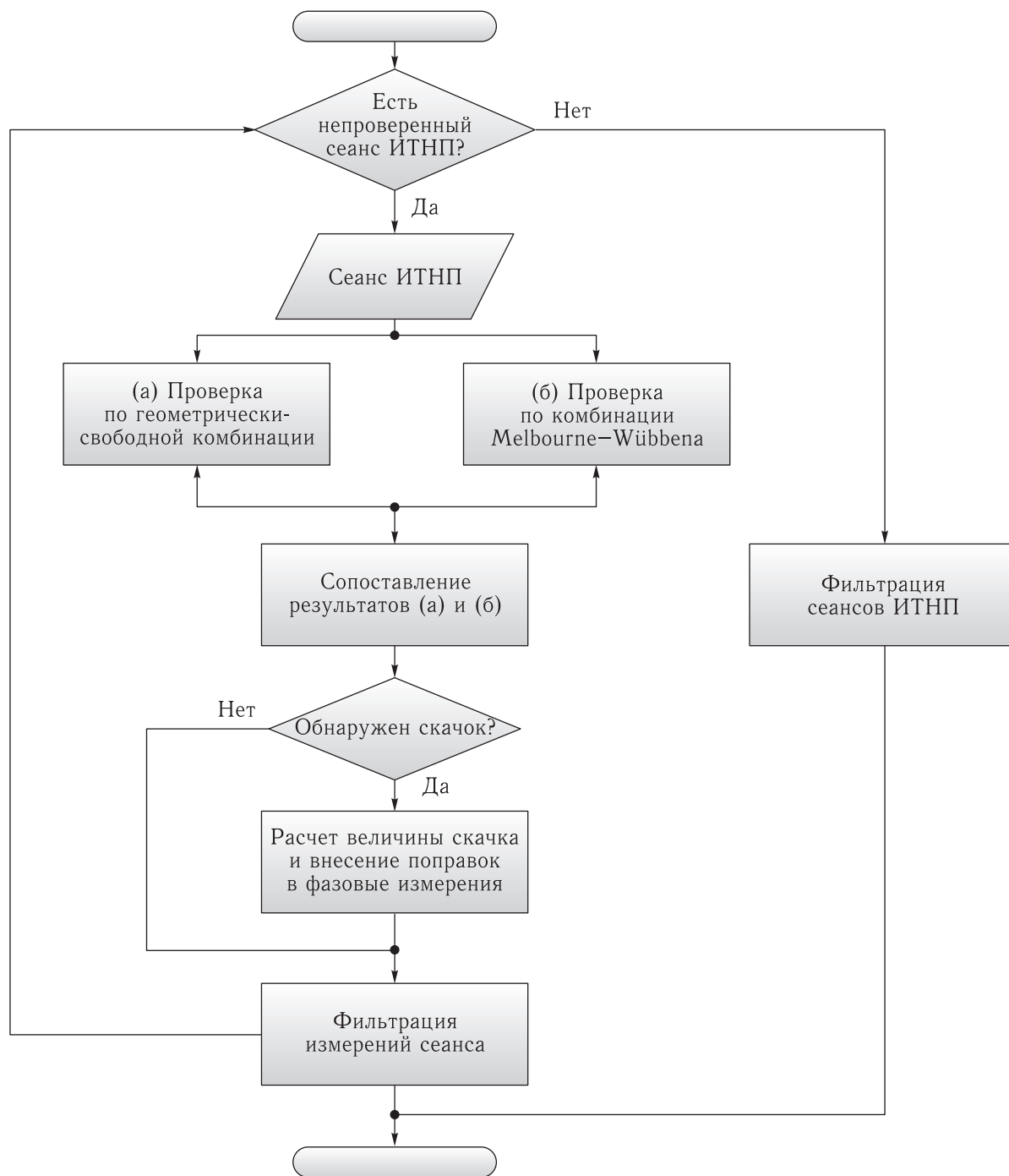


Рис. 1. Упрощенный алгоритм поиска и коррекции скачков

из основного обработчика ПРО. Входными данными являются непосредственно сеансы ИТНП, а также служебная информация (технические характеристики НКА, глобальные константы и т. п.) и настраиваемые пороговые значения для алгорит-

мов поиска скачков и фильтрации измерений и сеансов (загружаются из конфигурационного файла и/или базы данных). Выходные данные — те же сеансы ИТНП, но с внесенными в фазовые измерения поправками на скачки и установленными

Таблица 1. Возможные причины неудовлетворительного функционирования программного модуля поиска и коррекции скачков в безразностных фазовых измерениях

Тип обеспечения	Возможные причины неудовлетворительного функционирования ПМ
Алгоритмическое обеспечение	1. Ограничения используемых комбинаций 1.1 Комбинация Melbourne–Wübbena: 1.1.1 Величины скачков (в фазовых циклах) по двум частотам имеют близкие значения: $\Delta N_1 \approx \Delta N_2$ 1.1.2 Сильный шум кодовых измерений 1.2 Геометрически-свободная комбинация: 1.2.1 Отношение величин скачков (в циклах) по двум частотам близко к отношению соответствующих частот: $\Delta N_1 / \Delta N_2 \approx f_1 / f_2$ 2. Малые скачки (1–10 фазовых циклов) 3. Недостаточное количество измерений в сеансе перед скачком (не хватает для накопления статистики) 4. Высокая дискретность измерений (или длительное отсутствие измерений внутри сеанса)
Программное обеспечение	1. Ошибки в циклах 2. Проблемы с указателями 3. Невыполненная очистка массивов 4. Опечатки в коде программы
Информационное обеспечение	1. Некорректность настраиваемых параметров (в том числе пороговых значений для работы алгоритмов) 2. Некорректность входных сеансов ИТНП (в том числе структуры их представления) 3. Некорректность используемой служебной информации (технические данные НКА (частоты f_1 и f_2), скорость света и т. п.)

Экспликация к таблице 1:

ΔN_1 (ΔN_2) — величина скачка (в фазовых циклах) на частоте f_1 (f_2) навигационного сигнала;
 ИТНП — измерения текущих навигационных параметров.

по необходимости признаками аномальности (как для отдельных измерений, так и для целых сеансов ИТНП).

В случае удовлетворительного функционирования ПМ выходные неаномальные сеансы должны не содержать скачков (соответствующие измерения должны быть скорректированы или забракованы), а среди аномальных не должно быть ложно забракованных сеансов.

Во многих случаях с помощью описанных действий удастся обнаружить и скорректировать скачки в фазовых измерениях или хотя бы локализовать скачки и забраковать соответствующие измерения (или сеансы измерений), чтобы исключить их дальнейшее использование в формировании ЭВИ. Однако методы, основанные на применении комбинации Melbourne–Wübbena и геометрически-свободной комбинации, имеют ограничения, из-за

которых при определенных условиях нельзя гарантировать обнаружение и коррекцию скачков [2]. Кроме того, нельзя исключать возможность наличия ошибок, допущенных при программной реализации алгоритмов поиска и коррекции скачков и фильтрации измерений и сеансов, а также возможность использования некорректной входной (по отношению к ПМ) информации.

В табл. 1 представлены возможные причины неудовлетворительного функционирования ПМ с точки зрения различных видов обеспечения АПК, описанных в [1].

Необнаруженные, обнаруженные, но неисправленные скачки, а также «ложные срабатывания» (т.е. обнаружение и «псевдоисправление» несуществующего на самом деле скачка) понижают качество и нарушают целостность измерительной информации, непосредственно используемой

при формировании ЭВИ, и соответственно приводят к ухудшению характеристик ЭВИ. В связи с этим необходимо контролировать получаемые с помощью ПМ результаты и при необходимости локализовывать и устранять ошибки, дефекты и сбои ПМ в минимальные сроки.

2. Концепция экспертной диагностической системы поиска и коррекции скачков

Разработанный прототип ЭкДС ПМ позволяет сделать вывод о корректности каждого из контрольных сеансов ИТНП и рекомендации по поводу дальнейшей обработки сеансов. При выявлении некорректности одного или нескольких контрольных сеансов ЭкДС выдает заключение об ошибке — предполагаемой причине неправильного функционирования ПМ — и по возможности предлагает способ устранения этой ошибки.

Возможные рекомендации о дальнейшей обработке сеанса:

- сеанс нормальный (использовать при формировании ЭВИ);
- забраковать (исключить из обработки) сеанс;
- забраковать (исключить из обработки) отдельные группы измерений сеанса;
- забраковать (исключить из обработки) отдельные измерения сеанса («выбросы»).

Ядро ЭкДС составляют база знаний, рабочая память и машина логического вывода. В рассматриваемом случае база знаний будет содержать правила, с помощью которых можно получить одно из представленных выше заключений, долгосрочные факты, описывающие предметную область (например, пороговые значения для комбинации Melbourne–Wübbena и геометрически-свободной комбинации), а также некоторые процедуры и функции, реализующие оптимизационные и расчетные алгоритмы. В рабочую память должны поступать данные, описывающие рассматриваемые сеансы ИТНП, т. е. различные параметры этих сеансов. Данные из рабочей памяти являются базовой информацией для машины логического вывода, которая анализирует их и решает, какие правила

из базы знаний должны быть использованы для получения заключения.

База знаний, в соответствии с табл. 1, включает 3 составляющих: база, соответствующая ограничениям комбинаций (алгоритмическому обеспечению); база, соответствующая входным сеансам и настройкам (информационному обеспечению); база, соответствующая возможным программным ошибкам (программному обеспечению).

3. Программная реализация прототипа экспертной диагностической системы

Реализация демонстрационного прототипа ЭкДС [3] представляет собой программу на языке программирования CLIPS (версия 6.30) [6, 7], интегрированную в разработанное приложение на языке C++ с графическим интерфейсом. CLIPS является наиболее часто используемым средством разработки экспертных систем продукционного типа. Для организации интерфейса между C++ и CLIPS использована библиотека clipstmm [8]. Исходные данные загружаются в рабочую память из соответствующих таблиц базы данных под управлением СУБД PostgreSQL и файлового архива, используемых АПК. Для обмена данными между приложением с графическим интерфейсом и интегрированным в него ядром CLIPS применяется подход, основанный на использовании специального пакета глобальных переменных [5]. Схема организации прототипа ЭкДС с точки зрения программной реализации представлена на рис. 2.

База знаний представляет собой файл с расширением «.clp», содержащий набор правил, а также объявление глобальных переменных, шаблонов и фактов, инициализирующих базу знаний. Библиотека clipstmm позволяет выполнять добавление фактов, получать текущие значения глобальных переменных CLIPS и т. п. с помощью объектов и функций, написанных на C++. Программа с графическим интерфейсом обеспечивает удобный и простой для пользователя режим функционирования экспертной системы. Кроме того, имеются дополнительные (по отношению к ЭкДС)



Рис. 2. Организация прототипа ЭКДС с точки зрения программной реализации

возможности, например, просмотр графиков исследуемых сеансов ИТНП. База данных и файловый архив содержат исходные данные для работы ЭКДС: сами ИТНП, характеристики сеансов ИТНП, служебную информацию, текущие значения настраиваемых параметров АПК и т. д.

Как сказано выше, базовой информацией для ЭКДС ПМ являются результаты предварительной обработки траекторных измерений (ПРО): сеансы ИТНП, прошедшие фильтрацию по различным признакам и проверку на скачки безразностных фазовых измерений. Соответствующие данные представлены в виде таблиц БД «seans_table» и «itnp_table». Из этих таблиц в соответствии с запросами пользователя информация загружается в рабочую память в виде «неупорядоченных фактов» (шаблонов).

Рассмотрим пример функционирования экспертной диагностической системы поиска и устранения ошибок и дефектов ПМ. Имеется сеанс измерений текущих навигационных параметров, в котором обнаружен, но не устранен один скачок. Некоторые параметры исследуемого сеанса представлены в табл. 2.

Диагностика с помощью ЭКДС программного модуля поиска и коррекции скачков в безразностных фазовых измерениях приводит к следующему результату (рис. 3): «Рекомендуется исключить из обработки первые 173 эпохи измерений».

Выполним проверку полученного результата. На рис. 4 представлены графики геометрически-

Таблица 2. Некоторые параметры исследуемого сеанса

Номер НКА	12
ГНСС	ГЛОНАСС
Идентификатор приемника	Mend
Номер сеанса	587
Общее количество измерений сеанса	675
Количество аномальных измерений	138
Количество обнаруженных скачков	1
Количество исправленных скачков	0
Дата и время начала сеанса	16.09.2013 05:11:44

свободной комбинации (а) и комбинации Melbourne–Wübbena (б) для исследуемого сеанса, построенные с помощью вспомогательного приложения. Светлым показан график комбинации до проверки на скачки и внесения поправок в фазовые измерения в ПМ, полужирным — после проверки. Видим, что внесенные в фазовые измерения поправки оказались некорректными: хотя график комбинации Melbourne–Wübbena демонстрирует исправленный скачок, для геометрически-свободной комбинации кривые «до» и «после» проверки совпали.

Исходя из особенностей геометрически-свободной комбинации можно сделать вывод, что внесенные поправки по двум частотам относятся друг к другу как f_1/f_2 (для ГЛОНАСС $f_1/f_2 = 9/7$), что в данном случае неправильно: если бы это

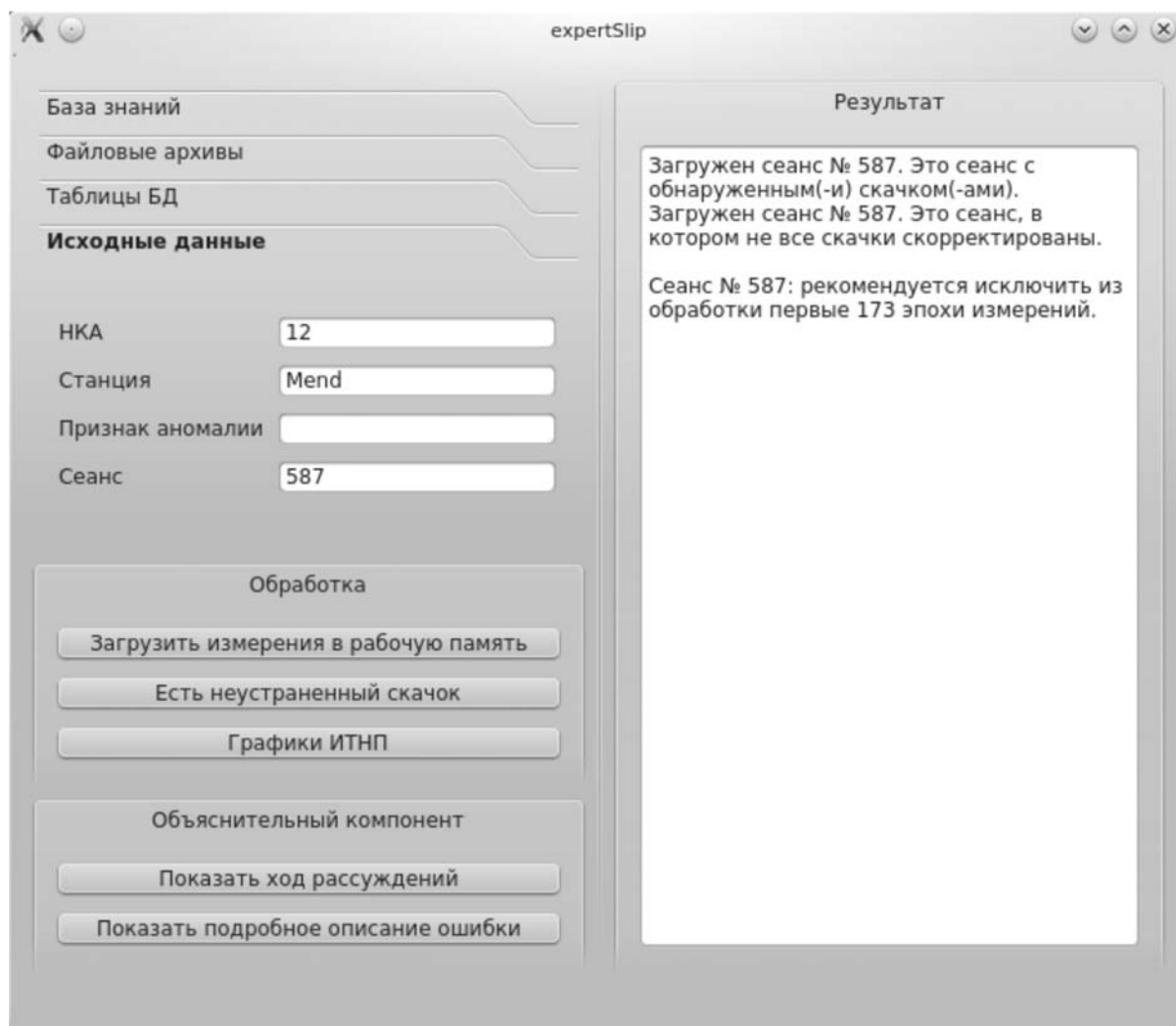


Рис. 3. Результат диагностики исследуемого сеанса с помощью разработанной программы

условие выполнялось, на графике геометрически-свободной комбинации нельзя было бы «увидеть» соответствующий скачок. Так как в исследуемом сеансе имеется только один неисправленный скачок, делящий сеанс на две неравные «гладкие» части, самым простым решением является оставить для дальнейшей обработки только наиболее длительную по времени часть сеанса. Это решение и было получено с помощью ЭкДС.

Конечно, подобный вывод можно сделать и без применения ЭкДС путем визуальной проверки соответствующих графиков. Очевидно, что визуальная проверка и коррекция результатов «вручную» является неприемлемой для АПК, практически непрерывно обрабатывающего огромные

объемы данных. В то же время традиционное математическое моделирование не может обеспечить гарантированного отсутствия пропущенных или нескорректированных скачков в связи с шумом в траекторных измерениях, эмпирически подобранными пороговыми значениями (для проверки геометрически-свободной комбинации и комбинации Melbourne–Wübbena) и ограничениями самих алгоритмов, поэтому для эффективного решения этой задачи целесообразно использовать ЭкДС.

Заключение

1. Представленный прототип экспертной диагностической системы поиска и устранения ошибок

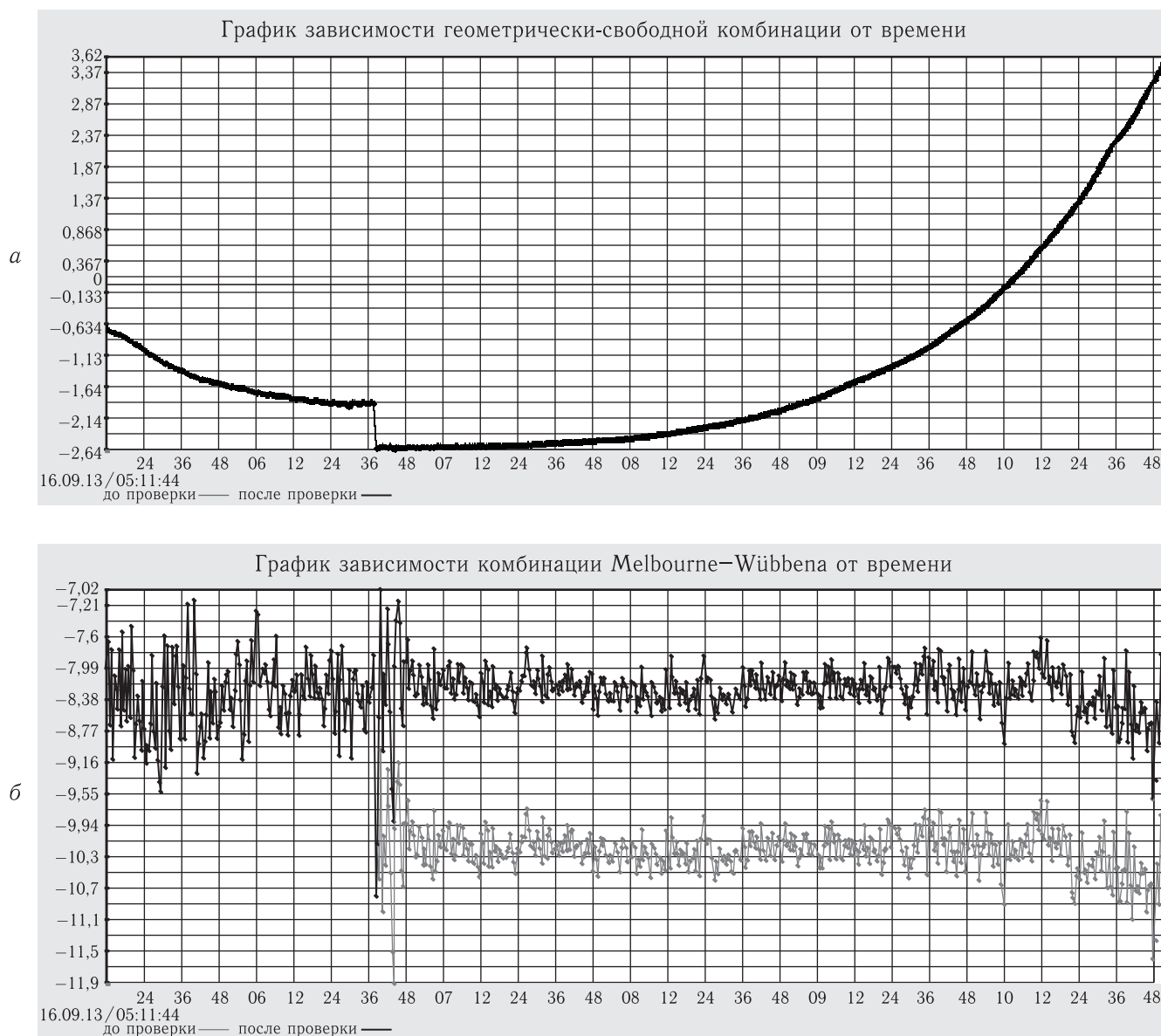


Рис. 4. Графики комбинаций безразностных фазовых измерений исследуемого сеанса

и дефектов ПМ позволяет выполнять диагностику функционирования программного модуля поиска и коррекции скачков в безразностных фазовых измерениях и выдавать рекомендации о возможности использования соответствующей измерительной информации в формировании ЭВИ.

2. Информация о функционировании программного модуля поиска и коррекции скачков в безразностных фазовых измерениях, полученная с помощью экспертной диагностической системы, задает направления для дальнейшего совершенствования

аппаратно-программного комплекса уточнения эфемеридно-временной информации. Кроме того, ЭкДС может использоваться при тестировании новых версий ПМ.

3. Рассмотренный прототип ЭкДС позволяет сделать вывод о целесообразности и пригодности использования разработанной концепции ЭкДС для других составляющих АПК.

4. Предложенная технология разработки прототипа ЭкДС (структура, выбранный язык CLIPS, интерфейс) позволяет легко реализовывать

более сложные экспертные диагностические системы.

5. Основной задачей дальнейшей работы остается формирование онтологии и заполнение базы знаний, охватывающей функционирование АПК в целом.

Список литературы

1. Бетанов В.В., Ларин В.К., Позяева З.А. К вопросу анализа причин возникновения сбоев в аппаратно-программном комплексе уточнения эфемеридно-временной информации ГНСС // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2014. Т. 1. Вып. 1. С. 55–60.
2. <http://www.navipedia.net/> Дата обращения 30.06.2014.
3. Частиков А.П., Гаврилова Т.А., Белов Д.Л. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS. СПб.: БХВ-Петербург, 2003.
4. Джарратано Дж., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование, 4-е изд. М.: ИД «Вильямс», 2007.
5. Доровский С.В. Интеграция CLIPS в экспертную систему производственного типа // Программные продукты и системы, 2011. № 3. С. 61–64. <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=2813>. Дата обращения 26.06.2014.
6. CLIPS Reference Manual, Volume I, Basic Programming Guide // CLIPS: A tool for building expert systems. <http://clipsrules.sourceforge.net/documentation/v630/bpg.htm>. Дата обращения 23.06.2014.
7. CLIPS Reference Manual, Volume II, Advanced Programming Guide // CLIPS: A tool for building expert systems. <http://clipsrules.sourceforge.net/documentation/v630/apg.htm>. Дата обращения 23.06.2014.
8. Clipsmm — C++ CLIPS Interface Library. <http://clipsmm.sourceforge.net/> Дата обращения 23.06.2014.

УДК 629.783

Об использовании возможностей ГЛОНАСС для создания социально-ориентированной навигационно-информационной системы «Социальный ГЛОНАСС»

Ю. Б. Дорофеев¹, С. В. Матвеев², Е. О. Романов³

¹к. т. н, доцент, ведущий научный сотрудник, ОАО «Российские космические системы»

²к. т. н, зам. начальника отдела, ОАО «Российские космические системы»

³начальник отделения, ОАО «Российские космические системы»

e-mail: ¹dorov56@yandex.ru, ²smatveev@mailru.ru

Аннотация. В статье представлены основные принципы построения и основные функции системы «Социальный ГЛОНАСС», являющейся системой персонализированной навигационно-информационной поддержки и экстренной помощи лицам с инвалидностью, а также социально слабозащищенным гражданам. Показаны облик, состав, содержание и принципы создания подсистем, базовых элементов и технических средств данной системы.

Ключевые слова: безбарьерная среда, навигационно-информационная поддержка, навигационное устройство, персональное устройство, специализированный информационно-технический центр

About the Use of GLONASS for the Creation of the Community-Oriented Navigation and Information System “Social GLONASS”

Yu. B. Dorofeev¹, S. V. Matveev², E. O. Romanov³

¹candidate of engineering sciences, associate prof., Joint Stock Company “Russian Space Systems”

²candidate of engineering sciences, deputy of chief of department,
Joint Stock Company “Russian Space Systems”

³chief of department, Joint Stock Company “Russian Space Systems”

e-mail: ¹dorov56@yandex.ru, ²smatveev@mailru.ru

Abstract. In article the basic principles of creation and basic functions of system «Social GLONASS», by being system of the personalized navigation information support and the emergency help to persons with disability, and also to socially slabozechishchenny citizens are provided.

At the same time shows the shape, structure, content and principles of the subsystems, the basic elements and equipment of the system.

Key words: a barrier-free the environment, navigatsionno-information support, the navigation device, the personal device, specialized information technology center

Введение

В настоящее время в результате выполнения федеральной целевой программы «Глобальная навигационная система» в период 2002–2010 гг. создана система ГЛОНАСС, которая обеспечивает глобальную непрерывную навигацию. При этом по таким характеристикам как надежность системы, доступность ее навигационного поля, точность и оперативность навигационных определений ГЛОНАСС сопоставима с американской системой GPS.

В настоящее время созданы необходимые предпосылки для массового использования системы ГЛОНАСС гражданскими потребителями.

Уже сейчас одни из наиболее массовых областей применения системы ГЛОНАСС — навигация и мониторинг транспорта. Современные системы мониторинга и управления транспортом позволяют снижать затраты на перевозку людей и грузов, экономить топливо, оптимизировать логистику, уменьшать выбросы в атмосферу — вместе это дает значительный экономический эффект.

Важнейшей областью применения ГЛОНАСС должно стать использование ее навигационных и инновационных возможностей при создании и внедрении социально-ориентированных информационных систем, обеспечивающих комплексную персонализированную информационную поддержку инвалидов и социально слабозащищенных граждан [1].

Проект «Социальный ГЛОНАСС» направлен на обеспечение дополнительной безопасности и улучшения качества жизни граждан за счет повышения уровня оказания социальных услуг и социального обеспечения населения Российской Федерации [2].

Основная цель проекта — повышение качества жизни инвалидов [3] через развитие безбарьерной техносферы с использованием современных информационных и навигационных технологий.

Задачами, стоящими перед создаваемой системой «Социальный ГЛОНАСС», являются;

- создание условий для реализации социальных стандартов в жизни лиц с инвалидностью;

- вовлечение лиц с инвалидностью в производственные процессы, создание дополнительных рабочих мест;

- обеспечение персонализированной информационной поддержки лиц с инвалидностью путем применения новейших навигационных и телекоммуникационных технологий;

- создание социальной сети для лиц с инвалидностью.

Использование навигационных сигналов ГЛОНАСС позволяет определить основополагающие параметры (местоположение, время, скорость и направление движения), которые будут применяться для решения задач в рамках проекта «Социальный ГЛОНАСС».

Принцип работы системы информационной поддержки инвалидизированного населения, создаваемой в рамках проекта «Социальный ГЛОНАСС», в упрощенном виде предполагается следующим.

Навигационные сигналы ГЛОНАСС принимаются персональными устройствами (ПУ), использование высокоточного навигационного поля позволяет осуществить точное определение местонахождения лиц, применяющих ПУ.

Основными функциями данных устройств будут:

- навигационное обеспечение, прокладывание маршрута следования, ориентирование на маршруте;

- информационное обеспечение;

- предоставление необходимой информации об улицах, объектах городской инфраструктуры, общественном транспорте, магазинах и т. д.;

- автоматическое определение местоположения и передача этой информации в центр информационной поддержки;

- запрос о помощи и получение необходимой поддержки из центра.

Персональные устройства должны быть обеспечены связью с центром информационной поддержки и специализированными диспетчерскими службами по каналам сотовых или спутниковых сетей связи. В случае необходимости данная инфраструктура осуществляет предоставление информационных услуг или другой необходимой помощи инвалидам, лицам с ограниченными

возможностями, детям или любым другим пользователям, у которых будут такие персональные устройства.

При реализации проекта «Социальный ГЛОНАСС» должны быть созданы различные варианты аппаратуры пользователя, разработаны специальное программное обеспечение для такой аппаратуры, а также соответствующее программное обеспечение для центров и диспетчеров, создана система информационно-навигационной поддержки, предполагающая создание центров информационной поддержки, оказание помощи и реагирование на различных уровнях исполнительной власти.

Структура проекта

Структура реализуемого проекта по созданию системы «Социальный ГЛОНАСС» определяется разработанной на предварительном этапе подготовки и формирования материалов «картой проекта».

Основными элементами структуры проекта являются следующие задачи.

Задача 1. Разработка и решение технических и организационных вопросов создания, внедрения и эксплуатации системы «Социальный ГЛОНАСС».

Задача 2. Создание индивидуальных устройств на базе современных информационных технологий с использованием системы ГЛОНАСС для различных категорий инвалидизированных и социально слабозащищенных граждан.

Задача 3. Создание специализированных информационно-технических подсистем («Опекун», «Поводырь», «Инспектор»), информационно-аналитической подсистемы и координационно-методического центра, обеспечивающих создание безбарьерной среды для различных категорий инвалидизированных и социально слабозащищенных граждан.

Задача 4. Комплексование всех элементов системы на базе создания специализированных информационно-технических центров муниципального и регионального уровня.

При реализации проекта должно быть создано оборудование пользователя, разработаны специальное программное обеспечение, программ-

ное обеспечение для центров, программное обеспечение для диспетчеров, реализована система информационно-навигационной поддержки, предполагающая создание центров информационной поддержки, оказание помощи и реагирование на различных уровнях исполнительной власти.

Архитектура и функции системы «Социальный ГЛОНАСС»

Система «Социальный ГЛОНАСС» по своей сути является масштабной государственной социально-ориентированной информационной системой, функционирующей на региональном и муниципальном уровнях и обеспечивающей на основе современных информационно-навигационных технологий создание общероссийской «безбарьерной техносферы» для инвалидизированных и иных социально незащищенных групп населения [4].

Создаваемая система должна носить комплексный характер, что определит ее способность обеспечить инвалидам получение различных инфотелекоммуникационных услуг не только в стационарных условиях, но и при их передвижении по городу и включать основные направления, взаимно дополняющие друг друга и обеспечивающие создание как различных индивидуальных технических средств, так и организационно-объединенной комплексной технической базы и инфраструктуры, что позволит сформировать (построить) общероссийскую «безбарьерную техносферу» для инвалидизированных и иных социально незащищенных групп населения.

Необходимость обеспечения системой «Социальный ГЛОНАСС» безбарьерной среды для различных категорий инвалидизированных и социально слабозащищенных граждан определило обязательность создания специализированных информационно-технических подсистем, информационно-аналитической подсистемы и координационно-методического центра, образующих главный информационно-технический центр, а также специализированных центров оказания информационной, психологической и медицинской поддержки инвалидов.



Рис. 1. Специализированные информационно-технические подсистемы, входящие в систему «Социальный ГЛОНАСС»

Система «Социальный ГЛОНАСС» включает подсистемы, представленные на рис. 1, основные задачи которых следующие.

1. Подсистема «Поводырь» — навигационно-информационная поддержка инвалидов по зрению и людей с ослабленным зрением, основной задачей которой является позиционирование местоположения, прокладка маршрутов перемещения, оперативная информационная поддержка по ориентированию инвалидов по зрению и людей с ослабленным зрением.

2. Подсистема «Инспектор» — навигационно-информационное обеспечение безопасности детей и людей, страдающих тяжелыми клиническими заболеваниями, основной задачей которой является мониторинг местоположения, реагирование на инициированный вызов о помощи. Мониторинг транспортных средств, перевозящих детей, автоматическое информирование о местоположении и экстренное информирование о выходе за пределы зоны безопасности контролируемых подсистемой лиц.

3. Подсистема «Опекун» — навигационно-информационное обеспечение безопасности здоровья людей, находящихся в сложной жизненной ситуации, основная задача — мониторинг местоположения и медико-биологических параметров физиологического состояния, рекомендации по коррекции состояния, оповещение социальных служб и родственников об ухудшении здоровья респондента и его местоположении, вызов экстренной помощи на инициированный вызов.

Информационно-техническое и организационное обеспечение функционирования специализированных подсистем, привлекаемых линий и каналов связи, а также абонентов системы осуществляется на муниципальном и региональном уровнях с помощью информационно-технических центров, обеспечивающих выполнение нижеперечисленных функций:

- прием, регистрация и обработка вызовов абонентов центра;

- оперативное реагирование на сигнал тревоги;
- обмен данных с абонентским оборудованием;
- информационно-справочная поддержка абонента;
- мониторинг местоположения и состояния абонента;
- выявление и регистрации возможных опасных ситуаций на основе данных мониторинга;
- принятие решений и формирование плана мероприятий для устранения опасной ситуации или вызова абонента.

Главный информационно-технический центр системы «Социальный ГЛОНАСС» должен обеспечивать выполнение следующих задач:

- сбор, обработка, анализ, хранение и передача информации об обобщенных параметрах состояния и условиях безопасности различных социальных групп в регионах;
- информационная поддержка работ, выполняемых в целях подготовки и реализации мер по обеспечению эффективного функционирования информационно-технических центров регионального и муниципального уровня, локализации критических ситуаций;
- подготовка интегральных оценок (моделей) критических ситуаций, связанных с состоянием и безопасностью инвалидизированных и социально слабозащищенных граждан, оценка их возможных последствий;
- прогнозирование угроз и динамики изменения состояния и безопасности инвалидизированных и социально слабозащищенных граждан в условиях воздействия различного рода неблагоприятных факторов;
- подготовка вариантов управленческих решений по предупреждению критических ситуаций, связанных с состоянием и безопасностью инвалидизированных и социально слабозащищенных граждан;
- ведение информационных баз данных для обеспечения поддержки принятия и реализации управленческих решений для федеральных органов исполнительной власти, а также ведомств, учреждений и организаций по обеспечению безопасности граждан;

– формирование единого информационного пространства системы мониторинга состояния и безопасности инвалидизированных и социально слабозащищенных граждан на основе унификации и совместимости информационных, программных и аппаратных средств;

– информационное обеспечение реализации международных договоров и соглашений в области мониторинга состояния и безопасности инвалидизированных и социально слабозащищенных граждан, участницей которых должна стать Российская Федерация.

Таким образом, основу архитектуры системы «Социальный ГЛОНАСС» образует совокупность следующих технических систем и компонентов:

- специализированные информационно-технические подсистемы «Поводырь», «Инспектор», «Опекун»;
- информационно-технические центры оказания социальной помощи муниципального уровня (ЦПМ);
- информационно-технические центры оказания социальной помощи регионального уровня (ЦПР);
- главный информационно-технический центр системы «Социальный ГЛОНАСС»;
- привлекаемые линии и каналы связи.

Архитектура системы персонализированной навигационно-информационной поддержки и экстренной помощи инвалидам, больным и детям, реализуемой в рамках создания системы «Социальный ГЛОНАСС», в общем виде представлена на рис. 2.

Персональные устройства должны быть обеспечены связью по каналам сотовой или космической связи с центром информационной поддержки и специализированными диспетчерскими службами. В случае необходимости данная инфраструктура осуществляет предоставление информационных услуг или другой необходимой помощи инвалидам, лицам с ограниченными возможностями, детям или любым другим пользователям, которые будут применять эти персональные устройства.

Архитектура специализированных центров оказания информационной, психологической и медицинской поддержки инвалидов, образующих основу системы навигационно-информационной поддержки, показана на рис. 3.



Рис. 2. Архитектура построения системы «Социальный ГЛОНАСС»

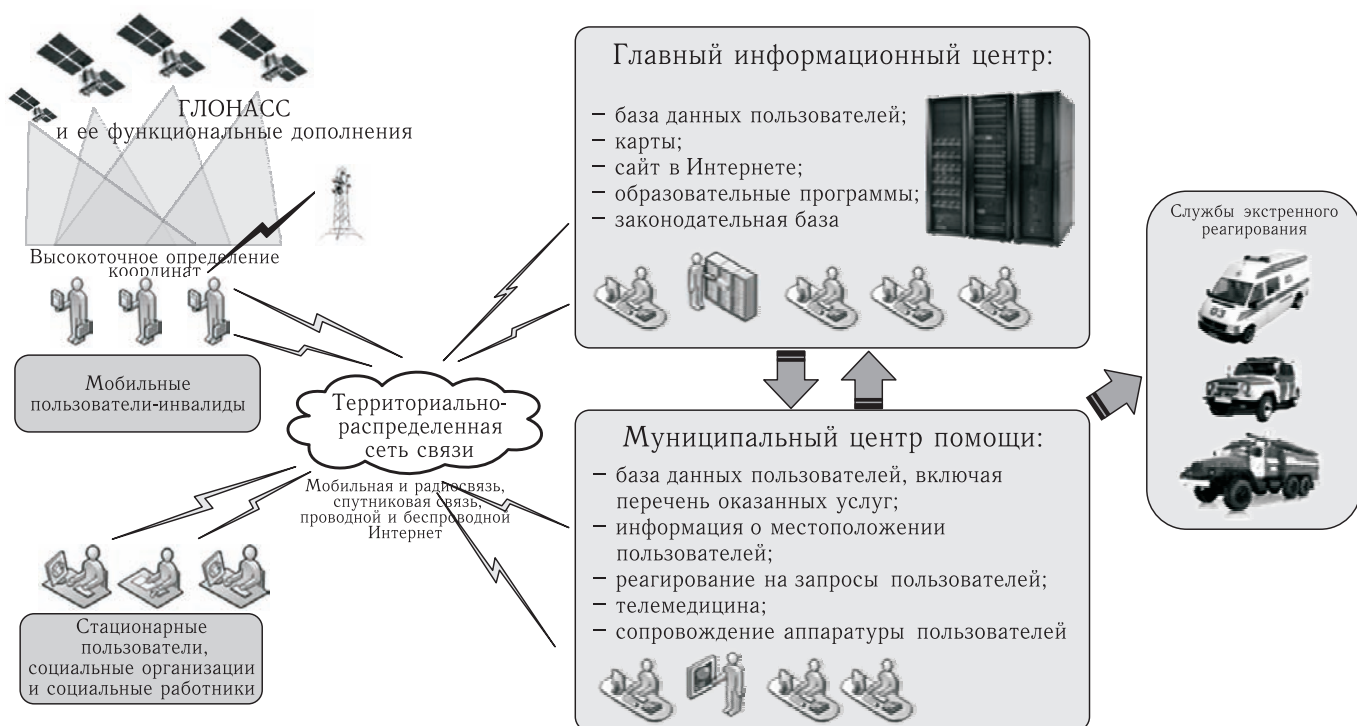


Рис. 3. Архитектура специализированных центров оказания информационной, психологической и медицинской поддержки инвалидов

Схема информационного взаимодействия в системе «Социальный ГЛОНАСС» показана на рис. 4. При рассмотрении различных каналов связи пользователей следует учитывать фактор мобильности абонента и степень владения им современными устройствами. Основным каналом взаимодействия ЦПМ и ЦПР с мобильными абонентами является сотовая связь и передаваемые текстовые сообщения (SMS). При достаточном уровне владения современными мобильными устройствами связи абонент может взаимодействовать с сотрудниками центра посредством электронной почты, а также получать необходимую информацию через Интернет-портал, реализуемый в ЦПР.

Обмен данными с абонентским оборудованием мобильного абонента осуществляется через сеть Интернет посредством сотовой связи (GPRS). Прием, обработка, а также передача данных абонентскому оборудованию обеспечивается комплексом обмена данных ЦПМ. В случае стационарного расположения пользователя, в частности имеющим право авторизованного доступа к ресурсам функциональных подсистем, основным каналом взаимодействия ЦПМ с пользователем может являться городская телефонная сеть, при этом информация от стационарного абонентского оборудования поступает в ЦПМ через сеть телефонной связи (ADSL). Пользователь может связаться с сотрудниками центра посредством электронной почты и функционалом персонального аккаунта на Интернет-портале ЦПР.

Основным каналом связи ЦПМ с пользователями и сотрудниками медицинских, социальных служб и структур МВД и МЧС является городская телефонная сеть. Взаимодействие между пользователями и сотрудниками ЦПМ также может осуществляться с помощью электронной почты и с использованием персональной учетной записи на сайте ЦПР. Взаимодействие с глобальными информационными системами хранения и анализа данных реализуется через сеть Интернет.

Функциональное взаимодействие родственников, опекунов, соседей с ЦПМ, сотрудниками медицинских и социальных служб, структурами МВД и МЧС осуществляется специализированными комплексами приема, регистрации и обработки

звонков, а также комплексом обмена данными функциональных подсистем.

Персональные устройства, используемые в системе «Социальный ГЛОНАСС», представляют собой портативный приемопередатчик (ППП).

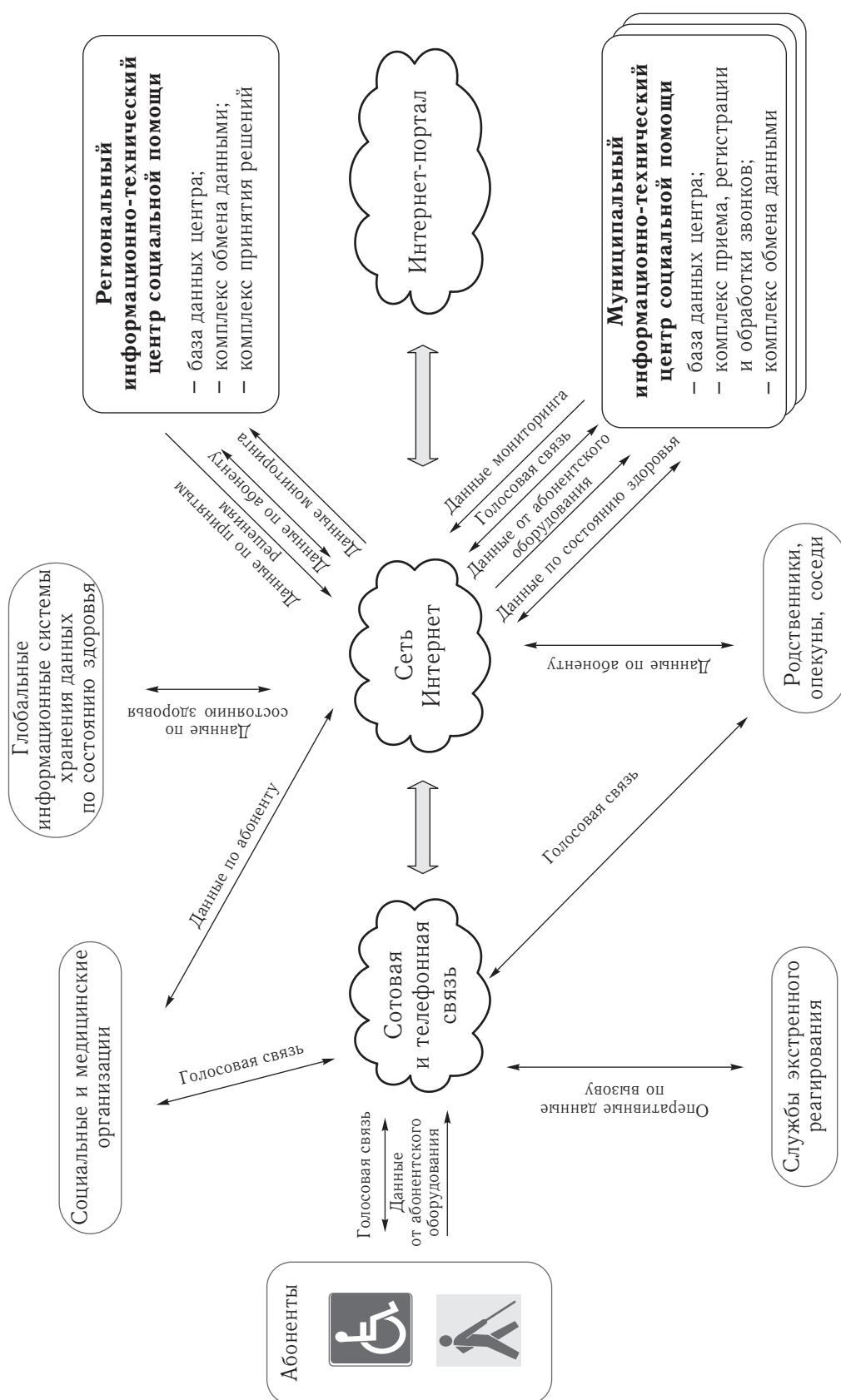
ППП содержит приемный модуль навигационной системы ГЛОНАСС/GPS и приемопередатчик для связи с ИТЦМ. Кроме обязательных (указанных выше) модулей, ППП также может содержать модули, выполняющие дополнительные функции (измерение, накопление, обработка и т. п.) в соответствии с предназначением конкретной модификации ППП (рис. 5).

Пользователи функциональных подсистем системы «Социальный ГЛОНАСС» имеют при себе постоянно включенный ППП, который, в зависимости от внутренней программы, может работать в различных режимах:

- режим определения местоположения с сохранением данных в памяти ППП;
- режим определения местоположения с последующей передачей данных в ИТЦМ через установленные промежутки времени;
- режим экстренной передачи местоположения;
- режим голосовой связи с оператором ИТЦМ в полнодуплексном режиме;
- режим использования дополнительных модулей (активируется оператором ИТЦМ);
- режим передачи данных с дополнительных модулей (по запросу оператора ИТЦМ);
- режим прослушивания.

Для осуществления режима определения местоположения с сохранением данных в памяти ППП оснащается встроенной энергонезависимой памятью типа NAND, позволяющей сохранить данные даже при отсутствии необходимого электропитания. Объем памяти рассчитывается из условий частоты записи координат и продолжительности хранения данных до момента считывания или перезаписи.

Для осуществления режима определения местоположения с последующей передачей данных в ИТЦМ через установленные промежутки времени ППП оснащается модулем приемопередатчика,



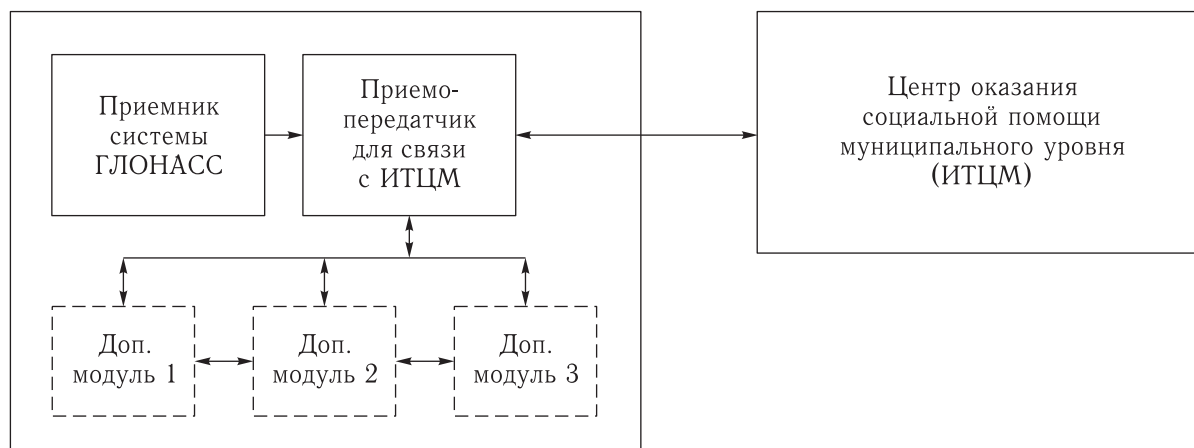


Рис. 5. Структура портативного приемопередатчика

работающим на разрешенных для данного региона частотах. В качестве канала связи для такого приемопередатчика могут быть использованы такие системы, как GSM–GPRS, Wi-Fi, 3G и LTE. Выбор данных систем основан на их широком применении, отработанной технологии связи и относительной дешевизне. Вопрос о применении конкретной системы должен быть решен на этапе разработки РКД.

Для осуществления режима экстренной передачи местоположения ППП оснащается «тревожной кнопкой», при нажатии на которую в ИТЦМ происходит передача местоположения пользователя вне зависимости от текущего режима работы ППП. При поступлении такого вызова оператор ИТЦМ может удаленно перевести ППП в «режим прослушивания». Данный режим может оказаться полезным в ситуации, когда пользователь ППП нажал «тревожную кнопку» скрытно. В зависимости от оценки ситуации оператор ИТЦМ может перевести ППП в режим постоянного мониторинга координат и передать необходимую информацию в соответствующую обстоятельствам организацию.

Для осуществления режима голосовой связи с оператором ИТЦМ в полнодуплексном режиме абонентский ППП оснащается динамиком и микрофоном. ППП не оснащается клавиатурой. Тем самым с терминала ППП возможен только вызов оператора ИТЦМ, но необходимо рассмотреть возможность вызова пользователя ППП определенным кругом людей (например, родственниками), коды доступа (номера телефонов) которых внесены

в «список доступа» конкретного ППП оператором ИТЦМ.

Для осуществления режима использования дополнительных модулей (специальные модификации ППП) пользовательский ППП оснащается унифицированными интерфейсами. К возможным дополнительным модулям могут относиться такие устройства, как цифровые термометры, тонометры, глюкометры, портативные кардиометры. Режим односторонней активации системы передачи данных с дополнительных модулей снижает нагрузку на ИТЦМ.

При использовании в качестве канала связи с ИТЦМ приемопередатчиков ближней радиосвязи появляется возможность построения локальной подсистемы с контролем перемещения на расстояние до 3 км на открытой местности.

Заключение

Предлагаемые принципы организации и функционирования социально-ориентированной навигационно-информационной системы «Социальный ГЛОНАСС» на основе использования навигационных и инновационных возможностей ГЛОНАСС позволяют осуществить создание и внедрение социально-ориентированной информационной системы, обеспечивающей комплексную персонализированную информационную поддержку инвалидов и социально слабозащищенных граждан.

В конечном счете создание подобного рода системы позволит решить основную цель проекта — повышение качества жизни инвалидов через развитие безбарьерной техносферы с использованием современных информационных и навигационных технологий.

Список литературы

1. Указ Президента РФ от 17.05.2007 г. «Об использовании глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС в интересах социально-экономического развития Российской Федерации».
2. Федеральный закон «О социальной защите инвалидов в Российской Федерации» № 181-ФЗ от 24.11.1995 г.
3. Положение о социально-экономическом мониторинге. Постановление Правительства РФ № 426 от 1.06.2000 г.
4. Конвенция о правах инвалидов. Принята резолюцией Генеральной Ассамблеи ООН от 13 декабря 2006 г. (№ 61/106).
5. *Урличич Ю.М.* Состояние и развитие системы ГЛОНАСС. Проект «Социальный ГЛОНАСС» // Информатизация и связь, 2011. № 1.