

Научно-технический журнал

РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Том 1. Выпуск 4. 2014

Содержание

Том 1, Вып. 4, 2014 Космические навигационные системы Линеаризация модели движения навигационного космического аппарата ГЛОНАСС Г. Г. Ступак, А. Е. Перьков, В. В. Бетанов 3 Алгоритм оценки полной псевдофазы сигнала в диапазонах L1 и L2 для двухчастотного приемника СРНС ГЛОНАСС В. Е. Вовасов 11 Космические системы и технологии спутникового мониторинга, поиска и спасания Оптимальное планирование наведения на КА наземных антенн среднеорбитального сегмента системы KOCΠAC-SARSAT Д.В. Антонов 17 Основные принципы использования возможностей системы КОСПАС в интересах обеспечения социальной безопасности в РФ Ю. Б. Дорофеев, С. В. Матвеев, Е. О. Романов 23 О новом подходе к получению и обработке изображений ДЗЗ, искаженных турбулентной атмосферой К. Н. Свиридов 28 Космические системы связи и ретрансляции: информационные системы космической техники Информационные технологии в современном документообороте О. Г. Блинова 37 Улучшение радиационной стойкости памяти с помощью помехоустойчивых кодов А. Н. Ершов, С. В. Петров, Ю. П. Пятошин, Д. В. Коханько, В. В. Зяблов, В. Б. Афанасьев, В. Г. Потапов, Д. К. Зигангиров 42 Оптимизация структуры программного обеспечения автоматизированной системы управления на основе методик и алгоритмов приведения прямоугольных матриц к блочному виду А. А. Уколов, В. Ю. Тышецкий 50 Наземные и бортовые комплексы управления КА и системы телеметрии Перспективные алгоритмы управления полетом космического аппарата И. Н. Пантелеймонов 57 Научно-образовательная деятельность Практика стимулирования публикационной активности в ОАО «Российские космические системы» О. А. Арутюнова, О. Н. Римская 69 Исторические события в жизни РКС О первых панорамах с поверхности Венеры А. С. Селиванов 76 Памяти К. В. ЧЕРЕВКОВА

80

А. И. Жодзишский

Contents

Vol. 1, Iss. 4, 2014

| Space Navigation Systems | |
|--|----|
| The Linearisation of the GLONASS Satellite Motion Model G. G. Stupak, A. E. Perkov, V. V. Betanov | 3 |
| Estimation Algorithm of a Full Signal Pseudophase in $L1$ and $L2$ Bands for a Two-Frequency Receiver of GLONASS System $\it V.E. Vovasov$ | 11 |
| Space Monitoring, Search and Rescue Space Systems and Technologies | |
| Optimal Satellite Tracking Scheduling Algorithm for the Medium Earth Orbit Segment of COSPAS-SARSAT D. V. Antonov | 17 |
| Basic Principles of Using the COSPAS System to Ensure Social Security in the Russian Federation Yu. B. Dorofeev, S. V. Matveev, E. O. Romanov | 23 |
| A New Approach to Obtaining and Processing Earth Remote Sensing (ERS) Images, Degraded by a Turbulent Atmosphere K. N. Sviridov | 28 |
| | |
| Space Communications and Relay Systems: Space Technology Information Systems | |
| Information Technologies in Modern Document Management O. G. Blinova | 37 |
| Improvement of Radiation Tolerant Memory through Error Correcting Codes A. N. Ershov, S. V. Petrov, Yu. P. Pyatoshin, D. V. Kokhanko, V. V. Zyablov, V. B. Afanassiev, V. G. Potapov, D. K. Zigangirov | 42 |
| Optimization of Automated Control System Software Structure on the Basis of Methods and Algorithms for Bringing Rectangular Matrices to Block Form A. A. Ukolov, V. U. Tysheckii | 50 |
| Ground and on-Board Systems of Spacecraft and Telemetry Systems | |
| Perspective Algorithms for Spacecraft Missions Control I. N. Panteleymonov | 57 |
| Research and Educational Activity | |
| The Practice of Regulating Publication Activity at Joint Stock Company «Russian Space Systems» O. A. Arytyunova, O. N. Rimskaya | 69 |
| Space Technology Information Systems | |
| First Panoramic Images of the Surface of Venus A. S. Selivanov | 76 |
| In Memory of K. V. Cherevkov A. I. Zhodzishskiy | 80 |

<u> — КОСМИЧЕСКИЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ —</u>

УДК 629.78

Линеаризация модели движения навигационного космического аппарата ГЛОНАСС

Г. Г. Ступак¹, А. Е. Перьков², В. В. Бетанов³

 1 д. т. н., проф., 2 к. т. н., 3 д. т. н., проф. OAO «Российские космические системы»

e-mail: contact@spacecorp.ru

Аннотация. Рассмотрен способ задания линеаризованной модели движения навигационного космического аппарата (НКА) ГЛОНАСС и проведена оценка ее согласованности с эталонными траекториями (апостериорными эфемеридами). Показана возможность сведения задачи оценивания траектории движения НКА на фиксированном интервале времени к линейной задаче оценки параметров движения НКА для одного момента времени.

Ключевые слова: глобальные навигационные системы (ГНС), ГЛОНАСС, GPS, линеаризация модели движения НКА

The Linearisation of the GLONASS Satellite Motion Model

G. G. Stupak¹, A. E. Perkov², V. V. Betanov³

¹doctor of engineering science, professor
 ²candidate of engineering science
 ³doctor of engineering science, professor
 Joint Stock Company "Russian Space Systems"

 $e\hbox{-}mail: contact@spacecorp.ru$

Abstract. A linearized models of GLONASS satelite movement is proposed and its matching to the reference trajectory (a posteriori ephemeris) is considered. Assessment problem of SV flight trajectory on the fixed time interval resolves into linear problem of estimation of SV motion parameters for one moment in time.

Key words: global navigation system, GLONASS, GPS, linearization of navigation satellite motion model

Обработка псевдодальномерных и псевдофазовых измерений навигационной аппаратуры потребителя (НАП) глобальных навигационных систем (ГНС) ГЛОНАСС и GPS в навигационной аппаратуре потребителя часто реализуется с помощью рекуррентных алгоритмов, основанных на методах фильтрации Калмана. Это обусловлено тем, что движение объектов и уход часов потребителя на коротких интервалах времени хорошо аппроксимируются гауссово-марковскими процессами и возможностью точной аппроксимации дальности между НКА и потребителем линейной зависимостью от разности векторов прямоугольных координат НКА и потребителя [1,2].

В части решения задач уточнения эфемеридной информации и формирования частотно-временных поправок в широкозонных функциональных дополнениях на основе обработки измерений псевдольностей и псевдофаз, получаемых аппаратурой сети наземных станций, применение методов калмановской фильтрации на первый взгляд затруднено из-за нелинейности уравнения движения НКА. Однако на основе линеаризации модели движения НКА задача оценивания его траектории движения может быть сведена к линейному оцениванию параметров движения НКА в одной точке на некотором интервале наблюдения.

Рассмотрим уравнения движения HKA ГЛОНАСС в гринвичской подвижной систекоординат рекомендуемого интерфейсного контрольного документа ГЛОНАСС [3].

$$\frac{dX}{dt} = V_x, \quad \frac{dY}{dt} = V_y, \quad \frac{dZ}{dt} = V_z,$$

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_3^2 X \\ \omega_3^2 Y \\ 0 \end{bmatrix} - \frac{\mu}{r^3} +$$

$$+ \frac{3C_{20}\mu R_3^2}{r^5} \begin{bmatrix} \left(1 - 5\frac{Z^2}{r^2}\right) \\ \left(1 - 5\frac{Z^2}{r^2}\right) \\ \left(3 - 5\frac{Z^2}{r^2}\right) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \omega_3 V_y \\ -\omega_3 V_x \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{\text{nex}} \\ a_{\text{ney}} \\ a_{\text{ney}} \end{bmatrix}$$
(1)

или

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \mathbf{X}(t) \\ \mathbf{V}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_3 \\ \mathbf{F}(\mathbf{X}(t)) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{I}_3 \\ \mathbf{L} \end{bmatrix} \cdot \mathbf{V}(t) + \begin{bmatrix} \mathbf{0}_3 \\ \mathbf{A}_{\text{nc}} \end{bmatrix}, \quad (2) \qquad \begin{bmatrix} \mathbf{X}(t_{\nu+1}) \\ \mathbf{V}(t_{\nu+1}) \end{bmatrix} = \exp \left\{ \mathbf{A}_1 \left(\widetilde{\mathbf{X}}(t_{\nu}) \right) \cdot (t_{\nu+1} - t_{\nu}) \right\} \times \mathbf{V}(t) + \mathbf{A}_{\text{nc}} \mathbf{A}_{$$

где $\mathbf{X} = [X,Y,Z]^{\mathrm{T}}$ — координаты центра масс НКА, $r = |\mathbf{X}|,~\mathbf{V} = [V_x,V_y,V_z]^{\mathrm{T}}$ — составляющие его скорости, ω_3 — угловая скорость вращения Земли, $R_{\rm 3}$ — длина большой полуоси Земли, $\mathbf{A}_{\mathsf{лc}} = \left[a_{\mathsf{лcx}}, a_{\mathsf{лcy}}, a_{\mathsf{лcz}}
ight]^{\mathrm{T}} -$ вектор лунно-солнечного ускорения, $\mathbf{0}_k$ — k-мерный нулевой вектор, $\omega_{\scriptscriptstyle 3}$ угловая скорость вращения земли, \mathbf{I}_k — единичная

матрица размером
$$k \times k$$
, $\mathbf{L} = \begin{bmatrix} 0 & \omega_3 & 0 \\ -\omega_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$.

Возможно задание более точной модели движения НКА [4], основанной на представлении составляющих лунно-солнечных ускорений в виде полинома времени некоторой (например, третьей) степени:

$$\mathbf{A}_{\pi c} = \begin{bmatrix} a_{\pi c x} \\ a_{\pi c y} \\ a_{\pi c z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{ox} + a_{1x}(t - t_b) + a_{2x}(t - t_b)^2 + a_{3x}(t - t_b)^3 \\ a_{oy} + a_{1y}(t - t_b) + a_{2y}(t - t_b)^2 + a_{3y}(t - t_b)^3 \\ a_{oz} + a_{1z}(t - t_b) + a_{2z}(t - t_b)^2 + a_{3z}(t - t_b)^3 \end{bmatrix} = \mathbf{H}(t) \mathbf{a}_{\pi c}.$$
(3)

где $\mathbf{a}_{\mathrm{лc}} = \begin{bmatrix} a_{ox}, a_{oy}, a_{oz}, a_{1x}, a_{1y}, a_{1z}, a_{2x}, a_{2y}, a_{2z}, a_{3x}, \\ a_{3y}, a_{3z} \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$ — вектор, задающий коэффициенты, а $\mathbf{H}(t)$ — матрица, задающая степени $(t-t_b)$ -полинома (3).

На основе линеаризации дифференциального уравнения (2) можно задать линейное уравнение движение НКА в дискретном времени.

Аппроксимируя на малом интервале времени $[t_{\nu}, t_{\nu+1}]$ уравнение (2) выражением

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \mathbf{X}(t) \\ \mathbf{V}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{3} \\ \mathbf{F}(\widetilde{\mathbf{X}}(t_{\nu})) - \frac{d}{d\mathbf{X}^{\mathrm{T}}} \mathbf{F}(\widetilde{\mathbf{X}}(t_{\nu})) \widetilde{\mathbf{X}}(t_{\nu}) \end{bmatrix} + \\
+ \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{I}_{3} \\ \frac{d}{d\mathbf{X}^{\mathrm{T}}} \mathbf{F}(\widetilde{\mathbf{X}}(t_{\nu})) & \mathbf{L} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{X}(t) \\ \mathbf{V}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{3} \\ \mathbf{A}_{,\mathrm{IC}} \end{bmatrix} = \\
= \mathbf{A}_{0}(\widetilde{\mathbf{X}}(t_{\nu})) + \mathbf{A}_{1}(\widetilde{\mathbf{X}}(t_{\nu})) \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{X}(t) \\ \mathbf{V}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{3} \\ \mathbf{H}(t) \mathbf{a}_{,\mathrm{IC}} \end{bmatrix}, \tag{4}$$

получим линеаризованное уравнение движения НКА в дискретном времени

$$\begin{bmatrix} \mathbf{X}(t_{\nu+1}) \\ \mathbf{V}(t_{\nu+1}) \end{bmatrix} = \exp\left\{ \mathbf{A}_1 (\widetilde{\mathbf{X}}(t_{\nu})) \cdot (t_{\nu+1} - t_{\nu}) \right\} \times$$

$$\times \begin{bmatrix} \mathbf{X}(t_{\nu}) \\ \mathbf{V}(t_{\nu}) \end{bmatrix} + \int_{t_{\nu}}^{t_{\nu+1}} \exp \left\{ \mathbf{A}_{1} \left(\widetilde{\mathbf{X}}(t_{\nu}) \right) \cdot (t_{\nu+1} - \tau) \right\} \times \left(\mathbf{A}_{0} \left(\widetilde{\mathbf{X}}(t_{\nu}) \right) + \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{3} \\ \mathbf{H}(\tau) \mathbf{a}_{\text{JC}} \end{bmatrix} \right) d\tau.$$
 (5)

В (4) $\widetilde{\mathbf{X}}(t_{\nu})$ — «априорное» значение координат НКА в момент времени t_{ν} , используемое как точка линеаризации, а под $\mathbf{a}_{\text{лс}}$ можно понимать как вектор постоянного лунно-солнечного ускорения, так и вектор коэффициентов полинома (3), $\mathbf{0}_{3\times3}$ — нулевая матрица размерностью 3×3 .

На основе (5) для любого момента времени T, принадлежащего конечному интервалу времени $[T_o,T]$, можно задать значение координат НКА как линейную функцию от значений координат, скорости НКА и лунно-солнечных ускорений (коэффициентов полинома (3)) на некоторый момент времени T_o :

$$\begin{bmatrix} \mathbf{X}(T) \\ \mathbf{V}(T) \end{bmatrix} = \mathbf{C} \left(\widetilde{\mathbf{X}} \middle| T_o \right) + \\ + \mathbf{B} \left(\widetilde{\mathbf{X}} \middle| T_o \right) \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{X}(T_o) \\ \mathbf{V}(T_o) \end{bmatrix} + \mathbf{G} \left(\widetilde{\mathbf{X}} \middle| T_o \right) \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{0}_3 \\ \mathbf{a}_{\pi c} \end{bmatrix}, \quad (6)$$
 где $\mathbf{C} \left(\widetilde{\mathbf{X}} \middle| T_o \right) -$ вектор и $\mathbf{B} \left(\widetilde{\mathbf{X}} \middle| T_o \right), \quad \mathbf{G} \left(\widetilde{\mathbf{X}} \middle| T_o \right) -$ матрицы, вычисляемые на основе заданной опорной (априорной) траектории движения НКА $\widetilde{\mathbf{X}} \middle| T_o = \\ = \left\{ \widetilde{\mathbf{X}}(T_o), \widetilde{\mathbf{X}}(T_1 = T_o + \Delta_1), \dots, \widetilde{\mathbf{X}}(T_n = T_{n-1} + \Delta_n) \right\}$ с помощью рекуррентной процедуры; $\Delta_k = T_k - T_{k-1} -$ интервал времени между k -й и $(k-1)$ -й точками опорной траектории.

При задании на интервале времени $[T_o,T]$ опорной траектории последовательностью точек $\widetilde{\mathbf{X}}(T_o),\ \widetilde{\mathbf{X}}(T_1),\ \ldots,\ \widetilde{\mathbf{X}}(T_k),\ \ldots,\ \widetilde{\mathbf{X}}(T_n)$ для моментов времени $T_o,\ T_1,\ldots,\ T_k,\ T_n$ рекуррентную процедуру вычисления $\mathbf{C}\left(\widetilde{\mathbf{X}} \middle| \begin{matrix} T \\ T_o \end{matrix}\right),\ \mathbf{B}\left(\widetilde{\mathbf{X}} \middle| \begin{matrix} T \\ T_o \end{matrix}\right)$ и $\mathbf{G}\left(\widetilde{\mathbf{X}} \middle| \begin{matrix} T \\ T_o \end{matrix}\right)$ можно задать в виде:

$$1 \leqslant k \leqslant n+1$$
,

$$\mathbf{C}\left(\widetilde{\mathbf{X}}\middle| T_{o}\right) = \int_{T_{k-1}}^{T_{k}} \exp\left\{\mathbf{A}_{1}\left(\widetilde{\mathbf{X}}(T_{k-1})\right) \cdot (T_{k} - \tau)\right\} \times \mathbf{A}_{0}\left(\widetilde{\mathbf{X}}(T_{k-1})\right) d\tau +$$

$$+ \exp\left[\mathbf{A}_{1}\left(\widetilde{\mathbf{X}}(T_{k-1})\right) \cdot (T_{k} - T_{k-1})\right] \cdot \mathbf{C}\left(\mathbf{X} \middle| \begin{matrix} T_{k-1} \\ T_{o} \end{matrix}\right),$$

$$\mathbf{B}\left(\widetilde{\mathbf{X}} \middle| \begin{matrix} T \\ T_{o} \end{matrix}\right) =$$

$$= \exp\left[\mathbf{A}_{1}\left(\widetilde{\mathbf{X}}(T_{k-1})\right) \cdot (T_{k} - T_{k-1})\right] \cdot \mathbf{B}\left(\widetilde{\mathbf{X}} \middle| \begin{matrix} T_{k-1} \\ T_{o} \end{matrix}\right),$$

$$\mathbf{G}\left(\widetilde{\mathbf{X}} \middle| \begin{matrix} T_{k} \\ T_{o} \end{matrix}\right) = \int_{T_{k-1}}^{T_{k}} \exp\left[\mathbf{A}_{1}\left(\widetilde{\mathbf{X}}(T_{k-1})\right) \cdot (T_{k} - \tau)\right] \times$$

$$\times \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{3\times3} & \mathbf{0}_{3\times3} \\ \mathbf{0}_{3\times3} & \mathbf{H}(\tau) \end{bmatrix} d\tau +$$

$$+ \exp\left[\mathbf{A}_{1}\left(\widetilde{\mathbf{X}}(T_{k-1})\right) \cdot (T_{k} - T_{k-1})\right] \cdot \mathbf{G}\left(\widetilde{\mathbf{X}} \middle| \begin{matrix} T_{k-1} \\ T_{o} \end{matrix}\right),$$

$$\mathbf{C}\left(\widetilde{\mathbf{X}} \middle| \begin{matrix} T_{1} \\ T_{o} \end{matrix}\right) = \int_{T_{0}}^{T_{1}} \exp\left[\mathbf{A}_{1}\left(\widetilde{\mathbf{X}}(T_{o})\right) \cdot (T - \tau)\right] \times$$

$$\times \mathbf{A}_{0}\left(\widetilde{\mathbf{X}}(T_{o})\right) d\tau,$$

$$\mathbf{B}\left(\widetilde{\mathbf{X}} \middle| \begin{matrix} T_{1} \\ T_{o} \end{matrix}\right) = \exp\left[\mathbf{A}_{1}\left(\widetilde{\mathbf{X}}(T_{o})\right) \cdot (T - T_{o})\right],$$

$$\mathbf{G}\left(\widetilde{\mathbf{X}} \middle| \begin{matrix} T_{1} \\ T_{o} \end{matrix}\right) = \int_{T_{o}}^{T_{1}} \exp\left[\mathbf{A}_{1}\left(\widetilde{\mathbf{X}}(T_{o})\right) \cdot (T - \tau)\right] \times$$

$$\times \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{3\times3} & \mathbf{0}_{3\times3} \\ \mathbf{0}_{3\times3} & \mathbf{H}(\tau) \end{bmatrix} d\tau.$$

С учетом того, что в уравнении измерений для псевдодальностей легко линеаризовать параметр дальности (время распространения сигнала) относительно координат НКА и точек приема, линейное представление (6) позволяет свести задачу уточнения эфемерид и ЧВП к линейной задаче оценивания значений векторов координат $\mathbf{X}(t_b)$, скорости НКА $\mathbf{V}(t_b)$ и вектора лунно-солнечных ускорений (коэффициентов полинома) $\mathbf{a}_{\rm лc}$ по всем измерениям псевдодальностей и псевдофаз на интервале наблюдения $[T_o, T]$.

Для проверки адекватности предлагаемой аппроксимации модели движения НКА был проведен численный эксперимент. Задачами эксперимента были проверка чувствительности модели (6) к точности задания априорной траектории, а также оценка точности линеаризованной модели движения НКА. В качестве исходных данных эксперимента использовались эталонные траектории

движения НКА ГЛОНАСС (апостериорные эфемериды), полученные из апостериорных эфемерид (так называемых sp3-файлов). Апостериорные эфемериды формируются на основе обработки информации наземных сетей измерительных станций и размещены в открытых ресурсах сети Internet (центры ВКG, CODE, IGS и ИАЦ КВНО) в виде указанных файлов формата sp3. По данным, содержащимся в этих файлах, можно восстановить с дискретностью 1 с траекторию НКА в виде последовательности координат и скоростей НКА в системе ITRF-2000 с точностью (среднеквадратическим отклонением (СКО)) задания координат траектории НКА ГЛОНАСС не худшей, чем 20 см.

Эксперимент проводился в два этапа. На первом этапе по значениям последовательности координат эталонных траекторий НКА, задаваемых с дискретностью 1 с, расширенным фильтром Калмана определялись значения координат НКА, составляющих его скорости, и лунно-солнечного ускорения (коэффициентов полинома, задающего лунно-солнечное ускорение) на момент времени, соответствующий серединам выборки данных эталонной траектории.

В качестве измерений рассматривались собственно значения координат НКА, заданных его эталонной траекторией. Задача оценивания была сведена к оценке неизменяющегося на интервале наблюдения вектора. Уравнение наблюдения для моментов времени $t=t_0+\Delta i$ в соответствии с (6) представлялось в виде

$$egin{aligned} oldsymbol{\xi}_i &= \mathbf{X}_{ ext{\scriptsize 9T}}(T_i) = \mathbf{C}_i + \mathbf{B}_i \begin{bmatrix} \mathbf{X}(t_0) \\ \mathbf{V}(t_0) \end{bmatrix} + \mathbf{G}_i \mathbf{a}_{ ext{\scriptsize AC}} + n_i, \ i &= -N \dots N, \end{aligned}$$

где n_i — шум измерения; СКО шума было заданно 40 см. Векторы \mathbf{C}_i и матриц \mathbf{B}_i , \mathbf{G}_i вычислялись с помощью рекуррентных процедур, разработанных на основе (6), по заданной опорной траектории движения НКА.

Опорная (априорная) траектория — последовательность значения координат точек пространства, в которых осуществляется линеаризация уравнения движения, была сформирована через смещение всех точек эталонной траектории НКА на независимые случайные векторы:

$$\widetilde{\mathbf{X}}(T_i) = \mathbf{X}_{\text{eff}}(T_i) + n_{xi}, \quad i = -N \dots N.$$

Фактически опорная траектория задает «грубую» (сильно зашумленную) априорную траекторию НКА.

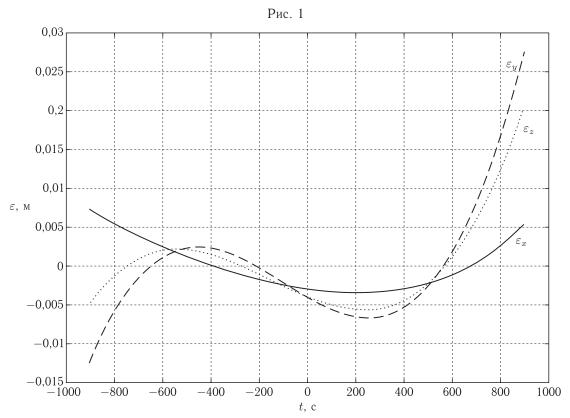
На втором этапе по оценкам значений координат НКА, составляющих его скорости, и лунносолнечного ускорения (коэффициентов полинома, задающего лунно-солнечное ускорение) для момента времени середины выборки на основе решения дифференциального уравнения (1) методом Рунге – Кутты 4-го порядка восстанавливались траектории координат НКА и составляющих его скорости и определялись ошибки аппроксимации для координат и составляющих скорости НКА относительно эталонных траекторий.

Результаты исследований показали, что зашумленность априорной траектории относительно эталонной последовательностью независимых гауссовских случайных векторов с независимыми и центрированными компонентами с СКО до 40 м практически не оказывает влияния на точность восстановления траектории. Поэтому при решении задачи уточнения эфемерид и ЧВП в качестве опорной траектории можно взять траекторию, задаваемую эфемеридами, передаваемыми в навигационном сообщения сигнала НКА.

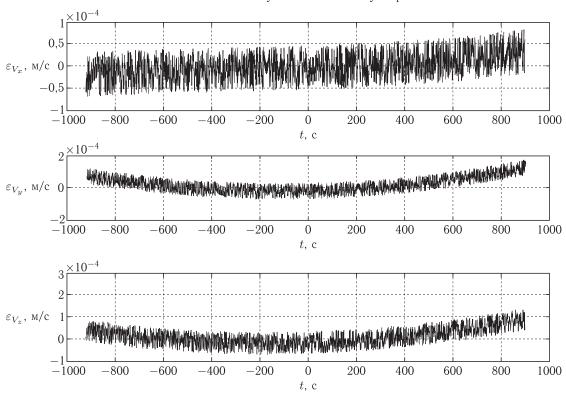
На рис. 1, 2 и 3 соответственно показано типичное изменение во времени ошибок восстановления составляющих координат НКА (1, a, 2, a и 3, a) и составляющих вектора скорости (1, 6, 2, 6 и 3, 6) относительно эталонной траектории.

На рис. 1, a и $1, \delta$ представлено изменение во времени ошибок восстановления траектории по получасовой выборке из эталонной траектории при использовании модели с постоянным лунносолнечным ускорением. На рис. 2 и 3 показаны ошибки восстановления траектории при использовании модели лунно-солнечных ускорений в виде полинома третьей степени. Рис. 2, a и $2, \delta$ получены для часовой выборки, рис. 3, a и $3, \delta$ — для двухчасовой выборки данных из эталонной траектории.

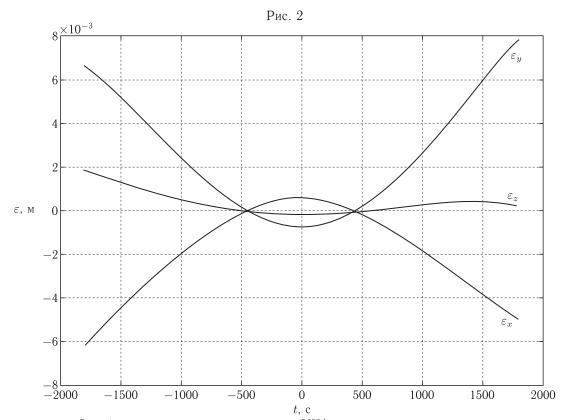
Из рис.1, a и 1, b видно, что максимальная ошибка восстановления траектории координат по получасовой выборке на краях интервала наблюдения не превышает b0, b1 мм. Это свидетельствует о возможности задания качественной линейной модели движения b1 максимента.



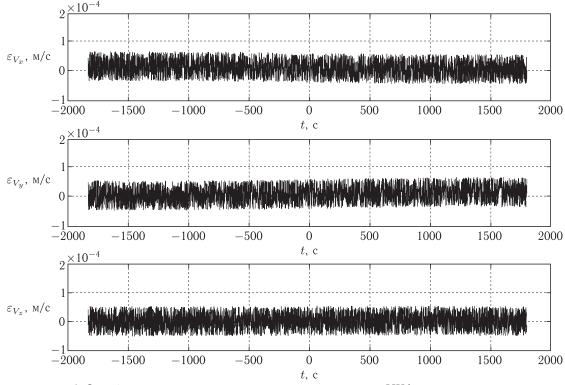
a. Ошибки восстановления траектории НКА на получасовом интервале при задании постоянного лунно-солнечного ускорения



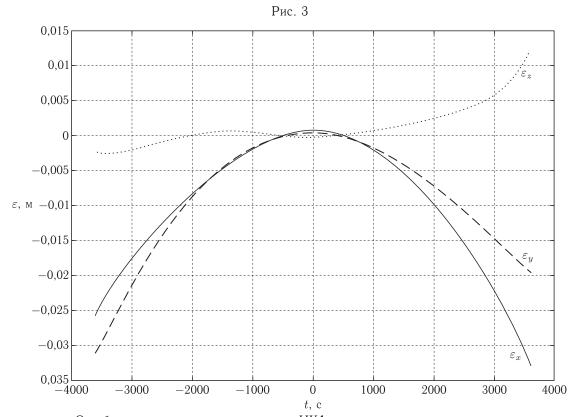
б. Ошибки восстановления составляющих скорости НКА на получасовом интервале при задании постоянного лунно-солнечного ускорения



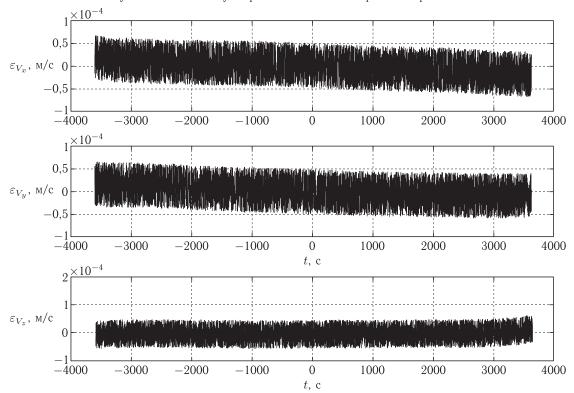
a. Ошибки восстановления траектории НКА на часовом интервале при задании лунно-солнечного ускорения полиномом времени третьей степени



б. Ошибки восстановления составляющих скорости НКА на часовом интервале при задании лунно-солнечного ускорения полиномом времени третьей степени



а. Ошибки восстановления траектории НКА на двухчасовом интервале при задании лунно-солнечного ускорения полиномом времени третьей степени



б. Ошибки восстановления составляющих скорости НКА на двухчасовом интервале при задании лунно-солнечного ускорения полиномом времени третьей степени

и сведения задачи определения эфемерид к задаче линейного оценивания постоянных величин.

Сведение задачи оценивания траектории НКА на фиксированном интервале времени к оцениванию параметров движения для одного отсчета времени упростит решение проблемы дефицита наблюдаемости при формирования поправок к эфемеридам и ЧВП в широкозонных функциональных дополнениях из-за необходимости учета в моделях измерений большого числа оцениваемых параметров (ионосферных и тропосферных задержек, межлитерных задержек сигналов различных НКА, обусловленных частотным разделением, взаимных задержек сигналов НКА диапазонов L1 и L2 и др.).

Использование более сложной модели лунносолнечного ускорения, задаваемой полиномом третьей степени, позволит увеличить интервал аппроксимации с помощью модели (6). Так, для одночасовой выборки ошибка восстановления координат НКА на краях интервала не превышает 8 мм, а для двухчасовой — не превышает 4 см на краях интервала.

Хотя в статье не был рассмотрен вопрос об учете смещения часов НКА относительно системной шкалы времени, рассмотренный подход может быть использован в алгоритмах обработки информации от сети измерительных станций широкозонных функциональных дополнений ГНС ГЛОНАСС для задания моделей измерений псевдодальностей и псевдофаз в задачах получения поправок к эфемеридам НКА или поправок к прогнозу координат НКА, вычисляемых по эфемеридам, передаваемым в составе навигационного сообшения.

Таким образом, представленные результаты показывают, что предложенная методика линеаризации может быть использована для:

- разработки алгоритмов обработки данных при формировании оперативной корректирующей информации на основе сведения задачи оценивания траектории НКА к задаче оценки параметров его движения в некоторый момент времени с помощью расширенного фильтра Калмана;
- компактного хранения данных апостериорных траекторий НКА.

Список литературы

- 1. Глобальная навигационная система ГЛОНАСС: принципы построения и функционирования. Изд. 4-е, перераб. Под ред. В. Н. Харисова и А. И. Перова М.: Радиотехника, 2010.
- 2. Поваляев А.А. Спутниковые радионавигационные системы: время, показания часов, формирование измерений и определение относительных координат. М.: Радиотехника, 2008.
- 3. Глобальная навигационная спутниковая система. Интерфейсный контрольный документ. Навигационный радиосигнал в диапазонах L1, L2 (редакция 5.1). М.: Российский научно-исследовательский институт космического приборостроения, 2008.
- 4. Каплев С. А. Вариант модернизации представления эфемеридной информации в навигационном кадре ГЛОНАСС. Тезисы докладов четвертой Всероссийской конференции «Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение (КВНО-2011)», Санкт-Петербург, 2011.

— КОСМИЧЕСКИЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ —

УДК 629.783:527

Алгоритм оценки полной псевдофазы сигнала в диапазонах L1 и L2 для двухчастотного приемника СРНС ГЛОНАСС

В. Е. Вовасов

к. т. н., OAO «Российские космические системы» e-mail: vovasov@list.ru

Аннотация. Работа фазовой автоподстройки навигационных приемников подвержена перескокам на целое, но не известное число длин волн. Но именно величина полной псевдофазы позволяет получать координаты с точностью в несколько миллиметров. Обычно для получения полной псевдофазы необходимо применение алгоритма раскрытия неоднозначности, что является весьма сложной задачей. В нашем случае, для оценки полных псевдофаз в диапазонах L1 и L2, предлагается алгоритм на основе фильтра Калмана, где в качестве измерений используются псевдофазы, псевдодальности и псевдоскорости, а в качестве оцениваемых параметров наряду с полными псевдофазами оценивается величина перескока фазы относительно полной в обоих диапазонах. Алгоритм использует тот факт, что приращение времени фазового запаздывания, обусловленного ионосферой, равно приращению времени запаздывания огибающей сигнала взятого с обратным знаком.

Ключевые слова: ГЛОНАСС, GPS, фильтр Калмана, псевдодальность, псевдоскорость, псевдофаза, ошибка вертикального хода луча, ионосфера, тропосфера

Estimation Algorithm of a Full Signal Pseudophase in L1 and L2 Bands for a Two-Frequency Receiver of GLONASS System

V. E. Vovasov

candidate of engineering science, Joint Stock Company "Russian Space Systems" e-mail: vovasov@list.ru

Abstract. Performance of the phase locked loop of navigation receivers is exposed to jumping to the integral, but unknown number of wavelengths. But a value of a full pseudophase let receive coordinates with accuracy in some millimeters. Generally receiving a full pseudophase requires the application of ambiguity solution algorithm that is very complex challenge. In our case, for an assessment of full pseudophases in L1 and L2 bands, the algorithm on the basis of Kalman filter is proposed. Pseudo-phases, pseudoranges and pseudovelocities are used as the measurements and as the estimated parameters along with full pseudophases the value of a phase jumping relative to a full phase in both ranges is estimated. The algorithm uses the fact that the time increment of the phase delay caused by ionosphere is equal to the increment of delay time of signal envelope taken with the return sign.

Key words: GLONASS, GPS, Kalman filter, pseudorange, pseudovelocity, pseudophase, error of vertical ray path, ionosphere, troposphere

Общеизвестно, что точность измерений псевдодальности по несущей частоте выше почти на два порядка измерений псевдодальности (ПД), полученной по огибающей. Псевдодальность по несущей частоте получают умножением полной псевдофазы (ПФ) на длину волны несущей сигнала. ПФ получают с помощью фазовой автоподстройки навигационных приемников, работа которой подвержена перескокам на целое, но не известное число длин волн. Обычно для получения полной ПФ необходимо применение алгоритма раскрытия неоднозначности, что является весьма сложной задачей [1]. Однако используя известную математическую связь измерений ПФ и ПД, а также разности $\Pi \coprod$ в диапазонах L1 и L2 и в качестве инерционного элемента фильтр Калмана, удается получить полную ПФ достаточно простым способом. Причем реализация данного алгоритма возможна как в самом навигационном приемнике на уровне первичной обработки, так и на уровне вторичной обработки, использующей «сырые» измерения приемника.

Приведем известные математические выражения для ПД [2]. Под ПД в навигационных приемниках понимается произведение скорости света на псевдозадержку. В результате выражение для измеряемой в приемнике ПД по j-му спутнику имеет следующий вид:

$$D_{j}(t_{i}) = R_{j}(t_{i}) + c \cdot \Delta T + c \cdot \Delta T^{j} + c \left(T_{trop}^{j} + T_{ion}^{j} - \tau_{np}^{j} - T_{mp}^{j}\right) + \xi^{j}, \quad (1)$$

где t_i — момент прихода сигнала. Здесь также введены следующие обозначения:

 R_j — длина пути распространения сигнала от j-го спутника до приемника, равная

$$R_{j}(t_{i}) = \sqrt{\left(x_{j}^{cn} - x(t_{i})\right)^{2} + \left(y_{j}^{cn} - y(t_{i})\right)^{2} + \left(z_{j}^{cn} - z(t_{i})\right)^{2}}.$$
(2)

Здесь имеется в виду расстояние между точками, которые занимал j-й спутник в момент излучения и приемник в момент приема. Под моментом излучения понимают момент времени, который предшествует моменту приема на время распространения сигнала:

 ΔT — смещение часов приемника относительно системной шкалы времени (СШВ);

 ΔT^{j} — смещение часов j-го спутника относительно СШВ;

 T_{trop}^{j} — задержка кодового сигнала j-го спутника в тропосфере;

 T_{ion}^{j} — задержка кодового сигнала j-го спутника в ионосфере;

 au_{np}^{j} — задержка кодового сигнала j-го спутника в радиочастотной части приемника;

 T^{j}_{mp} — задержка кодового сигнала j-го спутника из-за многолучевых искажений;

 ξ^j — шумовая составляющая измерения $\Pi \mathcal{I}$ j-го спутника приемником.

Считаем, что все необходимые меры по устранению ошибки многолучевости предприняты и тогда задержка, связанная с ней, $T^j_{mp}=0$. Кроме этого, здесь не учтена задержка излучаемого сигнала самим j-м спутником в радиочастотной части передатчика τ^j_{nep} и неточность знания координат спутника ΔR_j . С учетом дополнений можно записать

$$D_{j}(t_{i}) = R_{j}(t_{i}) + \Delta R_{j} + c \cdot \Delta T + c \cdot \Delta T^{j} + c \left(T_{trop}^{j} + T_{ion}^{j} + \tau_{nep}^{j} + \tau_{np}^{j}\right) + \xi^{j}, \quad j = \overline{1, J}. \quad (3)$$

Распишем это выражение для двух диапазонов: L1 и L2.

$$D_{j}^{L1}(t_{i}) = R_{j}(t_{i}) + \Delta R_{j} + c \cdot \Delta T + c \cdot \Delta T^{j} + c \cdot \left(T_{trop}^{j} + T_{ion,L1}^{j} + \tau_{nep,L1}^{j} + \tau_{np,L1}^{j}\right) + \xi_{L1}^{j},$$
(4)
$$j = \overline{1, J},$$
$$D_{j}^{L2}(t_{i}) = R_{j}(t_{i}) + \Delta R_{j} + c \cdot \Delta T + c \cdot \Delta T^{j} + c \cdot \left(T_{trop}^{j} + T_{ion,L2}^{j} + \tau_{nep,L2}^{j} + \tau_{np,L2}^{j}\right) + \xi_{L2}^{j},$$
(5)

Запишем выражение для разности $\Pi \mathcal{A}$ в диапазонах L2 и L1 в виде

$$\Delta D_{j}(t_{i}) = D_{j}^{L2}(t_{i}) - D_{j}^{L1}(t_{i}) =$$

$$= c \left(T_{ion,L2}^{j} - T_{ion,L1}^{j} \right) + c \left(\tau_{nep,L2}^{j} - \tau_{nep,L1}^{j} \right) +$$

$$+ c \left(\tau_{np,L2}^{j} - \tau_{np,L1}^{j} \right) + \xi_{L2}^{j} - \xi_{L1}^{j}. \quad (6)$$

Величина задержки сигнала в диапазоне L2 относительно L1 передается в эфемеридах ГЛОНАСС, т. е. величина $H_j = c \left(au_{nep,L2}^j - au_{nep,L1}^j \right)$ известна.

Величину $V_j = c \left(au_{np,L2}^j - au_{np,L1}^j \right)$ можно получить, исследуя работу испытуемого навигационного приемника на имитаторе навигационных сигналов, где в сценарии отсутствуют ионосферная и тропосферная задержки.

Окончательно можно записать следующее выражение:

$$c\left(T_{ion,L2}^{j} - T_{ion,L1}^{j}\right) = \Delta D_{j}\left(t_{i}\right) - H_{j} - V_{j} + \xi_{L2}^{j} - \xi_{L1}^{j}.$$
(7)

Для описания задержки сигнала в ионосфере обычно используется однослойная модель ионосферы [4], где предполагается, что все электроны сосредоточены в тонком слое, расположенном на некоторой высоте h над поверхностью Земли. Так, величины группового ухода ПД, соответствующие ионосферной составляющей задержки для спутника, находящегося в зените относительно приемника, будут равны

$$I_g = \frac{40.3}{f_{op}^2} \int_S n_e(S) \, dS = \frac{40.3}{f_{op}^2} N_S. \tag{8}$$

Здесь $n_e(S)$ — зависимость концентрации электронов от высоты S;

 N_S — концентрация электронов в слое ионосферы;

 f_{op} — некоторая частота, при которой будем определять величины группового ухода ПД;

 I_g — ошибка вертикального хода луча или уход $\Pi \coprod$ для сигнала j-го спутника в ионосфере в момент времени t_i определяется как [4]:

$$c \cdot T_{ion}^{j} = I_{g} \cdot \frac{f_{op}^{2}}{f_{j}^{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left[\frac{R_{3}}{R_{3} + h}\cos\left\{\eta_{j}\left(t_{i}\right)\right\}\right]^{2}}} = \frac{I_{g}}{\sqrt{1 - \left[\frac{R_{3}}{R_{3} + h}\cos\left\{\eta_{j}\left(t_{i}\right)\right]}} = \frac{I_{g}}{\sqrt{1 - \left[\frac{R_{3}}{R_{3} + h}\cos\left\{\eta_{j}\left(t_{i}\right)\right\}\right]^{2}}} = \frac{I_{g}}{\sqrt{1 - \left[\frac{R$$

где:

 R_3 — радиус Земли;

 $h = 432,5 \cdot 10^3$ м — высота слоя ионосферы, где интегральная концентрация электронов в вертикальном столбе достигает 50%;

 f_{j} — несущая частота j-го спутника;

 λ_j — длина волны несущей частоты j-го спут-

 $\eta_{i}\left(t_{i}\right)$ — угол места j-го навигационного спутника относительно приемника.

Определим значение следующего выражения:

$$c\left(T_{ion,L2}^{j} - T_{ion,L1}^{j}\right) =$$

$$= I_{g} \cdot \frac{\lambda_{j,L2}^{2}}{\lambda_{op}^{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left[\frac{R_{3}}{R_{3} + h}\cos\{\eta_{j}(t_{i})\}\right]^{2}}} -$$

$$- I_{g} \cdot \frac{\lambda_{j,L1}^{2}}{\lambda_{op}^{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left[\frac{R_{3}}{R_{3} + h}\cos\{\eta_{j}(t_{i})\}\right]^{2}}} =$$

$$= \frac{I_{g} \cdot (1 - \gamma)}{\sqrt{1 - \left[\frac{R_{3}}{R_{3} + h}\cos\{\eta_{j}(t_{i})\}\right]^{2}}}. \quad (10)$$

Здесь учитывалось, что $\gamma = \frac{\lambda_{j,L1}^2}{\lambda_{j,L2}^2}$, а также принимается $\lambda_{op} = \lambda_{j,L2} = \frac{c}{f}$.

Величина $1 - \gamma = 1 - \frac{49}{21} \approx 0{,}395$ для ГЛОНАСС.

С учетом (7) из (10) получим следующее выражение:

$$\frac{I_g}{\sqrt{1 - \left[\frac{R_3}{R_3 + h}\cos\{\eta_j(t_i)\}\right]^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left[\frac{R_3}{R_3 + h}\cos\{\eta_j(t_i)\}\right]^2}} = \frac{\Delta D_j(t_i) - H_j - V_j + \xi_{L2}^j - \xi_{L1}^j}{(1 - \gamma)}. \quad (11)$$

Тогда с учетом (9) можно записать выражения:

$$c \cdot \left(T_{ion,L2}^{j}\right) = \frac{I_g}{\sqrt{1 - \left[\frac{R_3}{R_3 + h}\cos\{\eta_j(t_i)\}\right]^2}} = \frac{\Delta D_j(t_i) - H_j - V_j + \xi_{L2}^j - \xi_{L1}^j}{(1 - \gamma)},$$
 (12)

$$c \cdot \left(T_{ion,L1}^{j}\right) = \frac{\gamma \cdot I_{g}}{\sqrt{1 - \left[\frac{R_{3}}{R_{3} + h}\cos\left\{\eta_{j}\left(t_{i}\right)\right\}\right]^{2}}} = \frac{\gamma \cdot \left(\Delta D_{j}\left(t_{i}\right) - H_{j} - V_{j} + \xi_{L2}^{j} - \xi_{L1}^{j}\right)}{(1 - \gamma)}.$$
 (13)

Под ПФ $\psi_j(t_i)$ в навигационных приемниках понимается разность между фазой гетеродина приемника на момент приема и фазой несущей частоты спутника на момент излучения [2]. В результате выраженная в циклах математическая модель ПФ, измеряемая в приемнике по j-му спутнику, имеет следующий вид:

$$\psi_{j}(t_{i}) + M^{j} = f_{j}\left(\Delta T + \Delta T^{j}\right) + \frac{R_{j}(t_{i})}{\lambda^{j}} + \varphi_{0} + \varphi_{0}^{j} + \varphi_{h}^{j} + \varphi_{trop}^{j} + \varphi_{ion}^{j} + \varphi_{mp}^{j} + \zeta_{\psi_{j}}, \quad (14)$$

где $\lambda^j=rac{c}{f_j}$ — длина волны несущей j-го спутника; $arphi_0$ — начальная фаза приемника;

 $arphi_0^j$ — неопределенная начальная фаза излучения j-го спутника;

 φ_h^{\jmath} — фазовые аппаратурные искажения в j-м канале i-го приемника;

 $arphi_{trop}^{\jmath}$ — фазовые тропосферные искажения сигнала j-го спутника на входе приемника;

 $arphi_{ion}^{\jmath}$ — фазовые ионосферные искажения сигнала j-го спутника на входе приемника;

 φ_{mp}^{\jmath} — фазовые искажения, вызванные многолучевостью сигнала j-го спутника на входе приемника;

 M_j — неопределенное целое число, отображающее собой неоднозначность фазовых измерений в j-м канале приемника;

 ζ_{ψ_j} — шумовая составляющая измерения псевдофазы сигнала j-го спутника в приемнике.

С учетом мер, уменьшающих многолучевые искажения и включения остаточных многолучевых искажений в шумовую составляющую $\Pi\Phi$, перепишем (14), умножив его на длину волны λ^j :

$$G_{j}(t_{i}) = (\psi_{j}(t_{i}) + M_{j}) \cdot \lambda^{j} = c \cdot \Delta T^{j} + c \cdot \Delta T + R_{j}(t_{i}) + \lambda^{j} \left(\varphi_{0} + \varphi_{0}^{j} + \varphi_{trop}^{j} + \varphi_{ion}^{j} + \varphi_{h}^{j} + \zeta_{\psi_{j}}\right).$$

$$(15)$$

В приведенном выражении не учтена задержка излучаемого сигнала самим j-м спутником в радиочастотной части передатчика au_{nep}^j и неточность знания координат спутника ΔR_j . С учетом дополнений можно записать:

$$G_{j}(t_{i}) = \Delta R_{j} + c \cdot \Delta T^{j} + c \cdot \Delta T + R_{j}(t_{i}) + c \cdot \tau_{nep}^{j} + \lambda^{j} \left(\varphi_{0} + \varphi_{0}^{j} + \varphi_{trop}^{j} + \varphi_{ion}^{j} + \varphi_{h}^{j} + \zeta_{\psi_{j}} \right).$$
(16)

Распишем это выражение для двух диапазонов L1 и L2.

$$G_{j}^{L1}(t_{i}) = \\ = \Delta R_{j} + c \cdot \Delta T^{j} + c \cdot \Delta T + R_{j}(t_{i}) + c \cdot \tau_{nep,L1}^{j} + \\ + \lambda_{L1}^{j} \left(\varphi_{0,L1} + \varphi_{0,L1}^{j} + \varphi_{trop}^{j} + \varphi_{ion,L1}^{j} + \varphi_{h,L1}^{j} + \zeta_{\psi_{j}}^{L1} \right),$$

$$(17)$$

$$G_{j}^{L2}(t_{i}) = \\ = \Delta R_{j} + c \cdot \Delta T^{j} + c \cdot \Delta T + R_{j}(t_{i}) + c \cdot \tau_{nep,L2}^{j} + \\ + \lambda_{L2}^{j} \left(\varphi_{0,L2} + \varphi_{0,L2}^{j} + \varphi_{trop}^{j} + \varphi_{ion,L2}^{j} + \varphi_{h,L2}^{j} + \zeta_{\psi_{j}}^{L2} \right).$$

$$(18)$$

Определим разность между $\Pi Д$ и полной фазовой $\Pi Д$ в диапазоне L1:

$$D_{j}^{L1}(t_{i}) - G_{j}^{L1}(t_{i}) = +2 \cdot c \cdot T_{ion,L1}^{j} + c \cdot \tau_{np,L1}^{j} - \lambda_{L1}^{j} \cdot \varphi_{h,L1}^{j} + \xi_{L1}^{j} - \lambda_{L1}^{j} \cdot \zeta_{\psi_{j}}^{L1} - \lambda_{L1}^{j} \left(\varphi_{0,L1} + \varphi_{0,L1}^{j}\right).$$

$$(19)$$

Здесь учитывались следующие зависимости:

$$c\left(T_{trop}^{j}\right) = \lambda_{L1}^{j} \left(\varphi_{trop}^{j}\right),$$
$$c\left(T_{ion,L1}^{j}\right) = -\lambda_{L1}^{j} \left(\varphi_{ion,L1}^{j}\right).$$

С учетом (12) выразим величину полной фазовой $\Pi Д$ через $\Pi Д$ из (19):

$$G_{j}^{L1}(t_{i}) = D_{j}^{L1}(t_{i}) - \frac{\gamma \cdot (\Delta D_{j}(t_{i}) - H_{j} - V_{j} + \xi_{L2}^{j} - \xi_{L1}^{j})}{(1 - \gamma)} - \frac{\gamma \cdot (\Delta D_{j}(t_{i}) - H_{j} - V_{j} + \xi_{L2}^{j} - \xi_{L1}^{j})}{(1 - \gamma)} - \frac{\gamma \cdot (\Delta D_{j}(t_{i}) - H_{j} - V_{j} + \xi_{L2}^{j} - \xi_{L1}^{j})}{(1 - \gamma)}, \quad (20)$$

где $P_{L1}^j = c \cdot au_{np,L1}^j - \lambda_{L1}^j \cdot arphi_{h,L1}^j$ определяется с помощью имитатора.

Погрешность вычислений будет равна

$$\sigma_{G_j^{L_1}}^2 = \frac{(1+\gamma)^2}{(1-\gamma)^2} \sigma_{D_j^{L_1}}^2 + \frac{(4\cdot\gamma)^2}{(1-\gamma)^2} \sigma_{D_j^{L_2}}^2, \tag{21}$$

 $\sigma_{D_j^{L1}}^2$ — дисперсия измерений ПД в диапазоне L1, $\sigma_{D_i^{L2}}^2$ — дисперсия измерений ПД в диапазоне L2.

Аналогично поступаем для получения полной фазовой $\Pi \mathcal{A}$ в диапазоне L2:

$$G_{j}^{L2}(t_{i}) = D_{j}^{L2}(t_{i}) - \frac{(\Delta D_{j}(t_{i}) - H_{j} - V_{j} + \xi_{L2}^{j} - \xi_{L1}^{j})}{(1 - \gamma)} - \frac{P_{L2}^{j} - \xi_{L2}^{j} + \lambda_{L2}^{j} \cdot \zeta_{\psi_{j}}^{L2} + \lambda_{L2}^{j} \left(\varphi_{0,L2} + \varphi_{0,L2}^{j}\right)}{(22)}$$

где $P_{L2}^j = c \cdot au_{np,L2}^j - \lambda_{L2}^j \cdot arphi_{h,L2}^j$ определяется с помощью имитатора.

Погрешность вычислений будет равна

$$\sigma_{G_j^{L_2}}^2 = \frac{4}{(1-\gamma)^2} \sigma_{D_j^{L_1}}^2 + \frac{(1-3\cdot\gamma)^2}{(1-\gamma)^2} \sigma_{D_j^{L_2}}^2.$$
 (23)

Так как погрешность вычислений полной фазовой ПД из ПД имеет большую величину, то необходимо применение фильтрации, например с помощью фильтра Калмана. Опишем его.

В качестве измерений будем использовать следующие величины:

$$\overline{z} = \begin{vmatrix}
G_j^{L1}(t_i) \\
G_j^{L2}(t_i) \\
\dot{G}_j(t_i) \\
\ddot{G}_j(t_i) \\
\psi_j^{L1}(t_i) \cdot \lambda_{L1}^j \\
\psi_j^{L2}(t_i) \cdot \lambda_{L2}^j
\end{vmatrix} .$$
(24)

Здесь считается, что для высокодинамичного объекта следует измерять радиальное ускорение для минимизации динамических ошибок фильтрации.

В качестве оцениваемого вектора выбираем

$$\overline{x} = \left| G_j^{L1}, \ G_j^{L2}, \ \dot{G}_j, \ \dot{G}_j, \ K_j^{L1}, \ K_j^{L2} \right|^T, \tag{25}$$

$$K_j^{L1} = \lambda_{L1}^j \cdot \left(M_j^{L1} + \varphi_{0,L1} + \varphi_{0,L1}^j \right),$$

$$K_j^{L2} = \lambda_{L2}^j \cdot \left(M_j^{L2} + \varphi_{0,L2} + \varphi_{0,L2}^j \right),$$

где

 $K_{j}^{L1},\ K_{j}^{L2}$ величина перескока фазы относительно полной в диапазонах L2 и L1 соответственно.

Приведем уравнения фильтра Калмана [3].

Пусть $\widehat{x}_{i/k}$ означает оценку вектора \overline{x}_i , полученную на основании измерений, проведенных до момента времени k, а i обозначает дискретный момент времени, в который производятся измерения. Пусть $P_{i/k}$ обозначает матрицу ковариаций ошибок, связанную с оценкой $\widehat{x}_{i/k}$.

Определим переходную матрицу Φ_i , определяющую динамику оцениваемого движения, следующим образом:

$$\Phi_{i} = \begin{vmatrix}
1 & 0 & T & \frac{T^{2}}{2} & 0 & 0 \\
0 & 1 & T & \frac{T^{2}}{2} & 0 & 0 \\
0 & 0 & 1 & T & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1
\end{vmatrix}.$$
(26)

Тогда уравнение экстраполяции вектора состояния будет иметь вид

$$\widehat{x}_{i+1/i} = \Phi_i \cdot \widehat{x}_{i/i} + \overline{\zeta}_i, \qquad (27)$$

$$E\left\{\overline{\zeta}_i\right\} = 0, \quad E\left\{\overline{\zeta}_i\overline{\zeta}_k^T\right\} = Q_i\delta_{ik}, \quad \delta_{ik} = \begin{cases} 1, & i = k, \\ 0, & i \neq k, \end{cases}$$

где Δt — интервал дискретизации, $\overline{\zeta}_i$ — вектор шума модели движения, E — оператор математического ожидания, Q_i — матрица интенсивности шума модели.

Если в качестве измеряемого ввести вектор \overline{z}_i , то связь оцениваемых и измеряемых параметров можно записать в виде $\overline{z}_i = \overline{h}_i \left(\overline{x}_{i/i} \right) + \overline{\varepsilon}_i$. Здесь \overline{h}_i — вектор, показывающий аналитическую связь измеряемых параметров от оцениваемых, $\overline{\varepsilon}_i$ — вектор шума измерений.

Предполагаем, что $E\left\{ arepsilon_{i}arepsilon^{T}\right\} =N_{i}\delta_{ik}$ и $E\{arepsilon_{i}\}=0$, N_{i} — матрица интенсивности шума измерений

Уравнение коррекции вектора состояния

$$\widehat{x}_{i+1/i+1} = \widehat{x}_{i+1/i} + W_{i+1} \left[\overline{z}_{i+1} - \overline{h} \left(\widehat{x}_{i+1/i} \right) \right], \quad (28)$$

фильтра, полученная как

$$W_{i+1} = P_{i+1/i}H_{i+1}^T \left(H_{i+1}P_{i+1/i}H_{i+1}^T + N_{i+1}\right)^{-1}, \qquad \sigma_{\dot{G}_j}^{2^j}$$
 — дисперсия измерений псевдоскорости, $H_{i+1} = \frac{\partial \overline{h}}{\partial \overline{x}} \bigg|_{x=x_{i+1/i}}.$ (29) $\sigma_{\dot{G}_j}^2$ — дисперсия измерений радиального ускорения. Момент перескока фазы контролируется нера-

Уравнение экстраполяции матрицы ковариаций

$$P_{i+1/i} = \Phi_i P_{i/i} \Phi_i^T + Q_i. \tag{30}$$

Уравнение коррекции матрицы ковариаций

$$P_{i+1/i+1} = (I-W_{i+1}H_{i+1})\,P_{i+1/i},$$
 (31) В случае его возникновения в диапазоне I производят подстановки $x[5] = G_j^{L1} - \psi_j^{L1}(t_i) \cdot \lambda_{L1}^j$ и $P[5,5] = P[1,1],$ (32) а в случае его возникновения в диапазоне $L2$ $x[6] = G_j^{L2} + \psi_j^{L2}(t_i) + \lambda_{L1}^j$ и $P[6,6] = P[2,2]$

q — интенсивность формирующего шума радиального ускорения.

$$H_{i+1} = \frac{\partial \overline{h}}{\partial \overline{x}} \Big|_{x=x_{i+1/i}} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{vmatrix}.$$

Матрица интенсивности шума измерений имеет следующий вид:

$$N_{i} = \begin{vmatrix} \sigma_{G_{j}^{L1}}^{2} & S & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S & \sigma_{G_{j}^{L2}}^{2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\dot{G}_{j}}^{2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{\dot{G}_{j}}^{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (\lambda_{L1}^{j})^{2} \cdot \sigma_{\Psi_{j}^{L1}}^{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (\lambda_{L2}^{j})^{2} \cdot \sigma_{\Psi_{j}^{j}}^{2} \end{vmatrix}$$

$$(34)$$

$$S = \frac{2 \cdot (1+\gamma)}{(1-\gamma)^2} \sigma_{D_j^{L_1}}^2 - \frac{2 \cdot \gamma \cdot (1-3 \cdot \gamma)}{(1-\gamma)^2} \sigma_{D_j^{L_2}}^2, \quad (35)$$

где W_{i+1} — матрица коэффициентов усиления $\sigma^2_{\Psi^{L_1}_j}$ — дисперсия измерений $\Pi\Phi$ в диапазоне L1, $\sigma^2_{\Psi^{L2}_j}$ — дисперсия измерений $\Pi\Phi$ в диапазоне L2,

Момент перескока фазы контролируется нера-

$$\left| G_j^{L1} - \psi_j^{L1}(t_i) \cdot \lambda_{L1}^j - K_j^{L1} \right| \leqslant 3 \cdot \sigma_{\Psi_j^{L1}},$$
 (36)

$$\left| G_{j}^{L2} - \psi_{j}^{L2} (t_{i}) \cdot \lambda_{L2}^{j} - K_{j}^{L2} \right| \leq 3 \cdot \sigma_{\Psi_{2}^{L2}}.$$
 (37)

В случае его возникновения в диапазоне L1производят подстановки

$$x[5] = G_i^{L1} - \psi_i^{L1}(t_i) \cdot \lambda_{L1}^j$$
 и $P[5, 5] = P[1, 1],$

$$x[6] = G_i^{L2} - \psi_i^{L2}(t_i) \cdot \lambda_{L2}^j$$
 и $P[6, 6] = P[2, 2].$

Таким образом, для приемников ГЛОНАСС следует ожидать, что оценка полной фазы в обоих диапазонах обеспечивается через (100-150) с с начала работы алгоритма при стандартных точностях измерения ПД по огибающей.

Список литературы

- 1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова. Изд. 4-е, перераб. М: Радиотехника, 2010. 800 с.
- 2. Поваляев А.А. Спутниковые радионавигационные системы: время, показания часов, формирование измерений и определение относительных координат. М.: Радиотехника, 2008. 328 с.
- 3. Сейдж Э., Мелс Дж. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении. М.: Связь, 1976. 496 с.
- 4. Казанцев М.Ю., Фатеев Ю.Л. Определение ионосферной составляющей погрешности измерения псевдодальности в одночастотной аппаратуре систем ГЛОНАСС и GPS // Журнал радиоэлектроники. Электронный журнал. Российская академия наук, 2002, № 12.

КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА, ПОИСКА И СПАСАНИЯ

УДК 621.396

Оптимальное планирование наведения на KA наземных антенн среднеорбитального сегмента системы KOCПAC-SARSAT

Д. В. Антонов

OAO «Российские космические системы» e-mail: ch4apa89@yandex.ru

Аннотация. Рассматривается алгоритм выбора спутников для наведения на них антенн среднеорбитального сегмента СПОИ (станция приема и обработки информации), приведены формулы для расчета одномоментной зоны обслуживания, дана оценка времени расчета нахождения созвездия спутников, имеющего наибольшую площадь обслуживания.

Ключевые слова: КОСПАС-SARSAT, среднеорбитальный сегмент, СПОИ-СО, планирование, планирование слежения за спутниками

Optimal Satellite Tracking Scheduling Algorithm for the Medium Earth Orbit Segment of COSPAS-SARSAT

D. V. Antonov

Joint Stock Company "Russian Space Systems" e-mail: ch4apa89@yandex.ru

Abstract. This article describes the algorithm for selecting satellites tracked by MEOLUT antennas (COSPAS–SARSAT Medium-Earth Orbiting Local User Terminal). It also provides formulas to calculate instantaneous MEOLUT coverage zone and gives a time estimate required to identify satellites that would ensure maximum coverage zone.

Key words: COSPAS-SARSAT, MEOSAR, MEOLUT, planning, satellite tracking schedule

Введение

КОСПАС-SARSAT модернизируется путем установки поисково-спасательных ретрансляторов на борту космических аппаратов (КА) — российских ГЛОНАСС, американских GPS и европейских Galileo, с высотой орбит от 19 тыс. до 23 тыс. км. Эти новые космические элементы КОСПАС-SARSAT сформируют систему под названием СССПС (среднеорбитальная спутниковая система поиска и спасания).

Наземные станции для принятия аварийных сообщений размещаются по всему миру. На каждой такой станции предусмотрено несколько (4–8) антенн, каждая из которых принимает аварийные сообщения, переданные через один из спутниковретрансляторов системы СССПС. Кроме того, измеряется время прихода радиосигнала на спутник (TOA), а также его частота (FOA).

В связи с тем, что с каждой СПОИ (станции приема и обработки информации) видимых на определенный момент спутников может оказаться больше, чем количество антенн на ней, возникает задача планирования: на какие спутники в определенный момент нужно направлять антенны СПОИ.

В отличие от традиционного решения навигационной задачи, где потребитель определяет свои координаты, в данном случае требуется обеспечить возможно большую площадь, на которой можно было бы определить координаты аварийных радиобуев (АРБ) с точностью не хуже заданной. Также стоит отметить, что основной вклад в точность определения координат вносят измерения частоты радиосигнала.

Постановка задачи

Имеются N KA и M антенн, расположенные на СПОИ, при этом M < N. Требуется из N KA выбрать M таких, которые наилучшим образом подходят для задачи планирования наведения антенн на спутники.

В качестве критерия оптимальности планирования выбирается максимум площади зоны обслуживания системы из M KA.

Для получения хороших результатов работы СССПС в качестве зоны обслуживания можно считать зону, в которой с помощью нескольких (2 и более) KA координаты APБ с вероятностью более 0,95 определяются с ошибкой не более 5 км.

Алгоритм планирования

Оптимальное созвездие находится путем полного перебора всех возможных созвездий, состоящих из видимых на данный момент КА. Выбирается то созвездие, площадь обслуживания которого наибольшая.

Для нахождения одномоментной площади обслуживания для какого-то созвездия на поверхности Земли вводится сетка равноотстоящих друг от друга узлов (предполагается, что в них размещены АРБ). Для каждого такого узла вычисляется вероятность того, что его координаты будут вычислены с ошибкой не более 5 км (формулы для вычисления этой вероятности даны ниже). При выполнении этого условия этот узел включается в зону обслуживания текущего созвездия. Найдя все эти узлы, можно рассчитать одномоментную площадь обслуживания созвездия.

Путем полного перебора всех возможных на данный момент созвездий (всего $\frac{N!}{M!(N-M)!}$ штук) выбирается созвездие с наибольшей площадью обслуживания.

На рис. 1 приведен пример рассчитанной одномоментной зоны обслуживания. Треугольником обозначено положение СПОИ, значками спутника — подспутниковые точки для КА, по которым рассчитывалась зона обслуживания, линями отмечены зоны видимости каждого КА, квадратами — узлы сетки, где координаты АРБ определяются с ошибкой не более 5 км. При расчете среднеквадратичное отклонение TOA считалась 20 мкс, FOA = 0.08 Гц.

Полученное созвездие имеет одномоментную наибольшую площадь. Для полностью развернутой группировки в большинстве случаев за 30 мин площадь обслуживания меняется не более чем на 5% (в отдельных случаях на 15%). Поэтому выбранное созвездие можно считать оптимальным на интервале 30 мин.

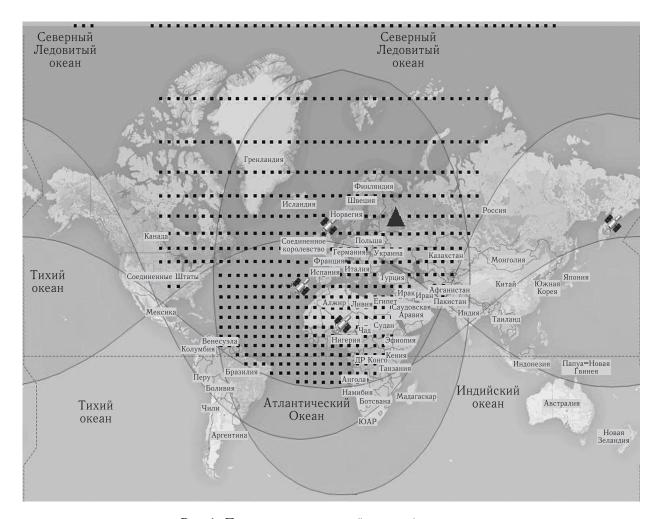


Рис. 1. Пример одномоментной зоны обслуживания

Алгоритм планирования:

- 1. Наилучшее созвездие спутников находится полным перебором из всех доступных на данный момент созвездий.
- 2. Для каждого созвездия находятся одномоментная зона обслуживания.
- 3. Для нахождения одномоментной зоны обслуживания на Земле вводится мысленная сетка, в узлах которой вычисляется вероятность определения координат APБ с ошибкой не более 5 км. Если эта вероятность больше или равна 0,95, этот узел включается в одномоментную зону обслуживания перебираемого созвездия. Количество таких узлов численно характеризует зону обслуживания созвездия.
- 4. Полученное созвездие является наилучшим в течение 30 мин.

Формулы для расчета вероятности определения координат с ошибкой не более заданной

Координаты АРБ вычисляются по методу наименьших квадратов. Вычисленные координаты подчиняются нормальному закону распределения с плотностью вероятности f(B,L) [1]:

$$f(B,L) = \frac{1}{2\pi\sigma_B\sigma_L\sqrt{1 - k_{BL}^2}} \times e^{-\frac{1}{2\left(1 - k_{BL}^2\right)} \left[\frac{(B - B_0)^2}{2\sigma_B^2} - \frac{2k_{BL}(B - B_0)(L - L_0)}{\sigma_B\sigma_L} + \frac{(L - L_0)^2}{2\sigma_L^2}\right]},$$
(1)

где B и L — вычисленные широта и долгота APБ, B_0 и L_0 — истинные широта и долгота APБ,

| $\sigma_{\xi}/\sigma_{\eta}$, km | 0,50 | 1,00 | 1,50 | 2,00 | 2,50 | 3,00 | 3,50 | 4,00 | 4,50 | 5,00 |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,50 | 1,000 | 1,000 | 0,999 | 0,987 | 0,953 | 0,903 | 0,845 | 0,787 | 0,731 | 0,680 |
| 1,00 | 1,000 | 1,000 | 0,999 | 0,985 | 0,949 | 0,897 | 0,838 | 0,779 | 0,723 | 0,673 |
| 1,50 | 0,999 | 0,999 | 0,996 | 0,979 | 0,939 | 0,884 | 0,823 | 0,763 | 0,708 | 0,657 |
| 2,00 | 0,987 | 0,985 | 0,979 | 0,956 | 0,912 | 0,854 | 0,793 | 0,733 | 0,679 | 0,629 |
| 2,50 | 0,953 | 0,949 | 0,939 | 0,912 | 0,865 | 0,807 | 0,747 | 0,690 | 0,637 | 0,590 |
| 3,00 | 0,903 | 0,897 | 0,883 | 0,854 | 0,807 | 0,751 | 0,694 | 0,640 | 0,590 | 0,546 |
| 3,50 | 0,845 | 0,838 | 0,823 | 0,793 | 0,747 | 0,694 | 0,640 | 0,589 | 0,544 | 0,503 |
| 4,00 | 0,786 | 0,779 | 0,763 | 0,733 | 0,690 | 0,639 | 0,589 | 0,542 | 0,500 | 0,462 |
| 4,50 | 0,731 | 0,723 | 0,707 | 0,679 | 0,637 | 0,590 | 0,544 | 0,500 | 0,461 | 0,426 |
| 5,00 | 0,680 | 0,672 | 0,657 | 0,629 | 0,590 | 0,546 | 0,503 | 0,462 | 0,426 | 0,394 |

Таблица. Вероятность определения координат APБ с ошибкой не более 5 км при различных σ_{ξ} и σ_{η}

 σ_B и σ_L — среднеквадратичные отклонения определения координат АРБ по широте и долготе,

 k_{BL} — коэффициент корреляции B и L.

Целесообразно выбрать систему координат $(O\xi\eta)$, центр которой совпадает с местом расположения АРБ, оси совпадают с главными направлениями рассеивания координат АРБ. Для удобства единицей измерения выберем километр. В такой системе координат, согласно [1], плотность вероятности будет выглядеть следующим образом:

$$f(\xi,\eta) = \frac{1}{2\pi\sigma_{\xi}\sigma_{\eta}} e^{-\left[\frac{\xi^2}{2\sigma_{\xi}^2} + \frac{\eta^2}{2\sigma_{\eta}^2}\right]},$$
 (2)

где σ_{ξ} и σ_{η} — соответственно среднеквадратичные отклонения вычисленных координат АРБ в системе координат $O\xi\eta$.

Вероятность определения координат АРБ с ошибкой, не превышающей 5 км:

$$P((\xi,\eta) \subset D) = \frac{1}{2\pi\sigma_{\xi}\sigma_{\eta}} \iint_{D} e^{-\left[\frac{\xi^{2}}{2\sigma_{\xi}^{2}} + \frac{\eta^{2}}{2\sigma_{\eta}^{2}}\right]} d\xi d\eta, \quad (3)$$

где D — круг с центром в начале координат и радиусом 5 км.

В таблице приведена вычисленная вероятность при различных σ_{ξ} и σ_{η} .

Найдем параметры σ_{ξ} и σ_{η} . Пусть имеются измеренные по одной посылке времена прихода (TOA) и частоты (FOA) сигналов от M KA $(M\geqslant 2)$. Преобразуем эти параметры в псевдо- где \widehat{D}_i-i -я измеренная псевдодальность,

дальности (\widehat{D}) и пвсевдоскорости (\widehat{V}) :

$$\widehat{D}_{i} = (TOA_{i} - T_{0}) \cdot c,$$

$$\widehat{V}_{i} = \frac{FOA_{i} - F_{0}}{F_{0}}c,$$

$$i = 1, \dots, M,$$
(4)

где T_0 — время излучения посылки,

 $F_0 = 406,05 \ \mathrm{M}\Gamma$ ц — средняя частота излучения сигнала АРБ,

c = 299792,458 км/с — скорость света,

i — индекс KA, по которому были проведены измерения.

На рис. 2 изображено положение АРБ и КА в гринвичской системе координат. Здесь треугольником обозначен АРБ, маленьким кружочком i-й КА, вектором \mathbf{R}_{a} — радиус-вектор АРБ, $\mathbf{R}_{\mathrm{s}_i}$ радиус-вектор i-го KA, $\mathbf{V}_{\mathrm{s}_i}$ — вектор скорости i-го КА. Псевдодальности и псевдоскорости зависят от взаимного расположения КА и АРБ:

$$\widehat{D}_{i} = |\mathbf{R}_{s_{i}} - \mathbf{R}_{a}| + \Delta D =$$

$$= \sqrt{(x_{i} - x)^{2} + (y_{i} - y)^{2} + (z_{i} - z)^{2}} + \Delta D, \quad (5)$$

$$\widehat{V}_{i} = \frac{(\mathbf{R}_{s_{i}} - \mathbf{R}_{a}, \mathbf{V}_{s_{i}})}{|\mathbf{R}_{s_{i}} - \mathbf{R}_{a}|} + \Delta V =$$

$$= \frac{(x_{i} - x)V_{x_{i}} + (y_{i} - y)V_{y_{i}} + (z_{i} - z)V_{z_{i}}}{\sqrt{(x_{i} - x)^{2} + (y_{i} - y)^{2} + (z_{i} - z)^{2}}} + \Delta V,$$

$$i = 1, \dots, M,$$
(6)

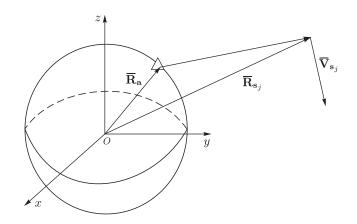


Рис. 2. Положение APБ и KA в гринвичской системе координат

 $\widehat{V}_i - i$ -я измеренная псевдоскорость,

 ΔD — подставка по дальности, в которую заложены нестабильность генератора APБ на момент излучения, а также неизвестный параметр T_0 ,

 ΔV — подставка по скорости, в которую заложена нестабильность частоты сигнала APB на момент излучения, а также изменение частоты из-за релятивистских эффектов,

 (x_i, y_i, z_i) — положение i-го KA в гринвичской системе координат,

 $(V_{x_i}, V_{y_i}, V_{z_i})$ — вектор скорости i-го KA в гринвичской системе координат,

(x,y,z) — положение АРБ в гринвичской системе координат. Этот вектор можно вычислить из координат (B_0,L_0) используя соответствующую модель Земли (ПЗ-90 [2], WGS84 [3] и др).

Предполагается, что APБ находится на поверхности Земли и неподвижен.

Пусть $\sigma_{TOA1}, \sigma_{TOA2}, \dots, \sigma_{TOAM}$ — априорные точности измерения времени, $\sigma_{FOA1}, \sigma_{FOA2}, \dots$, σ_{FOAM} — априорные точности измерения частоты

$$\sigma_{D_i} = \sigma_{TOA_i} \cdot c,$$

$$\sigma_{V_i} = \frac{\sigma_{FOA_i}}{F_0} \cdot c,$$
(7)

где σ_{D_i} — априорная точность i-й псевдодальности, σ_{V_i} — априорная точность измерения i-й псевдоскорости.

Матрица $\mathbf{K_d}$ содержит весовые коэффициенты:

$$\mathbf{K_d} = \begin{pmatrix} \sigma_{D_i} & 0 \\ 0 & \sigma_{V_i} \end{pmatrix}, \quad i = 1, \dots, M.$$
 (8)

Измеренные параметры можно обозначить вектором \mathbf{d} :

$$\mathbf{d} = \left\| \widehat{D}_1 \widehat{D}_2 \dots \widehat{D}_M \widehat{V}_1 \widehat{V}_2 \dots \widehat{V}_M \right\|^{\mathrm{T}}.$$
 (9)

Неизвестными параметрами являются $B,\ L,\ \Delta D,\ \Delta V.$ Можно представить их вектором ${f a}$:

$$\mathbf{a} = \|B, L, \Delta D, \Delta V\|^{\mathrm{T}}.$$
 (10)

Зависимость вектора измеренных параметров ${\bf d}$ от неизвестного вектора ${\bf a}$ можно представить через ${\bf \Phi}$:

$$\mathbf{d} = \Phi(\mathbf{a}). \tag{11}$$

Сами зависимости определяются формулами (5) и (6).

Матрица частных производных А

$$\mathbf{A} = \left\| \frac{\partial \mathbf{d}}{\partial \mathbf{a}} \right\|, \quad A_{ij} = \left\| \frac{\partial \Phi_i(\mathbf{a})}{\partial \mathbf{a}_i} \right\|. \tag{12}$$

Тогда корреляционная матрица $\mathbf{K_a}$ находится из выражения [4]:

$$\mathbf{K_a} = \left(\mathbf{A}^{\mathrm{T}} \mathbf{K_d}^{-1} \mathbf{A}\right)^{-1}.$$
 (13)

Через коэффициенты корреляционной матрицы можно вычислить дисперсию определения координат по долготе и широте, а также коэффициент корреляции:

$$\sigma_B = x_{11}k^2,
\sigma_L = x_{22}k^2,
k_{BL} = x_{12}k^2 \cos B_0.$$
(14)

Здесь x_{ij} — элементы корреляционной матрицы, k — коэффициент перевода радиан в линейную меру,

$$k = \left(\frac{180}{\pi}\right) \cdot 111,18. \tag{15}$$

$$\sigma_{\xi} = \sqrt{\left|\sigma_{B}\cos^{2}\alpha + k_{BL}\sin 2\alpha + \sigma_{L}\sin^{2}\alpha\right|},$$

$$\sigma_{\eta} = \sqrt{\left|\sigma_{B}\sin^{2}\alpha - k_{BL}\sin 2\alpha + \sigma_{L}\cos^{2}\alpha\right|},$$

$$\alpha = 0.5 \cdot \arctan\left(\frac{2k_{BL}}{\sigma_{B} - \sigma_{L}}\right),$$
(16)

где α — угол наклона системы координат $(O\xi\eta)$.

Подставив вычисленные σ_{ξ} и σ_{η} в (3), можно **Благодарности** вычислить искомую вероятность определения координат АРБ с ошибкой не более 5 км.

Реализация

По изложенному выше алгоритму была написана программа для планирования наведения на КА антенн СПОИ среднеорбитального сегмента системы КОСПАС-SARSAT.

Программа тестировалась на компьютере, оснащенном процессором с частотой 3,2 ГГц. Шаг для сетки был выбран 111.8 км (примерно 1° по широте). В таких условиях программа просчитывала зону видимости для созвездия, состоящего из 4 КА, за время порядка 0,02 с.

Для группировки, состоящей из 24 КА, одновременно видно из СПОИ не более 8 КА. Таким образом, получаем оценку времени нахождения наилучшего созвездия на данный момент:

$$T = \frac{8!}{4!(8-4)!} \cdot 0.02 = 1.4 \text{ [c]}. \tag{17}$$

Итак, расчет оптимального созвездия по изложенному алгоритму может быть вычислен за допустимое время.

На основе вышеописанного алгоритма было проведено компьютерное моделирование зон обслуживания системы СПОИ. Результаты этого моделирования можно найти в [5].

Автор выражает свою искреннюю признательность Архангельскому В. А. за ценные консультации и советы, а также за проявленное внимание во время написания данной статьи.

Список литературы

- 1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. 4-е изд. М.: Наука, 1969. 576 с.
- 2. ГОСТ Р 51794-2008 Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек.
- 3. NIMA Technical Report TR8350.2. «Department of Defense World Geodetic System 1984, Its Definition and Relationships With Local Geodetic Systems», Third Edition, 4 July.
- 4. Эльясберг П.Е. Определение движения по результатам измерений. М.: Наука, 1976. 416 с.
- 5. Arkhangelskiy V., Beloglazova N., Antonov D. COS-PAS-SARSAT EWG-1/2012. Impact Of TOA/FOA Measurement Accuracy And Number of MEOLUT Antennas On Location Accuracy (Stand-Alone Moscow MEOLUT emulation). 26-30 March 2012, Montreal, Canada.

http://www.cospas-sarsat.int/images/cospas_sarsat/ pdf_uploads/EWG-1%202012%20Presentation-1-Russia.pdf (Дата обращения: 24.12.2014), 15 р.

КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА, ПОИСКА И СПАСАНИЯ

УДК 629.783

Основные принципы использования возможностей системы КОСПАС в интересах обеспечения социальной безопасности в РФ

Ю. Б. Дорофеев¹, **С. В.** Матвеев², **Е. О.** Романов

1,2 к. т. н

OAO «Российские космические системы»

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

Аннотация. В статье показаны назначение и возможности международной системы КОСПАС. Представлены основные принципы и задачи по обеспечению использования возможностей системы КОСПАС в интересах социальной безопасности в РФ.

Ключевые слова: персональный аварийный радиомаяк, спасательные службы, координационный центр, аварийная ситуация

Basic Principles of Using the COSPAS System to Ensure Social Security in the Russian Federation

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

1.2 candidate of engineering science
Joint Stock Company "Russian Space Systems"
e-mail: 1dorov56@yandex.ru, 2smatveev@mailru.ru

Abstract. In article the designated purpose and capabilities of the international system of COSPAS are set forth. The basic principles and tasks of ensuring the use of the COSPAS system in the interests of social safety in the Russian Federation are given.

Key words: personal emergency beacons, rescue services, focal point, emergency situation

Введение

Система КОСПАС (Космическая Система Поиска Аварийных Судов) предназначена для обнаружения судов и самолетов, терпящих бедствие в любой точке земного шара, приема аварийного сообщения и самоопределения с заданной точностью координат места бедствия с целью существенного сокращения времени и затрат на поисковые операции по сравнению с традиционными методами [1].

КОСПАС-SARSAT является международной системой поддержки поисково-спасательных операций, которая позволяет отслеживать сигналы бедствия судовых, авиационных и персональных аварийных радиомаяков, определять их географические координаты и информировать о чрезвычайных происшествиях поисково-спасательные службы и ответственные координационные центры.

При этом ключевая задача КОСПАС-SARSAT — обеспечить максимальную выживаемость в дальнем море и труднодоступных районах суши, где часто отсутствует какая-либо связь и своевременное информирование о чрезвычайных ситуациях предельно затруднено. Доступ к системе является открытым, а использование — безвозмездным для терпящих бедствие.

Данная система имеет глобальную зону обслуживания, точность определения координат ≈ 3.6 км в 95% случаев, задержка в получении аварийного сообщения до 1.5 ч.

Современные требования к системе КОСПАС и принципы использования ее возможностей для обеспечения социальной безопасности

Поисково-спасательные службы, абоненты системы КОСПАС-SARSAT (различные ведомства, физические лица) в настоящее время предъявляют новые и более жесткие требования к данной системе, которые в основном заключаются в необходимости обеспечения отслеживания сигналов бедствия аварийных радиомаяков в режиме реального времени, точного определения их географических

координат и мгновенного информирования о чрезвычайных происшествиях поисково-спасательных служб и координационных центров

В этой связи основными требованиями к модернизируемой системе КОСПАС-SARSAT являются:

- время обнаружения и передачи сообщений в центр поиска и спасания от терпящего бедствие объекта в любой точке земного шара не должно превышать нескольких минут;
- точность определения координат аварийного радиобуя должна быть не хуже десятков метров;
- *высокая надежность* обнаружения и передачи аварийных сообщений;
- возможность передачи подтверждения потерпевшим бедствие о приеме аварийного сообщения (квитанция);
- *глобальное обслуживание* при выполнении вышеуказанных требований по точности, надежности и оперативности.

Создание модернизируемой космической системы поиска и спасания на базе KA «Глонасс-К» в РФ позволит повысить эффективность ее целевого применения на основе:

- обеспечения глобальности обслуживания абонентов системы КОСПАС-SARSAT при одном СПОИ в России:
- повышения оперативности доставки АС;
- снижения затрат на эксплуатацию наземного сегмента, обеспечивающего глобальность за счет снижения числа СПОИ СО с 3–5 до одного.

Для России, располагающей большими малонаселенными территориями суши и большими площадями акваторий морей Мирового океана, создание эффективной системы поиска и спасания имеет большое социальное и хозяйственное значение.

Развитие системы следует рассматривать в двух аспектах: как расширение круга ее пользователей и как техническое совершенствование ее сегментов.

Основными направлениями расширения функций системы КОСПАС в России являются:

- 1. Определение местоположения гражданских лиц, находящихся в аварийных ситуациях, с помощью персональных радиобуев ПРБ-406.
- 2. Определение местоположения пилотируемых и автоматических спускаемых аппаратов при нештатных ситуациях.
- 3. Оповещение о чрезвычайных и аварийных ситуациях на особо опасных объектах.

Для Российской Федерации, имеющей около $60\,\%$ территории без надежной и доступной связи, использование персональных радиобуев является одной из актуальных задач, и поэтому одна из основных функций модернизируемой системы КОСПАС — решение задачи обеспечения социальной безопасности в $P\Phi$ за счет определения местоположения гражданских лиц, находящихся в экстремальных ситуациях, с помощью персональных радиобуев ПРБ-406.

Такие персональные буи (ПАРМ-406М) уже разработаны и выпускаются ОАО «НИИ КП» с $2007~\rm r.$

Персональный аварийный радиомаяк ПАРМ-406М (рис. 1) предназначен для определения и передачи координат места аварии, привода к месту аварии спасательных сил, обеспечения симплексной голосовой связью терпящих бедствие людей с поисковой службой [2].

Данный радиомаяк может использоваться при организации экстремального отдыха и туризма.

Персональный аварийный радиомаяк ПАРМ-406М включает в себя ГЛОНАСС/GPS-приемник с антенной, передатчик ПРД-406, ППУ на частоте 121,5 МГц, приемо-передающую антенну АНТ-АРМ-02, индикатор для отображения навигационной и служебной информации, автономный источник питания, аккумуляторную батарею, зарядное устройство. Имеется возможность комплектации ударопрочным герметичным боксом для хранения и ношения.

Основные характеристики ПРД:

- несущая частота: ПРД-406 406,037 МГц; ПРД-121 121,5 МГц;
- мощность: ПРД-406 5,0 Вт на f=406,037 МГц; ПРД-121 $-\geqslant 30$ мВт на f=121,5 МГц;



Рис. 1. Персональный аварийный радиомаяк ПАРМ-406M

- период излучения посылок $\Pi P \Pi 406 50$ с;
- длительность посылки ПРД-406 440/520 мс;
- диапазон рабочих температур: $-40 \, ^{\circ}\text{C} +55 \, ^{\circ}\text{C}$;
- диапазон предельных температур: $-55\,^{\circ}\text{C} +85\,^{\circ}\text{C}$;
- время непрерывной работы: не менее 24 ч на $f=406{,}037$ МГц; не менее 48 ч на $f=121{,}5$ МГц;
- 24-канальный ГЛОНАСС/GPS-приемник;
- габаритно-массовые характеристики: $55 \times 79 \times 175$ мм, вес 530 г.

Оценка показывает, что разработка буев ПРБ нового поколения, существенно более компактных и доступных по цене широкому кругу пользователей, приведет в ближайшие годы к резкому расширению использования системы, что должно учитываться при техническом совершенствовании всех ее элементов.

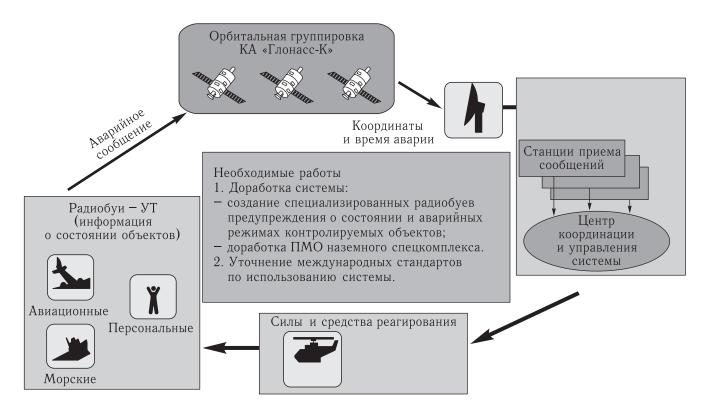


Рис. 2. Подсистема оповещения о критических состояниях контролируемых объектов

В случае принятия необходимых политических решений и соответствующей нормативно-правовой базы возможно создание автоматической системы контроля состояния объектов на базе среднеорбитальных KA «Глонасс-K», оснащенных эксплуатационным ретранслятором для передачи сигналов из диапазона 406~M Гц в L-диапазон.

Принцип работы подсистемы оповещения о критических состояниях контролируемых объектов, использующей информацию системы КОСПАС–SARSAT представлен на рис. 2.

Важнейшей областью применения КОСПАС должно стать использование ее возможностей при создании и внедрении социально-ориентированных информационных систем, обеспечивающих комплексную персонализированную информационную поддержку граждан и групп лиц, находящихся в сложных, связанных с риском для жизни и здоровья ситуациях [3].

В целях обеспечения массового применения современных информационно-навигационных технологий ГЛОНАСС и решения важнейшей задачи повышения уровня жизни и создания безба-

рьерной среды для людей, оказавшихся в трудной жизненной ситуации (инвалидов, лиц с ослабленным здоровьем, социально слабозащищенных категорий граждан), а также в связи с необходимостью выполнения требований Международной конвенции о правах инвалидов и в соответствии с резолюцией Общественной палаты Российской Федерации в ОАО «Российские космические системы» разработан системный проект «Социальный ГЛОНАСС». В проекте определены состав, решаемые задачи и требования к системе «Социальный ГЛОНАСС», основные этапы реализации проекта, кооперация организаций-исполнителей, необходимость и целесообразность использования при реализации проекта ресурсов и технологий существующей системы ГЛОНАСС и ее функциональных дополнений.

Информационные центры системы «Социальный ГЛОНАСС» могут обеспечить прием из координационных центров КОСПАС аварийных сообщений, поступивших от зарегистрированных персональных пользователей, и последующую их передачу в службы спасения (рис. 3).

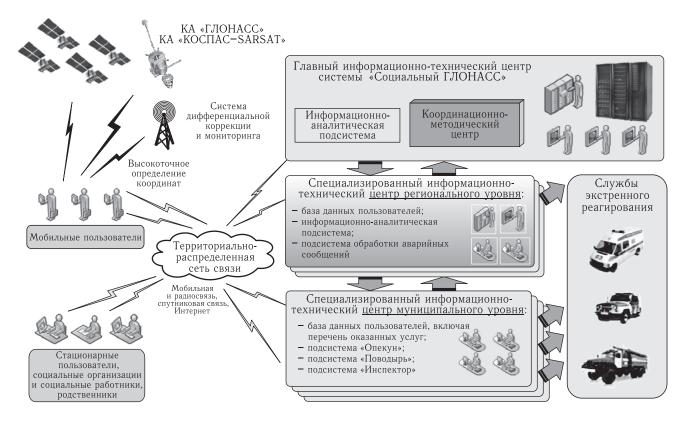


Рис. 3. Архитектура построения системы «Социальный ГЛОНАСС»

Для обеспечения использования имеющихся технических возможностей системы КОСПАС в интересах обеспечения социальной безопасности в РФ в рамках сформулированных предложений должен быть разработан и реализован ряд организационнотехнических мероприятий:

- решение Правительства РФ, определяющее ведомство, которое отвечает за спасение владельцев ПРБ-406 по координатам, полученным из центра системы КОСПАС (МКВЦ);
- выпуск нормативно-технических документов, определяющих технические и эксплуатационные требования к ПРБ-406;
- разрешение главного радиочастотного центра
 РФ на использование ПРБ-406 в России;
- решение федерального или регионального законодательного органа, определяющее ответственность владельца за умышленное включение ПРБ-406 в неаварийной ситуации.

Заключение

Использование возможностей системы КОСПАС в интересах обеспечения социальной безопасности в РФ позволит существенно повысить эффективность действий поисковоспасательных служб и соответственно повысит безопасность и защищенность граждан России в экстремальных и аварийных ситуациях.

Список литературы

- 1. Международная космическая радиотехническая система обнаружения терпящих бедствие. Под ред. В. С. Шебшаевича. М.: Радио и связь, 1987 г. 376 с.
- 2. Требования к радиобуям, работающим в диапазоне частот 406,0–406,1 (РБ-406) второго поколения. Документ организации КОСПАС–SARSAT C/S G.008.
- 3. Положение о социально-экономическом мониторинге. Постановление Правительства РФ № 426 от 1.06.2000 г.

КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА, ПОИСКА И СПАСАНИЯ

УДК 621.396

О новом подходе к получению и обработке изображений ДЗЗ, искаженных турбулентной атмосферой

К. Н. Свиридов

д. т. н., профессор, OAO «Российские космические системы» e-mail: sviridovkn@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены особенности атмосферных искажений изображений ДЗЗ при длинноэкспозиционной и короткоэкспозиционной регистрации. Представлены аналитические выражения для средней оптической передаточной функции системы атмосфера—телескоп в этих условиях. Дана оценка среднего разрешения системы атмосфера—телескоп и показаны преимущества регистрации и обработки короткоэкспозиционных изображений. Предложены новые технологии получения и обработки короткоэкспозиционных изображений ДЗЗ, обеспечивающие достижение высокого разрешения.

Ключевые слова: турбулентная атмосфера, оптическая передаточная функция системы атмосфера-телескоп

A New Approach to Obtaining and Processing Earth Remote Sensing (ERS) Images, Degraded by a Turbulent Atmosphere

K. N. Sviridov

doctor of engineering science, professor, Joint Stock Company "Russian Space Systems" e-mail: sviridovkn@yandex.ru

Abstract. The peculiarities of degradation ERS images in conditions of long-exposure and short-exposure registration are considered. Analytic expressions for average optical transfer function of system atmosphere-telescope in this conditions are presented. Estimation for average resolution of system atmosphere-telescope is given and preferences for registration and processing of short-exposure images are displayed. The new technologies of obtain and process short-exposure ERS images, securityed attaining high resolution, are proposed.

Key words: turbulent atmosphere, optical transfer function of an atmosphere-telescope system

Введение

Наличие турбулентной атмосферы Земли между объектом наблюдения — зондируемым участком земной поверхности и телескопом аэрокосмического аппарата дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) приводит к возникновению двух проблем: проблемы «видения» через турбулентную атмосферу и проблемы «изопланатичности» наблюдаемого участка земной поверхности. При этом если проблема «видения» накладывает ограничения на минимальный размер деталей, разрешаемых на зондируемом участке земной поверхности, то проблема «изопланатичности» ограничивает максимальный размер поля зрения системы атмосфера-телескоп, в котором наблюдаемый участок земной поверхности еще является пространственно-инвариантным к атмосферным искажениям, то есть все точки этого участка искажены одинаковой функцией рассеяния точки системы атмосфера-телескоп.

Эти проблемы атмосферной оптики достаточно полно изучены для наблюдения через турбулентную атмосферу в противоположном направлении, а именно для наземных наблюдений космического пространства, и изложены в монографии К. Н. Свиридова (см. «Технологии достижения высокого углового разрешения оптических систем атмосферного видения». М.: Знание, 2005 г.) [1]. Учитывая принцип «взаимности» распространения в турбулентной атмосфере (см. J. H. Shapiro «Reciprocity of the Turbulent Atmosphere», Journal of The Optical Society of America, 1971, vol. 61, p. 492-495) [2], можно использовать некоторые результаты, полученные при решении задач контроля космического пространства через турбулентную атмосферу, для решения проблем дистанционного зондирования Земли через турбулентную атмосферу.

В основе предлагаемого здесь подхода лежат отличия в характере атмосферных искажений длинноэкспозиционного (среднего) и короткоэкспозиционного (мгновенного) изображений. Так, если длинноэкспозиционное изображение, усредненное по атмосферным искажениям за время экспозиции τ_{\Im} , большее времени «замороженности» турбулентностей атмосферы τ_{Λ} , обладает худшим разрешением, чем мгновенное короткоэкспозиционное изображение, регистрируемое за время τ_{\Im} ,

меньшее времени «замороженности» турбулентностей атмосферы $\tau_{\rm A}$, то оно является пространственно инвариантным к атмосферным искажениям во всем поле зрения системы атмосфера—телескоп, в отличие от короткоэкспозиционного изображения, состоящего в этом поле из ряда мгновенных областей изопланатичности, пространственнонеинвариантных к атмосферным искажениям. Эти отличия навели на мысль о целесообразности комбинированного использования длинноэкспозиционного изображения и серии из N спектрально фильтруемых короткоэкспозиционных изображений.

Для количественной оценки и сравнения разрешения, получаемого через турбулентную атмосферу при длинноэкспозиционной регистрации изображения, и разрешения, получаемого через турбулентную атмосферу при короткоэкспозиционной регистрации изображения, кратко изложим результаты, полученные Фридом в работе D. L. Fried «Optical Resolution Through a Randomly Inhomogeneous Medium for Very Long and Very Short Exposures» (см. Journal of The Optical Society of America, 1996, vol. 56, р. 1372–1379) [3], и описанные в монографии К. Н. Свиридова «Атмосферная оптика высокого углового разрешения», т. 1. М.: Знание, 2007 г. [4].

Оптическая передаточная функция (ОПФ) системы атмосфера-телескоп

Изображение, наблюдаемое в телескоп через турбулентную атмосферу, оказывается искаженным как аберрациями телескопа, так и турбулентностью атмосферы. Основной характеристикой, с помощью которой описываются эти искажения, является атмосферно-линзовая оптическая передаточная функция (ОПФ). Формально ОПФ вводится как двумерное преобразование Фурье от распределения интенсивности $I(\vec{\rho})$ изображения точечного источника — функции рассеяния точки (ФРТ). $I(\vec{\rho})$ имеет вид

$$I(\vec{\rho}) = A \iint W(\vec{r}_1) \cdot W(\vec{r}_2) E(\vec{r}_1) E(\vec{r}_2) \times e^{-i\frac{K}{F} \vec{\rho}(\vec{r}_1 - \vec{r}_2)} d\vec{r}_1 d\vec{r}_2, \quad (1)$$

где $\vec{\rho}$ и \vec{r} — координаты в плоскостях изображения и апертуры телескопа соответственно, $W(\vec{r})$ — безаберрационная апертурная функция, равная единице в пределах раскрыва и нулю вне его, F — фокусное расстояние телескопа, $k=2\pi/\overline{\lambda},\,\overline{\lambda}$ — средняя длина волны излучения Солнца, A — нормирующий множитель, зависящий от энергетических характеристик излучения, а $E(\vec{r})$ — функция, описывающая вид поля на приемной апертуре.

В общем случае $E(\vec{r}) = \exp[\chi(\vec{r}) + i\theta(\vec{r})]$, где $\theta(\vec{r})$ и $\chi(\vec{r})$ соответственно, набег фазы и изменение логарифма амплитуды, обусловленные наличием турбулентной атмосферы. Эти величины являются случайными и их статистические характеристики определяются статистическими свойствами атмосферной трассы.

Если ввести пространственно-частотный вектор $\vec{f}=(\vec{r_1}-\vec{r_2})/\overline{\lambda}F$, то атмосферно-линзовая ОПФ $\tau(\vec{f})$, как функция вектора \vec{f} , определяется выражением

$$\tau(\vec{f}) = B \int I(\vec{p})e^{i2\pi \vec{f}\vec{p}} d\vec{p}, \qquad (2)$$

где B — нормирующий множитель, выбираемый таким образом, чтобы $\tau(0)=1$. Подставляя (1) в (2), получаем

$$\tau(\vec{f}) = AB \int W(\vec{r})W(\vec{r} - \overline{\lambda}F\vec{f}) \times \\ \times \exp\{\left[\chi(\vec{r}) + \chi(\vec{r} - \overline{\lambda}F\vec{f})\right] + \\ + i\left[\theta(\vec{r}) - \theta(\vec{r} - \overline{\lambda}F\vec{f})\right]\} d\vec{r}. \quad (3)$$

Вследствие случайного характера функций $\theta(\vec{r})$ и $\chi(\vec{r})$ функция $\tau(f)$ также является случайной. Ее статистические характеристики зависят как от природы атмосферных искажений, так и от времени, в течение которого осуществляется регистрация изображения. Влияние длительности экспозиции $au_{\mathfrak{I}}$ проявляется в том, насколько полно за время регистрации происходит усреднение $au(ec{f})$ по возможным случайным реализациям функций $\theta(\vec{r})$ и $\chi(\vec{r})$. При экспозиции $au_{\mathfrak{I}}$, меньшей времени «замороженности» турбулентной атмосферы $\tau_{\rm A}$, то есть времени, в течение которого параметры атмосферы остаются практически неизменными, усреднения $\tau(f)$ вообще не происходит. Поэтому каждому новому наблюдению будет соответствовать своя (случайная) атмосфернолинзовая ОПФ. При достаточно большой экспозиции $au_{\mathfrak{I}}$ относительно $au_{\mathfrak{A}}$, такой, что в процессе регистрации появляются самые разные реализации случайных функций $au(\vec{r})$ и $\chi(\vec{r})$, происходит фактическое усреднение $\tau(\vec{f})$ по этим реализациям. Теперь $\tau(\vec{f})$ не меняется от наблюдения к наблюдению и регистрируемое изображение характеризуется средней функцией $\tau(\vec{f})$. Эти два крайних случая малой и большой экспозиций — предмет дальнейшего рассмотрения.

1. Начнем со случая длинной экспозиции. В соответствии с вышеизложенным ОПФ для длинной экспозиции определяется как среднее значение $\tau(\vec{f})$ по ансамблю возможных реализаций $\theta(\vec{f})$ и $\chi(\vec{f})$. Обычно предполагают, что $\theta(\vec{r})$ и $\chi(\vec{r})$ являются реализациями нормального однородного случайного процесса, так что выполняется соотношение

$$\langle \exp\{\left[\chi(\vec{r}) + \chi(\vec{r} - \overline{\lambda}F\vec{f})\right] + i\left[\theta(\vec{r}) - \theta(\vec{r} - \overline{\lambda}F\vec{f})\right] \rangle =$$

$$= \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\widetilde{D}_{\chi}(\overline{\lambda}Ff) + \widetilde{D}_{\theta}(\overline{\lambda}Ff)\right] \right\} =$$

$$= \exp\left[-\frac{1}{2}\widetilde{D}(\overline{\lambda}Ff)\right], \quad (4)$$

где $f=|\vec{f}|,~\widetilde{D}_{\theta}(\overline{\lambda}Ff)=\langle[\theta(\vec{r})-\theta(\vec{r}-\overline{\lambda}F\vec{f})]^2\rangle$ и $\widetilde{D}_{\chi}(\overline{\lambda}Ff)=\langle\chi(\vec{r})-\chi(\vec{r}-\overline{\lambda}F\vec{f})]^2\rangle$ — структурные функции флуктуаций фазы и логарифма амплитуды соответственно, а $\widetilde{D}(\overline{\lambda}Ff)=\widetilde{D}_{\theta}(\overline{\lambda}Ff)+\widetilde{D}_{\chi}(\overline{\lambda}Ff)$ — волновая структурная функция.

Нетрудно убедится, что с учетом этого соотношения выражение для длинноэкспозиционной ОПФ имеет вид

$$\begin{split} \langle \tau(f) \rangle_{\text{\tiny A9}} &= \langle \tau(f) \rangle = AB \int W(\vec{r}) W(\vec{r} - \overline{\lambda} F \vec{f}) \times \\ &\times \langle \exp\{[X(\vec{r}) + X(\vec{r} - \overline{\lambda} F \vec{f})] + \\ &+ i [\theta(\vec{r}) - \theta(\vec{r} - \overline{\lambda} F \vec{f})] \} \rangle \, d\vec{r} = \\ &= \tau_0(f) \exp\left\{ -\frac{1}{2} \widetilde{D}(\overline{\lambda} F f) \right\}, \quad (5) \end{split}$$

где $au_0(f) = AB\int W(\vec{r})W(\vec{r}-\overline{\lambda}F\vec{f})\,d\vec{r}$ — оптическая передаточная функция телескопа для круглой апертуры с радиусом D/2.

Величина $au_0(f)$ равна площади перекрытия двух кругов с одинаковыми радиусами D/2, центры

которых расположены друг от друга на расстоянии $\overline{\lambda} Ff$, так что

$$\tau_0(f) = \begin{cases} \frac{2}{\pi} \left[\arccos \frac{(\overline{\lambda} F f)}{D} - \frac{(\overline{\lambda} F f)}{D} \sqrt{1 - \left(\frac{\overline{\lambda} F f}{D}\right)^2} \right], \\ \text{для } \overline{\lambda} F f \leqslant D, \\ 0, \qquad \text{для } \overline{\lambda} F f > D \end{cases}$$
 (6)

Первый сомножитель в (5) является характеристикой только оптической системы, а второй — только атмосферного тракта, в чем легко убедиться, если ввести новую пространственную частоту f'=fF.

2. При короткой экспозиции функция $\tau(f)$ является случайной. Для вычисления ее среднего значения Фрид предложил выделять некоторый наклон из случайной реализации фазового фронта и осуществлять усреднение по тем же правилам, что и в предыдущем случае, но без учета этого наклона. Получаемая в результате такого усреднения $\langle \tau(f) \rangle_{k-2}$ совпадает со средним значением $\tau(f)$ для случая короткой экспозиции. Это обусловлено тем, что наклон фазового фронта приводит лишь к смещению изображения в фокальной плоскости, которое от наблюдения к наблюдению, хотя и является случайной величиной (в силу случайности самого наклона), но при данном наблюдении с короткой экспозицией оно (смещение) неизменно и поэтому не влияет на разрешение изображения.

Пусть $\theta(\vec{r})$ есть некоторая конкретная реализация фазового фронта. Для определения наклона этого фазового фронта введем вектор \vec{a} такой, что плоскость $(\vec{a}\cdot\vec{r})$ наилучшим образом аппроксимируют $\theta(\vec{r})$ в смысле среднеквадратичного отклонения по апертуре, то есть

$$\int W(\vec{r}) \cdot [\theta(\vec{r}) - \vec{a} \cdot \vec{r}]^2 d\vec{r} = \min.$$

Тогда в соответствии со сделанными выше замечаниями, опуская в выражении для $\tau(\vec{f})$ информацию о наклоне, которая описывается множителем $\exp(-i\vec{a}\overline{\lambda}F\vec{f})$, имеем

$$\langle \tau(\vec{f}) \rangle_{\text{K9}} = AB \int W(\vec{r})W(\vec{r} - \overline{\lambda}F\vec{f}) \times$$

$$\times \langle \exp\{[\chi(\vec{r}) + \chi(\vec{r} - \overline{\lambda}F\vec{f})] + i[(\theta(\vec{r}) - \vec{a} \cdot \vec{r}) - (\theta(\vec{r} - \overline{\lambda}F\vec{f}) - \vec{a}(\vec{r} - \overline{\lambda}F\vec{f}))]\} \rangle d\vec{r}.$$
 (7)

Заметим, что \vec{a} является случайным вектором и его конкретное значение определяется из уравнения

$$\frac{\partial}{\partial \vec{a}} \left[W(\vec{r})[\theta(\vec{r}) - \vec{a} \cdot \vec{r}]^2 d\vec{r} = 0.$$
 (8)

Воспользовавшись (7) и (8), после ряда преобразований получаем для высоты H космического аппарата ДЗЗ, находящегося в ближней зоне (зоне Френеля) при $D>(\overline{\lambda}H)^2$ и $\widetilde{D}_{\theta}(r)=\widetilde{D}(r)$

$$\langle \tau(\vec{f}) \rangle_{\text{K9}} =$$

$$= \tau_0(f) \exp \left\{ -\frac{1}{2} [\widetilde{D}(\overline{\lambda}Ff) - (\overline{\lambda}Ff)^2 \langle \vec{a} \cdot \vec{a} \rangle] \right\}, \quad (9)$$

где

$$\langle \vec{a} \cdot \vec{a} \rangle = \frac{64}{D^4} \int_0^D \vec{r} \, d\vec{r} [\Phi_1(\vec{r}, D) - \Phi_2(\vec{r}, D)] \cdot \widetilde{D}(\vec{r}),$$

D — диаметр апертуры телескопа,

$$\begin{split} &\Phi_1(\vec{r},D) = \\ &= (\pi)^{-1} \left[2\arccos(\vec{r}/D) - 2(\vec{r}/D)\sqrt{1 - (\vec{r}/D)^2} \right], \\ &\Phi_2(\vec{r},D) = (\pi)^{-1} \bigg\{ 6\arccos(\vec{r}/D) - \\ &- \left[14(\vec{r}/D) - 8(\vec{r}/D)^3 \right] \sqrt{1 - (\vec{r}/D)^2} \bigg\}. \end{split}$$

Таким образом, $\langle \tau(f) \rangle_{\mathrm{K-9}}$, как и $\langle \tau(f) \rangle_{\mathrm{Д-9}}$, представима в виде произведения двух сомножителей. Однако если первые сомножители у них одинаковые, то вторые — разные, причем в коротко-экспозиционном случае второй сомножитель является функцией не только параметров атмосферы, но и самой формирующей оптической системы и, в частности, диаметра ее апертуры D. Сравнивая (5) и (9), нетрудно видеть, что $\langle \tau(f) \rangle_{\mathrm{K9}}$ больше $\langle \tau(f) \rangle_{\mathrm{д9}}$ для всех пространственных частот f.

Чтобы установить конкретный вид ОПФ, необходимо конкретизировать зависимость $\widetilde{D}(r)$. Часто используют аппроксимацию вида

$$\widetilde{D}(r) = 6.88(r/r_0)^{5/3},$$
(10)

где r_0 — пространственный радиус корреляции атмосферных флуктуаций светового излучения (так называемый параметр Фрида), который зависит от протяженности трассы распространения в турбулентной атмосфере, длины волны, степени турбулентности вдоль трассы, природы неискаженного волнового фронта и определяется для сферической волны как

$$r_0(\overline{\lambda}, L) = \left[0.423 \left(\frac{2\pi}{\overline{\lambda}} \right)^2 \int_0^L C_n^2(h) \left(\frac{h}{L} \right)^{5/3} dh \right]^{-3/5}.$$

Подставляя (10) в (5) и (9), получаем

$$\begin{split} &\langle \tau(f) \rangle_{\mathrm{H}^{\mathfrak{I}}} = \tau_{0}(f) \exp \big\{ -3.44 (\overline{\lambda} F f/r_{0})^{5/3} \big\}, \quad (12) \\ &\langle \tau(f) \rangle_{\mathrm{K}^{\mathfrak{I}}} = \tau_{0}(f) \times \\ &\times \exp \big\{ -3.44 (\overline{\lambda} F f/r_{0})^{5/3} [1 - (\overline{\lambda} F f/D)^{1/3}] \big\}. \end{split}$$

Разрешающая способность системы атмосфера-телескоп

Средняя разрешающая способность, реализуемая в системе атмосфера-телескоп, может быть охарактеризована величиной R, определяемой [3]

$$R = \int \langle \tau(\vec{f}) \rangle \, d\vec{f},\tag{14}$$

которая для выражений (12) и (13) имеет вид

$$R_{\text{дэ}} = 4 \frac{D^2}{\lambda F} \int_0^1 \left(\arccos u - u \sqrt{1 - u^2} \right) \times \\ \times \exp \left[-3.44 \left(\frac{D}{r_0} \right)^{5/3} \cdot u^{5/3} \right] u \, du, \qquad (15)$$

$$R_{\text{K9}} = 4 \frac{D^2}{\lambda F} \int_0^1 \left(\arccos u - u \sqrt{1 - u^2} \right) \times \\ \times \exp \left[-3.44 \left(\frac{D}{r_0} \right)^{5/3} \cdot u^{5/3} (1 - u^{1/3}) \right] u \, du, \qquad (16)$$

где u = (r/D).

Если устремить D к бесконечности и тем самым исключить дифракционные искажения,

вносимые оптической системой, то получим максимальное значение разрешающей способности, которое может быть достигнуто при данных параметрах турбулентной атмосферы. Например, в случае длинной экспозиции имеем

$$R_{\mathrm{max}} = \lim_{D \to \infty} R_{\mathrm{A9}} = \left(\frac{\pi}{4}\right) (r_0/\overline{\lambda}F)^2 \left[\frac{\mathrm{LIMKJ}^2}{\mathrm{M}^2}\right].$$
 (17)

Нормируем $R_{\rm дэ}$ и $R_{\rm кэ}$ на «предельное разрешение» (17) и получаем

(11)
$$\frac{R_{\pi^{3}}}{R_{\text{max}}} = \frac{16}{\pi} \left(\frac{D}{r_{0}}\right)^{2} \int_{0}^{1} u \cdot du \left[\arccos u - u(1 - u^{2})^{1/2}\right] \times \exp \left[-3,44 \left(\frac{D}{r_{0}}\right)^{5/3} u^{5/3}\right], \qquad (18)$$
(13)
$$\frac{R_{\kappa^{3}}}{R_{\text{max}}} = \frac{16}{\pi} \left(\frac{D}{r_{0}}\right)^{2} \int_{0}^{1} u \cdot du \left[\arccos u - u(1 - u^{2})^{1/2}\right] \times \exp \left[-3,44 \left(\frac{D}{r_{0}}\right)^{5/3} u^{5/3} (1 - u^{1/3})\right]. \qquad (19)$$

Эти два интеграла были оценены количественно для различных отношений D/r_0 и изображены на рис. 1. Таблица дает величины, по которым были построены графики на рис. 1.

На основании полученных результатов видно, что существенно лучшее разрешение может быть

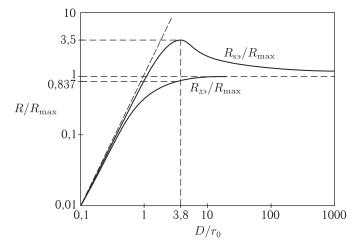


Рис. 1. Зависимость нормированного разрешения $R/R_{
m max}$ от нормированного диаметра телескопа D/r_0

Таблица 1. Зависимость нормированного разрешения от нормированного диаметра

| D/r_0 | $R_{	t д 	ext{9}}/R_{	ext{max}}$ | $R_{	ext{	iny K9}}/R_{	ext{max}}$ |
|---------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 0,1 | 0,00978 | 0,00997 |
| 0,5 | 0,1852 | 0,237 |
| 1,0 | 0,445 | 0,844 |
| 2,0 | 0,669 | 2,360 |
| 3,0 | 0,797 | 3,320 |
| 3,5 | 0,826 | 3,490 |
| 3,8 | 0,837 | 3,500 |
| 4,0 | 0,848 | 3,480 |
| 5,0 | 0,878 | 3,200 |
| 7,0 | 0,913 | 2,520 |
| 10,0 | 0,939 | 2,050 |
| 15,0 | 0,960 | 1,780 |
| 20,0 | 0,970 | 1,654 |
| 30,0 | 0,980 | 1,524 |
| 50,0 | | 1,407 |
| 100,0 | | 1,298 |
| 200,0 | | 1,223 |
| 500,0 | | 1,156 |
| 1000,0 | | 1,120 |

достигнуто с короткой экспозицией по сравнению с длинной экспозицией. При этом максимум короткоэкспозиционного разрешения имеет место при $D_{\text{опт}}=3,8\cdot r_0$, а выигрыш в разрешении короткоэкспозиционной регистрации по сравнению с длинноэкспозиционной регистрацией в этом случае равен $\frac{3,50}{0,837}=4,18$ раз.

Рассмотрим теперь реализацию предлагаемого полхола.

Технология получения изображений ДЗЗ

При получении короткоэкспозиционных изображений в соответсвии с проведенными ранее исследованиями (см. К. Н. Свиридов и др. «Статистическая оценка спектральной полосы метода пятенной интерферометрии». Оптика и спектроскопия, 1983, т. 54, вып. 5, с. 890 [5] для устранения частотного усреднения атмосферных искажений в формируемом изображении необходимо

осуществлять спектральную фильтрацию принимаемого светового излучения.

При этом полоса частот $\Delta\lambda$ фильтра выбирается исходя из величины среднеквадратичного отклонения атмосферных искажений фазы θ светового излучения σ_{θ} и определяется выражением $\Delta\lambda\leqslant\Delta\lambda_{\rm A}=\overline{\lambda}/\sigma_{\theta}.$

В соответствии с экспериментальными данными величина σ_{θ} может изменяться в широких пределах и имеет максимальные значения порядка 10-20 рад, что для $\overline{\lambda}=5000$ Å дает величину $\Delta\lambda_{\rm A}==(500-250)$ Å, $\Delta\lambda\leqslant250$ Å.

Требуемая полоса спектральной фильтрации оказывается достаточно узкой и заметно ослабляет яркость формируемого изображения. Для компенсации этого ослабления предлагается перед детектированием усиливать яркость сформированного изображения в усилителе яркости изображений.

Для детектирования короткоэкспозиционных (мгновенных) изображений время экспонирования $au_{\mathfrak{I}}$ должно быть меньше времени «замороженности» турбулентности атмосферы $au_{\mathfrak{A}}$. В соответствии с проведенными исследованиями величина $au_{\mathfrak{A}}$ изменяется в широких пределах: $au_{\mathfrak{A}} = (1-100)$ мс и имеет минимальные значения $au_{\mathrm{Amin}} = 1$ мс. Учитывая это, при короткоэкспозиционной регистрации необходимо выбирать $au_{\mathfrak{I}} \leqslant au_{\mathfrak{A}} = 1$ мс.

При регистрации серии спектрально-фильтруемых короткоэкспозиционных изображений необходимо обеспечить их независимость другот друга по атмосферным искажениям.

Это требует выбора интервала времени между отдельными короткоэкспозиционными регистрациями в серии, превышающим инерционность детектора $\tau_{\rm д}$. Действительно, вследствие инерционности квадратичного панорамного детектора суперкремникона на его мишени может сохраняться остаточный заряд от 4–5 предыдущих кадров при регистрации последующих, что может привести к накоплению и усреднению регистрируемых короткоэкспозиционных изображений. Для устранения влияния инерционности детектора предлагается регистрировать выборочные кадры, а не все подряд, и между регистрациями очищать детектор от остаточного заряда.

При такой стратегии детектирования, назовем ее стратегий «выборочного кадра», работа квадратичного панорамного детектора осуществляется следующим образом:

кадр 1 — диск вращающегося прерывателя светового излучения (затвора), синхронизированного с частотой кадров квадратичного панорамного детектора, открывает фотокатод на время экспозиции τ_9 , согласованное с интервалом временной корреляции атмосферных флуктуаций $\tau_9 \leqslant \tau_{A\min}$. В течение этого интервала (экспонирования) считывающий луч квадратичного панорамного детектора запирается стробирующим импульсом управления;

кадр 2 — считывающий луч включается, и кремниевая поверхность мишени квадратичного панорамного детектора считывается в электронные цепи усиления, формирования и обработки видеосигнала;

кадр 3 — вспыхивает светодиод, насыщая кремниевую поверхность мишени квадратичного панорамного детектора и обеспечивая однородность последующего стирания мишени без остатков изображения;

кадры 4, 5, 6, 7, 8 — обычное считывание мишени, как в кадре 2, чтобы полностью разрядить ее кремниевую поверхность.

Таким образом, кадр 1 используется для записи сформированного изображения на мишень, кадр 2 — для считывания изображения с мишенями и формирования видеосигнала, а кадры 3–8 — используется для стирания мишени квадратичного панорамного детектора.

Затворы, обеспечивая реализацию стратегии «выборочного кадра», экспонируют только один кадр квадратичного панорамного детектора из каждых восьми. При заданной затворами производительности цикла детектирования 12,5% практически регистрируются только 6 кадров в 1 с с промежутком времени между экспонируемыми изображениями $\tau_{\rm II}=7\cdot\tau_{\rm K}=140$ мс, где $\tau_{\rm K}=$ время одного кадра, $\tau_{\rm K}=20$ мс при частоте 50 Гц. Наличие такого промежутка $\tau_{\rm II}>\tau_{\rm II}$ способствует тому, что регистрируемые изображения являются независимыми друг от друга по атмосферным искажениям, а также свободны от упомянутых выше эффектов инерционности мишени квадратичного

панорамного детектора 9. Оба эти факта свидетельствуют об отсутствии усреднения регистрируемых короткоэкспозиционных изображений, исходных для обработки серии.

Зарегистрированные и оцифрованные изображения передаются по радиолинии на Землю для последующей обработки.

Технология обработки изображений ДЗЗ

В соответствии с предлагаемым подходом при обработке зарегистрированной серии N спектрально-фильтруемых короткоэкспозиционных изображений, пространственно неинвариантных к атмосферным искажениям, осуществляют следующую последовательность операций (рис. 2):

- 1) суммируют N зарегистрированных спектрально-фильтруемых короткоэкспозиционных изображений, совмещая их характерные точки, и формируют при этом среднее изображение, пространственно-инвариантное к атмосферным искажениям, эквивалентное длинноэкспозиционному изображению;
- 2) оценивают размер мгновенной области изопланатичности системы атмосфера-телескоп в фокальной плоскости F изображения телескопа ДЗЗ,

$$r_{\text{\tiny M}}(\overline{\lambda}, L) = r_0(\overline{\lambda}, L) \cdot \frac{F}{L},$$
 (20)

где $r_0(\overline{\lambda},L)$ — пространственный радиус корреляции атмосферных флуктуаций светового излучения на границе $L\approx 10$ км турбулентного слоя, равный $r_0(\overline{\lambda},L)\approx 0.1$ м;

- 3) используя «скользящее окно» в виде Π -образной функции размера $r_{\rm H}(\overline{\lambda},F)$, выделяют в каждом зарегистрированном короткоэкспозиционном изображении пространственно-инвариантные (изопланатичные) области, обладающие случайными атмосферными сдвигами;
- 4) сравнивают короткоэкспозиционные изображения со сформированным длинноэкспозиционным и сдвигают выделенные изопланатичные области короткоэкспозиционных изображений в соответствии с их расположением в пространственноинвариантном длинноэкспозиционном изображении;

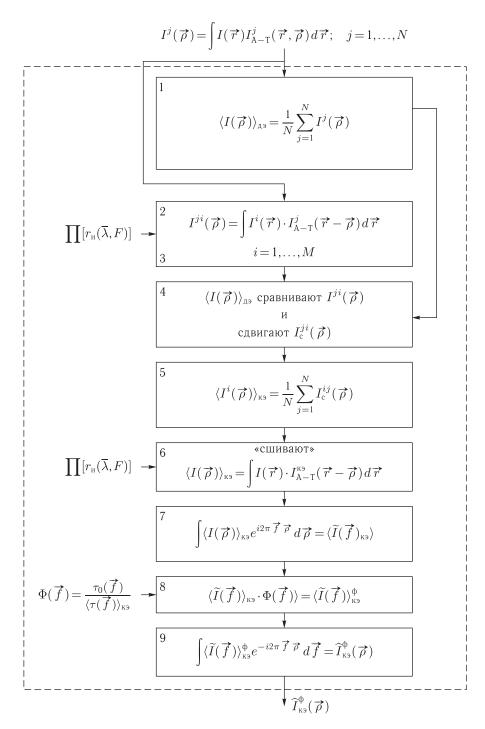


Рис. 2. Блок схема алгоритма обработки изображений ДЗЗ

- 5) для каждой области изопланатичности со скомпенсированными атмосферными сдвигами осуществляют суммирование по N изображениям серии и формируют среднее короткоэкспозиционное изображение каждой изопланатичной области зондируемого участка земной поверхности;
- 6) с учетом использованной ранее в п. 3) П-образной функции «скользящего окна» осуществляют «сшивание» в одном кадре средних короткоэкспозиционных изображений всех выделенных областей изопланатичности с учетом их местоположения и ориентации в исходных изображениях

и формируют при этом среднее короткоэкспозиционное изображение зондируемого участка земной поверхности, пространственно-инвариантное к атмосферным искажениям;

- 7) преобразуют сформированное среднее короткоэкспозиционное изображение зондируемого участка земной поверхности по Фурье в область пространственного спектра;
- 8) пространственно фильтруют спектр сформированного среднего короткоэкспозиционного изображения средней короткоэкспозиционной оптической передаточной функцией системы атмосфера—телескоп;
- 9) при обратном п. 7) Фурье-преобразовании от фильтрованного пространственного спектра п. 8) восстанавливают изображение зондируемого участка земной поверхности, обладающее высоким разрешением.

Заключение

Реализация предложенного подхода позволяет учесть и скомпенсировать влияние турбулентности атмосферы как при формировании и детектировании изображений зондируемого участка земной поверхности, так и при их последующей обработке, что позволяет повысить качество (разрешение) изображения зондируемого участка земной поверхности максимально в $\sim 8,36$ раза.

Действительно, в соответствии с проведенными исследованиями получено, что при оптимальном соотношении $D=3.8r_0(\overline{\lambda},H)$, где $r_0(\overline{\lambda},H)$ — пространственный радиус корреляции атмосферных флуктуаций светового излучения на высоте H космического аппарата ДЗЗ максимальный выигрыш в разрешении среднего короткоэкспозиционного изображения по сравнению с разрешени-

ем традиционно получаемого среднего длинноэкс-позиционного изображения составляет $R_{\rm K9}/R_{\rm Д9}=$ = 4,18 раз, а пространственная фильтрация среднего короткоэкспозиционного изображения позволяет дополнительно повысить пространственное разрешение обрабатываемого изображения зондируемого участка земной поверхности в 2 раза [1].

Рассмотренная выше последовательность операций нового подхода к получению и обработке изображений ДЗЗ оформлена заявкой на изобретение, по которой получено положительное решение и выдан патент РФ [6]. Это свидетельствует о новизне и полезности предложенного подхода, а главное, о целесообразности его внедрения.

Список литературы

- 1. *Свиридов К. Н.* Технологии достижения высокого углового разрешения оптических систем атмосферного видения. М.: Знание, 2005.
- 2. *Shapiro J. H.* Reciprocity of the Turbulent Atmosphere // Journal of The Optical Society of America, 1971, vol. 61, p.492–495.
- 3. *Fried D. L.* Optical Resolution Through a Randomly Inhomogeneous Medium for Very Long and Very Short Exposures // Journal of The Optical Society of America, 1966, vol. 56, p. 1372–1379.
- 4. *Свиридов К. Н.* «Атмосферная оптика высокого углового разрешения, т. І. М: изд. Знание, 2007.
- 5. Свиридов К. Н. Статистическая оценка спектральной полосы метода пятенной интерферометрии // Оптика и спектроскопия, т. 54, вып. 5, стр. 890–1983.
- Свиридов К. Н. Способ дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), заявка ОАО «Российские космические системы» на изобретение № 2013125540 от 03.06.2013. Патент РФ № 2531024 от 20.08.2014.

КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ И РЕТРАНСЛЯЦИИ: ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

УДК 651.011.42

Информационные технологии в современном документообороте

О. Г. Блинова

к. т. н., OAO «Российские космические системы» e-mail: contact@spacecorp.ru

Аннотация. Рассматривается обобщенная схема системы электронного документооборота организации, решаемые задачи и возможности. Обобщены требования и особенности построения интегрированной системы электронного архива. Сформулированы рекомендации по интегрированию функций современного электронного архива с востребованными системами управления производственными данными.

Ключевые слова: жизненный цикл изделия, информационная поддержка изделия, электронный документооборот, электронный архив

Information Technologies in Modern Document Management

O. G. Blinova

candidate of engineering science, Joint Stock Company "Russian Space Systems" e-mail: contact@spacecorp.ru

Abstract. The article discusses the generalized scheme of electronic document organization, tasks and opportunities. The requirements and design features of the integrated system of electronic archive are summarized. Recommendations on the integration of functions of a modern electronic archive with a demand management system of production data are given.

Key words: life cycle of a product, product information support, electronic document management, electronic archive

Введение

Для обеспечения эффективного участия человека в управлении различными технологическими процессами необходимо документирование информации [1]. Для последующих анализов требуется накопление статистических исходных данных посредством регистрации состояний и значений параметров процесса во времени. На основании этого проверяется соблюдение регламента технологического процесса, анализируется формирование качества продукции, контролируются действия персонала в нештатных ситуациях, осуществляется поиск направлений совершенствования процесса и т. д.

Особое значение этот факт приобретает в области космического приборостроения, где требования к надежности и качеству продукции, зависящие в значительной мере и от используемых базовых технологий, играют первостепенную роль.

В свою очередь, конкретные информационные технологии являются составной частью современного документооборота и осуществляют информационную поддержку разрабатываемых изделий (ИПИ) практически на всех этапах их жизненного цикла (ЖЦИ). Основу информационной среды при этом представляют интегрированные системы электронного документооборота (СЭД) и электронного архива (ЭА) организации-производителя, сформированные в рамках ИПИ-технологии.

Обобщенная схема электронного документооборота организации

Электронный документооборот является одним из основополагающих компонентов ИПИтехнологии, обеспечивающих информационное взаимодействие как между участниками жизненного цикла изделия (ЖЦИ), так и внутри «каждого» из участников. На рисунке приведена схема электронного документооборота организации ЖЦИ. Принципиально данная схема может быть отнесена к каждому участнику ЖЦИ. Как следует из представленной схемы, все участники ЖЦИ организации посредством корпоративной вычислительной сети организации (КВСО) имеют доступ к инфор-

мационному ресурсу корпоративной информационной среды организации (КИСО), а также через средства коммуникации и связи к разрешенным информационным ресурсам других участников ЖЦИ.

Информационную основу КИСО составляют:

- объединенная база данных (ОБД) организации, представляющая собой организованную совокупность специализированных баз данных (СБД);
- информационные ресурсы электронного архива.

Как правило, объединенная база данных, электронный архив совместно с участниками жизненного цикла изделия организации образуют корпоративную информационную среду организации. При этом, безусловно, на переходном к ЭДО этапе используется информационный ресурс бумажного архива (БА) предприятия.

Решаемые задачи и возможности электронного документооборота

Современные СЭД способствуют повышению эффективности управления организации в целом и его отдельными целевыми и многопрофильными подразделениями (отделами, отделениями и пр.) различных структур и назначения. С использованием современной СЭД формируются и развиваются многофункциональные системы управления информационными потоками и документами организации (и в определенной степени кооперацией участников ЖЦИ). Как правило, СЭД содержат инструментарий для автоматизации документооборота и обеспечивает работу как в рамках отдела разного профиля (научно-исследовательского, производственного, канцелярии, отдела системного моделирования и автоматизированной поддержки управленческих решений и др.), так и в рамках всей организации со сложной схемой разнотипных информационных потоков.

СЭД способствуют решению ряда комплексных задач организации, как то:

 повышение эффективности управления бизнеспроцессами за счет улучшения исполнительской дисциплины, оптимизации контроля выполнения задач, анализа организационнораспорядительной деятельности;

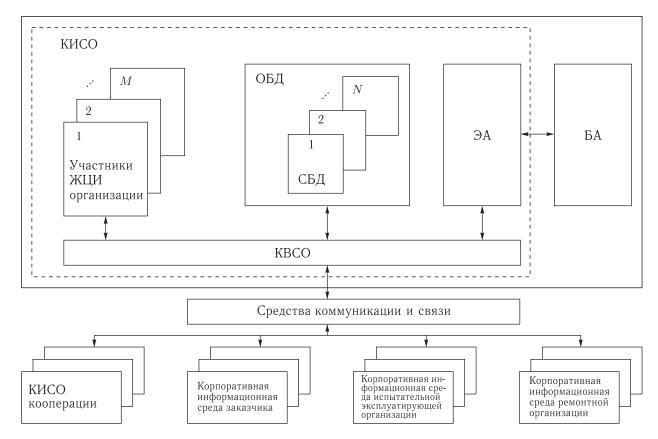


Рисунок. Схема электронного документооборота организации в рамках ИПИ-технологии

- сокращение непроизводительных затрат рабочего времени сотрудников и издержек на расходные материалы;
- создание единого информационного пространства организации;
- обеспечение надежности учета и хранения документации;
- организация эффективной защиты информации.
 Современные СЭД позволяют:
- осуществлять регистрацию, хранение и мгновенный поиск документов в единой базе данных;
- организовывать контроль исполнения поручений;
- формировать единые журналы и отчеты.
 Основными функциями СЭД являются:
- регистрация документов в системе (заполнение регистрационной карточки), присоединение к карточке любого количества файлов произвольного формата;

- постановка документов на контроль;
- возможность создания параллельных и последовательных поручений, поручений соисполнителям;
- возможность проектирования типовых маршрутов движения документов;
- слежение за ходом исполнения поручений, рассылка уведомлений и напоминаний;
- поиск документов по любому из полей регистрационной карточки и по тексту присоединенных к карточке фамилий с учетом морфологии русского языка;
- разграничение прав доступа к документам, в том числе с использованием ролей, что удобно при временном или постоянном замещении должностей;
- протоколирование действий пользователя, криптографическое шифрование и использование $\Im\Pi$;
- подготовка и печать журналов и отчетов;

- рассылка документов, переписка между пользователями системы при помощи встроенной почтовой службы;
- возможность автоматизации процессов хранения и списания документов в архив;
- доступ к документам и поручениям при помощи веб-браузера.

Системы электронного документооборота с интегрированной поддержкой ЖЦИ (Docflow + Workflow + Lifecycle Management) охватывают все рабочие места корпоративной информационной среды организации. Средства управления потоком заданий на протяжении всего жизненного цикла (Workflow + Lifecycle) обеспечивают единые, но при этом достаточно гибкие правила управления процессом изготовления документа, разделяя его на отдельные рабочие задания.

СЭД и интегрированная с ними система поддержки жизненного цикла изделия реализуют следующие основные функции:

- интеграцию с электронным архивом;
- поддержку структурированных документов с распределенной системой хранения;
- блокирование данных для сетевого режима использования;
- контроль версий и предыстории для каждого документа;
- отображение содержания каждого документа в зависимости от его типа и вида;
- управление переходом документа из одного состояния в другое для связывания этапов обработки и этапов принятия решений с процессами потока заданий;
- расширенный протокол документооборота, отображающий актуальное состояние работ по каждому из документов;
- оповещение участников работ жизненного цикла о контролируемых состояниях документа («Подписан», «Утвержден», «Коррекция», «Аннулирован», «Выпущен» и т. д.).

В настоящее время вопрос организации хранения электронных документов в информационных системах является сложным с точки зрения нормативного регулирования и вызывает множество

обсуждений и споров в научном сообществе [2]. Такое положение дел может объясняться отсутствием единого отечественного стандарта на современные СЭД.

Интегрированная система электронного архива

Архивная система интегрирована с приложениями, в которых производятся различные электронные документы. Эта интеграция является прозрачной для пользователя, который работает с архивной системой напрямую, минуя обращения к файловой системе. Диалоги операций с файловой системой заменены на диалоги работы с архивной системой. Единственным решением удовлетворить как производителей приложений, так и производителей архивных систем явилась выработка единого стандарта взаимодействия между системами такого класса. Этой цели достигла первая версия стандарта ODMA (Open Document Management API). На сегодняшний день данный интерфейс поддерживается рядом производителей архивных систем.

Интеграция СЭД с системой ЭА обеспечивает коррекцию их функций и требований, предъявляемых к развитию систем. Применительно к системе ЭА они адаптированы к структуре и задачам варианта ЭА. В конкретном случае, исходя из опыта разработки и использования ЭА (ОАО «Российские космические системы»), эти требования обобщены и представлены в следующем виде.

Прежде всего электронный архив обеспечивает надежное хранение информации в любых форматах, в первую очередь в формах технической (конструкторской, программной, нормативной) документации, распорядительной документации.

Архив технической документации обеспечивает хранение, инвентаризацию, учет выдачи и контроль использования технической документации, полученной в результате работы приложений типа системы автоматизированной подготовки данных и системы автоматизированного проектирования (САПР). САПР могут подготавливать электронное представление конструкторской документации либо в своих внутренних форматах, либо в форматах, стандартизованных для различных САПР: IGES, STEP для трехмерных моделей и dwg

для двумерных. Автоматизированные системы подготовки данных могут использовать СУБД, офисные приложения, текстовые форматы, форматы позиционированных полей вывода (отчеты баз данных, электронные таблицы).

Архив распорядительной документации обеспечивает хранение, инвентаризацию, учет выдачи и контроль использования распорядительной документации, полученной в результате работы офисных приложений и приложений работы со сканированными документами (сканирование, очистка, оцифровка и т. д.). К такого рода приложениям относятся Word, Access, Excel, PowerPoint, Paint, CorelDRAW, Adobe Photoshop. Автоматизированные системы подготовки такого рода данных могут использовать СУБД, офисные приложения, текстовые форматы, форматы позиционированных полей вывода (отчеты баз данных, электронные таблицы), форматы сканированных изображений (JPEG, GIF, TIFF, BMP), формат PostScript.

Современный электронный архив, кроме того, является нейтральным к формату данных, если эти данные оформлены в виде файла, причем независимо от типа файловой структуры и типа ОС. Надежное хранение подразумевает наличие специализированных функций, обеспечивающих анализ целостности данных, анализ единственности и актуальности, анализ предыстории, анализ текущего состояния данных и т. д. Важны и такие дополнительные функции хранения, как защита данных от внешних атак и поддержание режима конфиденциальности при работе в сети. Эти функции могут быть реализованы при организации сетевой защиты всех приложений через механизмы межсетевых экранов, сетевую фильтрацию потоков и т. д. Если электронный архив не обладает такой дополнительной функциональностью, он должен непосредственно взаимодействовать со средствами сетевой защиты.

Еще одно важное требование к электронному архиву заключается в универсальности: он должен автоматически или автоматизировано распределять хранящиеся производственные данные в соответствии с их предназначением. Это означает, что данные могут передаваться в электронный архив и браться из него автоматически и непосредственно из третьих систем.

Электронный архив должен иметь механизм свободного ассоциирования (по тематике, по запросу, по исполнителю, по дате, по отношению к производственной деятельности и т. д.) любого количества любых хранящихся в архиве документов, а также механизм разграничения доступа. Состав и уровень привилегий пользователей может администрироваться собственными средствами электронного архива, но современные реализации имеют общую устойчивую тенденцию к экспорту функций разграничений доступа к архиву из общих административных настроек сети через серверы каталогов, аутентификационные службы сети и т. д.

Электронный архив должен реализовывать методику распределенного хранения. Это требование возникает при сетевой организации хранения данных архива и постоянном росте объема хранимых данных. Кроме того, электронный архив должен отслеживать, вплоть до восстановления структуры, предысторию каждого элемента данных, должен вести протокол обращении пользователей к данным хранения, уточняя, кто, когда, на основании чего, на какое время, в какой конфигурации эти данные запросил. Кроме того, электронный архив должен также осуществлять мониторинг статуса каждого документа. Одной из основных функций ЭА является организация информационнопоисковых служб.

Для работы в составе информационной среды организации все перечисленные функции современного ЭА должны быть интегрированы с самыми востребованными системами управления производственными данными, к которым относятся системы электронного документооборота, системы PDM и системы управления конфигурацией изделия.

Список литературы

- 1. Справочник проектировщика АСУ ТП / Г. Л. Смилянский, Л. З. Амлинский, В. Я. Баранов и др. Под ред. Г. Л. Смилянского. М.: Машиностроение, 1983.
- 2. *Романченко Е. В.* Хранение документов в электронном виде: проблемы и перспективы // Современные технологии делопроизводства и документооборота, 2014, № 10(46).

КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ И РЕТРАНСЛЯЦИИ: ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

УДК 621.391.15

Улучшение радиационной стойкости памяти с помощью помехоустойчивых кодов

А. Н. Ершов¹, С. В. Петров², Ю. П. Пятошин³, Д. В. Коханько⁴, В. В. Зяблов⁵, В. Б. Афанасьев⁶, В. Г. Потапов⁷, Д. К. Зигангиров⁸

3 к. ф.-м. н.

1,2,3,4 OAO «Российские космические системы»

5д. т. н., 6к. т. н., доцент, ^{7,8}к. т. н.

5,6,7,8 ФГБУН «Институт проблем передачи информации им. А. А. Харкевича РАН»

e-mail: \(^1\) anershov@rniikp.ru, \(^2\) petrov_sv@spacecorp.ru, \(^4\) dmitriyk.87@yandex.ru,

\(^5\) zyablov@iitp.ru, \(^6\) afanv@iitp.ru, \(^7\) potapov@iitp.ru, \(^8\) zig@iitp.ru

Аннотация. Представлен обзор технологий помехоустойчивого кодирования, используемых в настоящее время при проектировании микросхем памяти, для защиты от разрушений, возникающих под действием жесткого космического излучения.

Применение кодов, исправляющих и обнаруживающих ошибки, важно как при разработке и производстве самих микросхем памяти, так и на этапе разработки приборов с использованием этих микросхем. Так как с развитием полупроводниковых технологий увеличивается плотность хранения информации, а геометрические размеры ячеек памяти уменьшаются, то уже недостаточно известных методов исправления однократных и обнаружения двукратных ошибок. Становится обязательным обнаружение и исправление как минимум парных ошибок. При разработке новых кодовых конструкций для памяти, помимо оптимальности исправляющей способности, важные параметры — сложность реализации кодера/декодера, возможность параллельной организации алгоритмов кодирования/декодирования, патентная чистота конструкций.

Ключевые слова: помехоустойчивые коды, радиационная стойкость памяти

Improvement of Radiation Tolerant Memory through Error Correcting Codes

A. N. Ershov¹, S. V. Petrov², Yu. P. Pyatoshin³, D. V. Kokhanko⁴, V. V. Zyablov⁵, V. B. Afanassiev⁶, V. G. Potapov⁷, D. K. Zigangirov⁸

³candidate of physical and mathematical sciences

1,2,3,4 Joint Stock Company "Russian Space Systems"

⁵doctor of engineering science

⁶candidate of engineering science, associate prof.

^{7,8}candidate of engineering science

^{5,6,7,8}Institute for Information Transmission Problems of the Russian Academy of Sciences

(Kharkevich Institute)

e-mail: \(^1\)anershov@rniikp.ru, \(^2\)petrov_sv@spacecorp.ru, \(^4\)dmitriyk.87@yandex.ru, \(^5\)zyablov@iitp.ru, \(^6\)afanv@iitp.ru, \(^7\)potapov@iitp.ru, \(^8\)zig@iitp.ru

Abstract. The article presents an overview of currently used technologies of error correction codes in the design of memory chips for ensuring protection against the devastating effects of cosmic radiation.

Employing error-detection and error-correction codes is important in both the designing and manufacturing of memory chips themselves, and at the stage of development of devices using these chips. Since the development of semiconductor technology the storage density is increasing and cell geometries decreases, the methods of single error correction and double error detection is not sufficient enough, providing detection and correction of errors at least the pair becomes mandatory. The development of new code constructions for the radiation tolerant memory, in addition to optimal correcting capability, has important requirements for practical implementation that are: the low encoder/decoder complexity, the possibility of parallel encoding/decoding and Patent clearance.

Key words: error correcting codes, radiation-tolerant memory

К аппаратуре космического назначения всегда предъявлялись повышенные требования к устойчивости памяти к сбоям различного происхождения, в том числе под воздействием высокоэнергетических частиц. Влияние космического и прочих излучений в ряде случаев может быть частично ослаблено различными конструктивными методами (например, использованием экранов поглощения). Однако эти методы не могут привести к 100% вероятности безошибочного хранения и считывания информации, а значит, требуют дополнительных средств обнаружения дефектов и сбоев.

Под дефектом памяти понимается событие, приводящее к невозможности изменить состояние элемента памяти. Дефектные элементы памяти можно в принципе обнаружить и локализовать.

К сбоям памяти относятся кратковременные и восстанавливаемые случайные события, которые проявляются в виде ошибок чтения/записи ячеек памяти или в виде изменения их состояния.

Дефекты памяти могут возникать на этапе производства и в процессе эксплуатации (в том числе под воздействием внешней среды, например, электрический пробой под воздействием высокоэнергетических частиц), а также из-за технологических ограничений на число циклов записи/стирания.

Причина возникновения сбоев — импульсные шумы цепей питания, наводки на соседние проводники и ячейки памяти, например, под влиянием высокоэнергетических частиц.

Ошибки, вызванные сбоями в момент считывания (записи), могут быть исправлены с помощью повторных циклов чтения и/или записи. Однако основная масса ошибок связана с физическим изменением состояния ячейки памяти, находящейся в состоянии «покоя» (т.е. между активными циклами обращения к ней), и со временем они накапливаются.

Если исправление ошибок с помощью повторных циклов не получается, то вынужденным решением является «перезагрузка», которая приводит к прекращению всех выполняемых вычислений и перезапуску системы. Упомянутые выше меры не решают проблемы исправления сбоев даже за счет снижения быстродействия памяти. Кроме того, имеет место явление постепенной физической

деградации (старения) ячеек памяти, в результате которого растет вероятность ошибки сбойных ячеек. Со временем сбойные ячейки переходят в дефектные.

Обработка ситуаций, связанных со сбоями и дефектами, требует использования в устройстве памяти дополнительного ресурса и некоторого вычислительного элемента, выполняющего функцию обнаружения сбоев/дефектов в памяти, и механизма обработки этих ситуаций.

Дополнительным ресурсом являются ячейки памяти, применяемые для хранения проверочных символов, которые используются кодом, обнаруживающим и исправляющим ошибки. Вычислительный элемент устройства памяти — контроллер, который выполняет процедуры кодирования (вычисления проверочных символов), декодирования (исправления ошибок) и записи в память восстановленной информации.

Известно, что распределение числа сбоев и дефектов микросхем памяти зависит: от технологий, используемых при изготовлении этих элементов, метода фотолитографии и объема модуля памяти. Отсутствие механизмов исправления дефектных элементов памяти и некорректная обработка сбоев в памяти приводят в основном к катастрофическим последствиям (например, для кэш-памяти и ОЗУ).

Доказательством важности повышения радиационной стойкости устройств памяти является, например, авария космического аппарата (КА) «Фобос-Грунт» в 2011 г. Выводы, изложенные в документе «Основные положения Заключения Межведомственной комиссии по анализу причин нештатной ситуации, возникшей в процессе проведения летных испытаний космического аппарата "Фобос-Грунт"», свидетельствуют, что:

«Наиболее вероятным фактором, который мог стать первопричиной двойного "рестарта", является локальное воздействие тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ) космического пространства, которое привело к сбою в ОЗУ вычислительных модулей комплектов ЦВМ22 во время полета на втором витке КА «Фобос-Грунт». Сбой ОЗУ мог быть вызван кратковременной неработоспособностью вследствие воздействия ТЗЧ на ячейки вычислительных модулей ЦВМ22, которые содержат две микросхемы одного типа

| N_{0} | Название | Тип памяти | Разработчик |
|---------|--|--|------------------|
| 1 | DRAM | Энергозависимая | |
| 2 | SRAM | Энергозависимая | |
| 3 | Z-RAM | Энергозависимая, кэш | AMD |
| 4 | eDRAM | Энергозависимая, кэш | IBM |
| 5 | F-RAM (FeRAM) | Энергонезависимая, сегнетоэлектрическая память | NASA |
| 6 | T-RAM | Энергозависимая, тиристорная | AMD |
| 7 | TTRAM | Энергозависимая, Twin Transistor | Renesas |
| 8 | STT-RAM | Энергонезависимая, spin transfer | Samsung, Hitachi |
| 9 | MRAM | Энергонезависимая, память на магнитных свойствах вещества | |
| 10 | PCRAM, C-RAM, PCM, PRAM, Ovonic Unified Memory | Энергонезависимая, память на основе фазового перехода вещества | НР, ВАЕ |
| 11 | NAND flash (SLC) | Энергонезависимая | Toshiba, SanDisk |
| 12 | NAND flash (MLC) | Энергонезависимая | Samsung |
| 13 | NOR flash | Энергонезависимая | Intel |
| 14 | | Энергонезависимая | Samsung |
| 15 | CBRAM (PMC) | Энергонезависимая | Infineon |
| 16 | RRAM (ReRAM) | Энергонезависимая | Unity Semi. |
| 17 | SONOS | Энергонезависимая | Cypress, Toshiba |
| 18 | DWM (Racetrack) | Энергонезависимая | IBM |
| 19 | NRAM | Энергонезависимая RAM | Nantero |
| 20 | 1 | Энергонезависимая | IBM |
| 21 | Mask ROM | Энергонезависимая | |
| 22 | PROM | Энергонезависимая | |
| 23 | EPROM | Энергонезависимая | |
| 24 | EEPROM | Энергонезависимая | |

Таблица 1. Виды полупроводниковой памяти

WS512K32V20G24M (ячейки вычислительных модулей располагаются в едином корпусе параллельно друг другу). Воздействие привело к искажению программного кода и срабатыванию "сторожевого" таймера, что стало причиной "рестарта" обоих полукомплектов ЦВМ22. Модель подобного взаимодействия ТЗЧ с электронной компонентной базой не регламентирована нормативно-техническими документами. Комиссия считает необходимым разработать и внедрить в организациях РКП нормативнотехнические документы, содержащие современные модели ионизирующих излучений космического пространства и руководства по их использованию». (URL: http://www.roscosmos.ru/18126. Дата обращения: 11.06.2014.)

Методам повышения отказоустойчивости устройств памяти с помощью помехоустойчивых кодов в последние годы были посвящены книги (например, [1,2]), доклады на ежегодных международных симпозиумах по теории информации (ISIT) (например, на ISIT 2011 [3] работало 4 секции «Кодирование для памяти» (coding for memories)), доклады на ежегодных международных симпозиумах по ошибкам и отказоустойчивости СБИС (DFT) (например, DFT 04 [4], DFT 05 [5]).

Помехоустойчивые коды для защиты памяти целесообразно использовать как при изготовлении микросхем памяти, так и при изготовлении приборов памяти на базе микросхем.

В табл. 1 представлен список технологий, используемых при создании микросхем памяти.

Каждая из этих технологий (см. табл. 1) определяет быстродействие, объем памяти, разрядность шины ввода/вывода. Более того, в зависимости от используемой технологии высокоэнергетическое космическое излучение вызывает различные негативные эффекты в материалах ячеек памяти.

Исследованию воздействию радиации на микросхемы памяти посвящено большое количество работ [6-17].

На основе анализа, проведенного в [6], дается оценка приблизительной частоты сбоев памяти КА «Фобос-Грунт» на всей траектории полета Земля—Фобос.

Проведенные в [8] исследования субмикронных КМОП СБИС (с топологическими нормами проектирования от 0,5 мкм до 0,18 мкм), работающих под воздействием атмосферных нейтронов, выявили, что основными эффектами воздействия являются одиночные сбои и тиристорные эффекты.

В работе [9] исследуются результаты воздействия космических лучей на БИС 16 Мбит DRAM-память.

Проведенные в 2002–2003 гг. натурные эксперименты по исследованию влияния радиационного излучения на элементы полупроводниковой памяти, находящиеся на борту космического спутника MDS-1 (Япония) выявили основные параметры возникающих комбинаций ошибок и позволили оценить связь между интенсивностью излучения протонов и вероятностью ошибок в блоках памяти [5].

Возникающие под влиянием ионизирующего излучения ошибки могут быть разделены на две группы: дефекты (HARD) (например, [18, 19]) и сбои (SOFT) (например, [16]). К первой группе относятся: технологические ошибки ячеек памяти, возникающие на этапе производства, и ошибки в результате воздействия проникающей радиации. Ошибки типа HARD не позволяют перевести ячейку в противоположное состояние и могут, при ее локализации, рассматриваться с точки зрения теории кодирования как стирания. Ко второй группе относятся случайные ошибки.

В табл. 2 представлены некоторые эффекты, возникающие в полупроводниковых элементах под действием космического излучения (например, [7]).

По зарубежным данным, общее количество сбоев и отказов РЭА КА из-за радиационных фак-

торов составляет 35-40%, из них 2/3 приходится на эффекты от воздействия высокоэнергетических протонов (ВЭП) и ТЗЧ [7].

NASA в своем документе [15] определяет распределение длины многократных сбоев (от 2 до более 10 бит) для нейтронов различных энергий в SRAM-памяти по технологии 1,15 мкм, а также зависимость числа ошибок от времени в модуле памяти DRAM 1 Гбит под воздействием излучения ионов ксенона, приводящего к катастрофическому росту числа ошибок.

На основе работ по исследованию воздействия космической радиации на элементы памяти были построены упрощенные математические модели канала для случая полупроводниковой памяти с одноуровневыми (SLC) и многоуровневыми (MLC) ячейками и представлены зависимости надежности памяти от времени [12–14].

Очевидно, что уменьшение топологических норм проектирования СБИС памяти увеличивает чувствительность ИС к локальным радиационным эффектам. При этом может не просто увеличиваться количество ошибок, но и меняется их характер: вместо «пакета» ошибок может появляться «пятно» ошибок [11]. При этом задача повышения отказоустойчивости памяти с помощью помехоустойчивых кодов становится особенно актуальной.

Исследованию применения разнообразных способов помехоустойчивого кодирования для обеспечения отказоустойчивости памяти посвящено большое количество современных работ [1–5, 12–14, 18–21]. В табл. З представлены классы кодов, исправляющие некоторые конфигурации ошибок и обнаруживающие большее число ошибок в зависимости от структуры и типа памяти [1].

Причем предлагается использовать как «классические» коды, например, коды Хэмминга, Рида-Соломона (RS), Боуза-Чоудхури-Хоквингема (ВСН), каскадные коды на их основе, коды с малой плотностью проверок, LDPC (например, [2,4,5,12–14,20]), так и новые конструкции кодов, например, «ранговые» [3], нелинейные коды [21].

Отметим, что в 70-80-х гг. прошлого столетия осуществлялось тесное научно-техническое взаимодействие между сотрудниками — разработчиками приборов кодирования—декодирования НИИ приборостроения (в настоящее время входит

| Тип эффекта | Эффект | Обозначение | Описание |
|-------------------------------|---|---|--|
| | Вторичный пробой | SEB (Single-Event Burnout) | Вторичный пробой $p-n$ -перехода, приводящий к его разрушению |
| | «Прокол» диэлектрика | SEGR (Single-Event Gate Rupture) | Пробой диэлектрика затвора вдоль трека ядерной частицы |
| IARD | Одиночное повреждение бита | SEDU | «Залипание» пикселя или бита в устойчивом состоянии 0 или 1 |
| Катастрофический (НАRD) | «Прокол» диэлектрика | SEDR (Single-Event Dielectric Rupture) | Пробой диэлектрика при воздействии ионизирующих частиц |
| ьифod | Вторичный пробой транзистора | SB (Second Breakdown) | Лавинообразное увеличение тока на локальном участке стока транзистора |
| Катастј | Тиристорный эффект | SEL (Single-Event Latchup) | Включение паразитной четырехслойной $p-n-p-n-$ структуры, приводящее к резкому увеличению тока в цепи питания |
| | Тиристорный эффект | SES (Single-Event Snapback) | Аналогично SEL, но в n -переходе в МОП-транзисторах |
| Функцио- нальный (SOFT) | Одиночное функциональное прерывание | SEFI (Single-Event Functional Interrupt) | Инверсия логического состояния ячейки памяти или триггера управления, приводящая к нарушению хода выполнения программы |
| Фу на (S | Одиночный сбой | SEU | Инверсия логического состояния ячейки памяти или триггера |
| Остаточный (SOFT) | Многократные сбои | Multi-Cell and Multi-Bit Upsets (MCU and MBU) | Инверсия логического состояния нескольких соседних ячеек памяти или триггера |
| Оста (S | «Иголка» | DSET | Кратковременный импульс на выходе элемента цифровой ИС |
| Кратко- времен- ный | | ASET | Кратковременный импульс на выходе элемента аналоговой ИС |

Таблица 2. Влияние космического излучения

в состав ОАО «Российские космические системы») и сотрудниками — разработчиками конструкций помехоустойчивых кодов и методов их кодирования—декодирования Института проблем передачи информации АН СССР (в настоящее время ФГБУН «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН»). Это взаимодействие позволило разработать новые (патентно-чистые) кодовые конструкции и алгоритмы кодирования—декодирования, оптимизированные по сложности реализации и быстродействию, и реализовать (не ниже мирового уровня) соответствующие приборы кодирования—декодирования

для устройств записи и хранения информации (КА «Венера-15», «Венера-16»), а также декодеров кодов для улучшения качества радиоканала (КА «Буран», МКС, ряда беспилотных КА, в том числе «Марс-96», «КОСПАС-SARSAT» [22–36]).

Выводы

В настоящее время существуют и могут быть построены новые эффективные коды, исправляющие ошибки: в отдельных битах, недвоичных символах, в пакетах битов, q-ичных (q=4,8,16,32) байтах. Как уже было отмечено выше, по мере

Таблица 3. Список используемых в ЗУ помехоустойчивых кодов

| № | Код | Обозначение | Характеристика кода |
|----|--|---|---|
| 1 | SEC-DED | Single Error Correction Double Error Detection | Исправляющий одиночную ошибку или обнаруживающий двойную ошибку |
| 2 | SbEC | Single <i>b</i> -bit Byte Error Correcting Codes | Исправляющий один \emph{b} -битный ошибочный байт |
| 3 | SbEC-DbED | Single <i>b</i> -bit Byte Error Correcting and Double <i>b</i> -bit Byte Error Detecting Codes | Исправляющий один b -битный ошибочный байт или обнаруживающий два ошибочных b -битных байта |
| 4 | SbEC-S _{pxb} /BED | Single b -bit Byte Error Correcting and Single p -byte within a B -bit Block Error detecting codes | Исправляющий один b -битный ошибочный байт или обнаруживающий одиночную ошибку из p байт в блоке длиной B бит |
| 5 | SEC-DED- SbED (or BED) | Single <i>b</i> -bit Byte (or Burst) Error Detecting SEC–DED | Исправляющий одиночную ошибку или обнаруживающий двойную ошибку или обнаруживающий один ошибочный <i>b</i> -битный байт |
| 6 | SbEC-DED | Single <i>b</i> -bit Byte Error Correcting and Double-Bit Error Detecting Codes | Исправляющий один ошибочный b -битный байт или обнаруживающий два ошибочных бита |
| 7 | SbEC-DEC | Single <i>b</i> -bit Byte Error Correcting and Double-Bit Error Correcting Codes | Исправляющий один ошибочный b -битный байт или исправляющий двойную ошибку |
| 8 | SbEC-(Sb+S)ED | Single <i>b</i> -bit Byte Error Correcting and Single-Byte Plus Single-Bit Error Detect- ing Codes | Исправляющий один ошибочный b -битный байт или обнаруживающий одновременно ошибочный байт и одиночную ошибку |
| 9 | $S_{t/b}$ EC | Single Spotty Byte Error Correcting Codes | Исправляющий любые t ошибочных бит в одном b -битном байте |
| 10 | $S_{t/b}$ EC $-Sb$ ED | Single Spotty Byte Error Correcting and Single-Byte Error Detecting Codes | Исправляющий любые $t < b$ ошибочных бит в одном b -битном байте или обнаруживающий ошибочный байт, если $t < b$ |
| 11 | $S_{t/b}EC-D_{t/b}ED$ | Single Spotty Byte Error Correcting and Double Spotty Byte Error Detecting | Исправляющий любые $t < b$ ошибочных бит в одном b -битном байте или обнаруживающий два ошибочных байта, если $t < b$ |
| 12 | $S_{b/pxb}$ EL | Block Error Locating Codes | Локализирующий ошибочный байт из b бит в блоке из $p 	imes b$ бит |
| 13 | SEC-S _{b/pxb} EL | Single-Bit Error Correcting and Single-Block Error Locating Codes | Исправляющий одиночную ошибку или локализирующий ошибочный байт из b бит в блоке из $p \times b$ бит |
| 14 | $SEC-S_{e/b}EL$ | Single-bit Error Correcting and Single <i>e</i> -bit (within a <i>b</i> -bit byte) Error Locating codes | Исправляющий одиночную ошибку или локализирующий e бит среди b бит |
| 15 | B ₁ EL | Burst Error Locating | Локализирующий пакет ошибок l |
| 16 | SEC-B ₁ EL | Single-Bit Error Correcting and Burst Error Locating Codes | Исправляющий одиночную ошибку или локализирующий пакет ошибок |

уменьшения топологических размеров СБИС памяти может появляться особый тип ошибок: пятно ошибок (например, [11, Fig. 2]). Коды для исправления пятен ошибок, близкие к оптимальным, рассматривались и были построены в ИППИ РАН еще в 1997 г. [37]. Одной из важных характеристик помехоустойчивых кодов также является способность кодов обнаруживать и исправлять конфигурации ошибок, кратность которых превышает половину кодового расстояния.

При разработке новых кодовых конструкций, для памяти обеспечивающих безотказную работу при различных уровнях радиационного облучения, помимо оптимальности исправляющей способности, важными параметрами являются:

- сложность реализации кодера-декодера;
- возможность параллельной организации алгоритмов кодирования—декодирования;
- патентная чистота конструкций.

Для практического внедрения в перспективных приборах памяти новых кодовых конструкций представляется целесообразным взаимодействие соответствующих специалистов ИППИ РАН и ОАО «Российские космические системы».

Список литературы

- 1. *Fujiwara E.* Code Design for Dependable Systems. Theory and Practical Applications. USA: John Willy & Sons, Inc., 2006.
- 2. *Micheloni R., Marelli A., Ravasio R.* Error Correction Codes for Non-Volatile Memories. Springer, 2008.
- 3. *Mazumdar A., Barg A., Zemor G.* Constructions of Rank Modulation Codes. Proc. 2011 IEEE Int. Sympos. On Information Theory (ISIT 2011). St. Petersburg, Russia. July 31–August 5, 2011. P. 834–838.
- 4. Cardarilli G.C., Ottavi M., Pontarelli S., Re M., Salsano A. Data Integrity Evaluations of Reed Solomon Codes for Storage Systems. Proc. 19th IEEE Int. Sympos. On Defect and Fault Tolerance in VLSI Systems (DFT'04). Cannes, France. Oct. 2004.
- Kaneko H. Error Control Coding for Semiconductor Memory Systems in the Space Radiation Environment. Proc. 2005 20th IEEE Int.Sympos. On Defect and Fault Tolerance in VLSI Systems (DFT'05). Monterey, USA. 3–5 Oct. P. 93–101.

- 6. Кузнецов Н. В., Попов В. Д., Хамидуллина Н. М. Оценка вероятности радиационных отказов и одночастичных сбоев интегральных микросхем на борту космического аппарата «Фобос-Грунт» // Космические исследования, 2005, т. 43, № 3, с. 237–239.
- 7. *Чумаков А. И.* Действие космической радиации на ИС. М.: Радио и связь, 2004. 320 с.
- 8. Бетелин В.Б., Баранов С.В., Бобков С.Г., Краснюк А.А., Осипенко П.Н., Стенин В.Я., Черкасов И.Г., Чумаков А.И., Яненко А.В. Перспективы использования субмикронных КМОП СБИС в сбоеустойчивой аппаратуре, работающей под воздействием атмосферных нейтронов // Микроэлектроника, 2009, т. 38, № 1, с. 48–52.
- 9. Ziegler J. F., Nelson M. E., Shell J. D., Peterson R. J., Gelderloos C. J., Muhlfeed H. P., Montrose C. J. Cosmic Ray Soft Error Rates of 16-Mb DRAM Memory Chips // IEEE Journal of Solid-State Circuits, 1998, vol. 33, № 2. P. 246–252.
- Gad E.E., Yaakobi E., Jiang A., Bruck J. Rank-Modulation Rewriting Codes for Flash Memories // Proc. 2013 IEEE Int. Sympos. on Information Theory (ISIT 2013). Istanbul, Turkey. July 7–12, 2013. P. 704–708.
- 11. Radaelli D., Puchner H., Wong S., Daniel S. Investigation of Multi-Bit Upsets in a 150nm Technology SRAM Device // IEEE Transactions on Nuclear Science, 2005, vol. 52, № 6, p. 2433–2437.
- Jeon S., Kumar B. V. K. V., Hwang E., Cheng M. K. Evaluation of Error-Correcting Codes for Radiation — Tolerant Memory // IPN Progress Report 42–181. May 15, 2010, p. 1–18.
- 13. *Jeon S., Hwang E., Kumar B. V. K. V., Cheng M. K.* LDPC Codes for Memory Systems with Scrubbing // Proc. IEEE Globecom 2010. Miami, USA. Dec 2010.
- 14. Jeon S., Hwang E., Kumar B. V. K. V., Cheng M. K. A Multibit-Per-Cell Memory Model and Nonbinary LDPC Codes // IEEE Globecom 2010 Workshop on Application of Communication Theory to Emerging Memory Technologies, 2010, p. 1895–1899.
- 15. Radiation Hardening at the System Level. 2007 IEEE NSREC Short Course. Section IV. P. IV-1- IV-94. URL: http://radhome.gsfc.nasa.gov/radhome/papers/nsrec07_sc_ladbury_.pdf
- 16. *Nicolaidis M*. Editor Soft Errors in Modern Electronic Systems. Springer, 2011.

- 17. *Li Y., Nelson B., Wirthlin M.* Reliability Models for SEC/DED Memory With Scrubbing in FPGA-Based Designs. IEEE Transactions on Nuclear Science, 2013, vol. 60, № 4, p. 2720–2727.
- Mielke N., Marquart T. Wu N., Kessenich J., Belgal H., Schares E., Trivedi F., Goodness E., Nevill L.R. Bit Error Rate in NAND Flash Memories. IEEE International Reliability Physics Symposium. Phoenix, USA, 2008, p. 9–19.
- 19. *Сагалович Ю. Л.* Кодовая защита оперативной памяти ЭВМ от ошибок // Автоматика и телемеханика, 1991, т. 52, № 5, с. 3–45.
- 20. Краснюк А.А., Петров К.А. Особенности применения методов помехоустойчивого кодирования в суб-100-нм микросхемах памяти для космических систем. IV Всероссийская науч.-техн. конференция «Проблемы разработки перспективных микрои наноэлектронных систем-2010» (МЭС-2010). 4—8 октября 2010. Истра. Организатор Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН (ИППМ РАН), с. 1—4.
- 21. Wang Z., Karpovsky M., Joshi A. Nonlinear Multi-Error Correction Codes for Reliable MLC NAND Flash Memories // IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, 2012, vol. 20, № 7, p. 1221–1234.
- 22. *Цыбаков Б. С., Кузнецов А. В.* Кодирование в памяти с дефектными ячейками // Проблемы передачи информации, 1974, т. 10, № 2, с. 52–60.
- 23. *Kasami T., Yamamura S., Kuznetsov A. V.* An Error Correcting Scheme for Defective Memory // IEEE Transactions on Information Theory, 1978, vol. 24, № 6, p. 712–718.
- 24. Зигангиров К. Ш., Пятошин Ю. П., Тузиков В. А. Нахождение дистанционных характеристик сверточных кодов // VII Всесоюзная конференция по теории кодирования и передачи информации. Доклады. Часть II. Москва-Вильнюс, 1978. С. 149–154.
- 25. Зиновьев В. А., Пятошин Ю. П., Тузиков В. А. О декодировании нелинейного кода (16, 8, 6). Труды VI Всесоюзной школы-семинара по вычислительным сетям. Часть 4. Тезисы докладов. Москва—Винница, 1981. С. 30–33.
- 26. *Пятошин Ю. П., Тузиков В. А.* Применение кодов с байтовой структурой для исправления ошибок ЗУ // Микроэлектроника, 1982, т. 11, № 3, с. 277–279.

- 27. *Сагалович Ю. Л., Щербаков Н. С.* Выбор системы кодирования для защиты запоминающих устройств от ошибок // Проблемы передачи информации, 1984, т. 20, № 1, с. 19–27.
- 28. Портной С. Л., Пятошин Ю. П., Тузиков В. А. Анализ эффективности сигнально-кодовых конструкций, согласованных с четырехпозиционной модуляцией // Радиотехника и электроника, 1987, т. 32, № 10, с. 2157–2163.
- 29. Пятошин Ю.П., Тузиков В.А., Шутиков А.М. Мажоритарный элемент // Авторское свидетельство 752808. Бюл. № 28, 1980.
- 30. Зиновьев В.А., Пятошин Ю.П., Семаков Н.В., Тузиков В.А. Устройство для исправления ошибок в блоках памяти. Авторское свидетельство SU1070605A. Бюл. № 4, 1984.
- 31. Пятошин Ю. П., Тузиков В. А., Шутиков А. М. Способ декодирования нелинейного кода и устройство для его осуществления. Авторское свидетельство SU1108618A. Бюл. № 30, 1984.
- 32. Пятошин Ю. П., Тузиков В. А., Ивочкин В. Г., Зиновьев В. А., Думер И. И. Устройство для декодирования кодов БЧХ. Авторское свидетельство SU1168946A. Бюл. № 27, 1985.
- 33. Зиновьев В.А., Ермаков А.Ю., Ивочкин В.Г., Пятошин Ю.П., Тузиков В.А., Шурыгин В.И. Устройство декодирования линейных кодов. Авторское свидетельство SU1287297A1. Бюл. № 4, 1987.
- 34. Зиновьев В. А., Ермаков А. Ю., Ивочкин В. Г., Пятошин Ю. П., Тузиков В. А. Устройство для декодирования двоичного линейного кода. Авторское свидетельство SU1269272A1. Бюл. № 41, 1986.
- 35. Барг А. М., Зиновьев В. А., Портной С. Л., Пятошин Ю. П., Тузиков В. А., Ивочкин В. Г. Устройство декодирования блоковых кодов. Авторское свидетельство SU1448414A1. Бюл. № 48, 1988.
- 36. Пятошин Ю. П., Тузиков В. А., Молотов Е. П., Портной С. Л., Ермаков А. Ю., Данилин А. С. Кодек блочных кодов. Авторское свидетельство SU1473088. Бюл. № 14, 1989.
- 37. Боссерт М., Брайтбах М., Зяблов В.В., Сидоренко В. Р. Коды, исправляющие множество пятен ошибок или стираний // Проблемы передачи информации, 1997, т. 33, № 4, с. 15–25.

КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ И РЕТРАНСЛЯЦИИ: ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

УДК 519.254

Оптимизация структуры программного обеспечения автоматизированной системы управления на основе методик и алгоритмов приведения прямоугольных матриц к блочному виду

А. А. Уколов, **В. Ю.** Тышецкий ¹

¹к.в.н.
OAO «Российские космические системы»
e-mail: ulexx@mail.com

Аннотация. Предложен и обоснован алгоритм приведения прямоугольных матриц к блочному виду, позволяющий оптимизировать структуру программного обеспечения автоматизированной системы управления. Предложена методика, использующая данный подход.

Ключевые слова: прямоугольная матрица, блочная матрица, оптимизация структуры

Optimization of Automated Control System Software Structure on the Basis of Methods and Algorithms for Bringing Rectangular Matrices to Block Form

A. A. Ukolov, V. U. Tysheckii¹

¹candidate of military science Joint Stock company "Russia space systems"

e-mail: ulexx@mail.com

Abstract. An algorithm for reducing rectangular matrices to block form, which allows optimizing the software structure complex systems associated with information processing, is proposed and justified. A technique using this approach is given.

Key words: rectangular matrix, block matrix, architecture optimization

Введение

Цель статьи — предложить методику проведения оптимизации структуры сложной системы, основанную на представления ее модели в виде произвольных матриц и приведении их к блочному виду. Данный подход целесообразен для применения к системам, имеющим в своем составе значительный набор программных модулей, программных комплексов, баз данных.

Любая современная сложная система, например АСУ, имеет в своем составе СПО, которое позволяет ей использовать ресурсы вычислительных машин для решения целевых задач. Количество алгоритмов функционирования и задач, выполняемых СПО в составе АСУ, зачастую велико и разобраться в их структуре бывает сложно, особенно если между ними имеются тесные взаимосвязи. В данной статье предлагается методика, которая на основе структурированной информации о функциях и задачах СПО системы (матрицы взаимосвязи функций и задач СПО) позволяет, используя математический аппарат, упростить матрицу взаимосвязей, приведя ее к блочному виду, а вместе с ней упростить структуру СПО исследуемой системы, сформировать рациональный вариант состава программных модулей и их компоновки в программные комплексы.

В качестве примера сложной системы можно привести автоматизированную систему оперативнотехнических пунктов управления (АС ОТПУ), входящую в состав НАКУ КА НСЭН и измерений. АС ОТПУ — это сложная, территориально распределенная система, предназначенная для автоматизации процессов управления эксплуатацией и применением технических средств НАКУ КА НСЭН и измерений. В функции АС ОТПУ входят:

- автоматизированное получение различных планов работы технических средств (задействование средств, эксплуатация), доведения выписок из плана до должностных лиц контроля реализации пунктов плана, контроль реализации;
- сбор, накопления и выдача статистических данных по эксплуатации технических средств, качеству и надежности выполнения задач управления;

- оперативное взаимодействие с внешними абонентами по вопросам эксплуатации технических средств НАКУ КА НСЭН и измерений;
- контроль за состоянием технических средств, готовностью к выполнению задач управления, принятию оперативных мер по восстановлению готовности технических средств;
- получение, сбор, накопление, систематизация данных о метеорологической и помеховой обстановках на пунктах эксплуатации.

Представлен далеко не полный перечень всех функций, возложенных на систему, но даже он по-казывает, что количество алгоритмов, с помощью которых выполняются данные функции, достаточно обширен. Задача еще усложняется за счет территориального распределения и внесением специфики каждого из объектов системы, поэтому возможны ситуации, при которых будет возникать избыточность, дублирование алгоритмов функционирования. Отследить такие ситуации проблематично из-за сложной архитектуры АС ОТПУ. Методика приведения прямоугольных матриц к блочному виду предлагает подход, позволяющий упростить структуру сложных систем и объектов.

Постановка задачи

Возьмем произвольную сложную систему (АСУ), структура СПО АСУ описывается с помощью матрицы взаимосвязей функций и задач (табл. 1), где F_i , i=1,n — определенный набор функций, которые выполняет СПО АСУ, а q_j , j=1,m — набор элементарных технологических задач (алгоритмов). Под элементарной технологической задачей понимаем задачу, в структуру которой мы не вникаем. Выполнение каждой функции заключается в решении набора элементарных технологических задач.

Матрица состоит из нулей и единиц. 1 означает, что соответствующая функция включает в себя решение соответствующей технологической задачи, 0 — нет. В данном случае матрица является прямоугольной.

Необходимо провести преобразование данной матрицы к блочному виду (в табл. 2 приведен пример такого преобразования).

Таблица 1.

| | \boldsymbol{F}_1 | F_2 | F_3 | F_4 | F_5 | F_6 | F_7 | F_8 | F_9 |
|----------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| q_1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| q_2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| q_3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| q_4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| q_{5} | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| q_6 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| q_7 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| q_8 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| q_9 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| q_{10} | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| q_{11} | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| q_{12} | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| q_{13} | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| q_{14} | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |

Таблица 2.

| | F_e | $\boldsymbol{F_r}$ | $oldsymbol{F_t}$ | F_y | F_u | $\boldsymbol{F_i}$ | F_o | F_p | F_a |
|---------|-------|--------------------|------------------|-------|-------|--------------------|-------|-------|-------|
| q_a | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| q_d | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| q_g | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| q_h | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| q_{j} | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| q_k | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| q_l | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| q_z | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| q_x | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| q_c | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| q_v | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| q_b | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| q_n | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| q_m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |

Анализ табл. 2 показывает, что программные модули $q_i,\ q_k,\ q_l$ могут быть объединены в одну программу, выполняющую функции F_t , F_u , F_u . Более подробный анализ позволил бы сформировать рациональную структуру программ, программных комплексов и архитектуру СПО АСУ в целом. Данная таблица сформирована гипотетически, только для иллюстрации самой идеи применения элементов теории матриц при проектировании архитектуры СПО.

Ряд аналогичных задач возникает и в других областях, наиболее часто при проектировании реляционных баз данных, где требуется найти рацио- $\kappa вадратная$ матрица A (n imes n), e_i обозначает

нальное соотношение между количеством записей и их величиной.

Рассмотрим формальную постановку задачи.

Имеется множество алгоритмов приведения матрицы к блочному виду, при условии, что исходная матрица является квадратной (Х. Д. Икрамов [3], О. Эстербю, З. Златев [4]). Однако в большинстве случаев матрица является прямоугольной, для этого случая эффективных алгоритмов не разработано. Часто используются подходы, основанные на искусственном приведении прямоугольной матрицы к квадратной, что приводит к искажению исходной задачи.

Анализ подходов показал, что для решения данной задачи может быть применена теорема Тьюарсона.

Подход Тьюарсона заключается в преобразовании исходной произвольной матрицы A в эквивалентную ей блочную матрицу \widehat{A} путем перестановки строк и столбцов. Р. Тьюарсон формализовал данную задачу и представил ее в следующем виде:

$$PAQ = \widetilde{A},\tag{1}$$

где P и Q матрицы перестановок.

Матрица перестановок — это квадратная элементарная матрицы, которая получается из единичной (рис. 1) соответствующими операциями над ее строками (столбцами). Пример элементарной матрицы приведен на рис. 2. Элементарную матрицу удобно использовать для проведения перестановок столбцов и строк исходной матрицы, так при умножении матрицы A на матрицу P слева в матрице Aменяются местами строки, а при умножении справа — столбцы.

$$\mathbf{E} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Рис. 1. Единичная матрица (6×6)

Теорема 1 (Тьюарсона). Пусть имеется

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Рис. 2. Элементарная матрица (6×6)

j-й столбец единичной матрицы n-го порядка (рис. 1), m. e.

$$e_j = \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix},$$

а e_i будет соответственно i-й строкой единичной матрицы n-го порядка, m. e.

$$e_i = \begin{pmatrix} 0 & \cdots & 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \end{pmatrix},$$

тогда если $W=A*A^{\rm T}$ и $W^{2h+1}=W^{2h}*W^{2h}$, h=0,1,2,K, то существует такое h_1 , что $W^{2h_1+1}=W^{2h_1}=F$ и $e_iFe_j=1$ тогда и только тогда, когда i-я и j-я строки матрицы \widetilde{A} принадлежат одному и тому же блоку матрицы \widetilde{A} .

Следствие: если матрица F определена как в теореме

$$F * A = \overline{F}$$

и элемент матрицы \overline{F} $\overline{f_{ij}}=e_i\overline{F}e_j=1$, то i-я строка и j-й столбец матрицы \widetilde{A} принадлежат одному и тому же блоку матрицы \widetilde{A} .

Таким образом, матрица \overline{F} содержит полные сведения о матрицах Q $(n \times n)$ и P $(n \times n)$.

Как следует из формулировки теоремы и следствия, она доказывает принципиальную возможность приведения матрицы к блочному виду, не накладывая ограничений на вид матрицы — квадратный или прямоугольный, что дает возможность использовать ее как методическую базу для построения алгоритма приведения прямоугольной матрицы к блочному виду.

Алгоритм заключается в последовательном поиске строк и столбцов, на пересечении которых находятся ненулевые элементы. Это необходимо для проверки строк (столбцов), не удовлетворяющих условию (1) и приведения произвольной разреженной матрицы к блочной форме. Если строка, не удовлетворяющая условию (1), не позволяет привести матрицу к блочной форме, то ее следует отделить от матрицы, а алгоритм повторить сначала. И так для каждой из строк (столбцов), не удовлетворяющих условию (1).

Начинать применение алгоритма можно с любой строки (столбца), но при наличии неопределенности о качестве результата следует начинать со строки (столбца) с максимальным количеством ненулевых элементов.

Необходимо найти матрицы перестановок P и Q такие, что: $\widetilde{A}=PAQ$, где \widetilde{A} — блочная матрица.

Прежде чем изложить алгоритм, введем показатель веса строки (столбца) матрицы. Вес строки (столбца) — это количество единиц в этой строке (столбце) в матрице A.

Алгоритм приведения матрицы к блочной форме.

- 1. Составляем матрицу A.
- 2. Подсчитываем вес для каждой строки и каждого столбца матрицы A.
- 3. Находим немаркированную строку с наибольшим весом. Эта строка становится главной строкой. Маркируем ее и запоминаем ее номер в массиве P.
- 4. Ищем немаркированные столбцы, соответствующие единицам в главной строке. Заносим их номера в массив Q.
- 5. Берем номер первого немаркированного столбца из массива Q. Маркируем его и определяем строки, соответствующие единицам в этом столбце. Если среди них есть строки, номера которых отсутствуют в массиве P, то заносим их номера в этот массив. Таким образом, проходимся по всем столбцам с номерами из массива Q.
- 6. Берем номер первой немаркированной строки из массива P. Маркируем ее и определяем столбцы, соответствующие единицам в этой строке. Если среди них есть столбцы, номера которых отсутствуют в массиве Q, то заносим их номера

в этот массив. Таким образом, проходимся по всем немаркированным строкам с номерами из массива P.

- 7. Если в массивах P и Q больше не осталось ни одной немаркированной строки и размер массива P меньше T, то переходим к шагу 3. Если размер массива P равен T, то переходим к шагу 8.
- 8. Если шаги 3–8 пройдены всего один раз, то матрица к форме BDF не приводится. Если шаги 3–8 пройдены минимум 2 раза, то матрица приводится к блочной диагональной форме.
- 9. Дописываем номера оставшихся немаркированных столбцов в массив Q. Считаем процесс приведения матрицы В к блочной форме оконченным.

Если матрица к блочному диагональному виду не приводится, то можно попробовать убрать из рассмотрения строку с наибольшим весом или все строки, не удовлетворяющие условию (1).

Пример. Возьмем матрицу A (6 \times 8), для иллюстрации приведения матрицы к блочной форме по представленному алгоритму.

Таблица 3.

| | | F_1 | F_2 | F_3 | F_4 | F_5 | F_6 | F_7 | F_8 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | q_1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | q_2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| A = | q_3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | q_4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | q_5 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | q_6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

В соответствии с шагом 3 за главную строку берем строку с наибольшим весом. В данном примере это четвертая строка. На четвертом шаге отбираем столбцы, отвечающие единицам в главной строке, т. е. 3, 5 и 6-й столбцы. Таким образом, массив Q становится следующим: $Q = (e'_3, e'_5, e'_6, \dots$...). Далее берем третий столбец, считаем его главным и определяем строки, в которых стоят единицы этого столбца, т.е. 2-я строка, т. к. 3-ю уже просматривали и она является маркированной. Просматриваем 5-й и 6-й столбцы и составляем массив $P = (e_2, e_4, e_6, \ldots)$. После прохода шестого шага в массивах P и Q не остается ни одной немаркированной строки. При этом размер массива Pменьше m, следовательно, матрица A приводится к блочному виду. Выделяем следующий блок. Для этого переходим к шагу 3 и получаем $Q = (e_3', e_5', e_6', e_1', e_4', e_8', \ldots)$ и $P = (e_2, e_4, e_6, e_1, e_5, \ldots)$.

4. Так как осталась одна немаркированная строка, то эта строка и все оставшиеся немаркированные столбцы принадлежат последнему блоку.

Дописываем массивы P и Q: $P=(e_2,e_4,e_6,e_1,e_5,e_3),\ Q=(e_3',e_5',e_6',e_1',e_4',e_8',e_2',e_7').$

Таким образом, искомые матрицы примут вид:

Следовательно,

в итоге получаем матрицу, приведенную в табл. 4.

Таблица 4.

| | | F_3 | F_5 | F_6 | $\boldsymbol{F_1}$ | F_4 | F_3 | $\boldsymbol{F_2}$ | F_7 |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|--------------------|-------|
| | q_2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ~ | q_4 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $\widetilde{A} =$ | q_6 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | q_1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | q_5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | q_3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |

Далее представлен анализ получившейся матрицы и предложен вариант интерпретации ее преобразований.

Проанализировав получившуюся матрицу, делаем следующие выводы.

- Если проводить анализ по строкам:
 - 1. функции ${\pmb F_3}$ и ${\pmb F_5}$ можно включить в состав функции ${\pmb F_6};$
 - 2. функции ${\pmb F_1}$ и ${\pmb F_8}$ дублируют друг друга и их можно объединить вместе с функцией ${\pmb F_4}$;
 - 3. аналогично функции $\boldsymbol{F_2}$ и $\boldsymbol{F_7}$;
 - 4. в итоге получим (табл. 5):

Таблица 5.

| | F_{356} | F_{148} | F_{27} |
|-------|-----------|-----------|----------|
| q_2 | 1 | 0 | 0 |
| q_4 | 1 | 0 | 0 |
| q_6 | 1 | 0 | 0 |
| q_1 | 0 | 1 | 0 |
| q_5 | 0 | 1 | 0 |
| q_3 | 0 | 0 | 1 |

- Если проводить анализ по столбцам:
 - 1. операции q_2 и q_6 можно включить в состав функции q_4 ;
 - 2. операцию q_1 можно включить в состав q_5 ;
 - 3. в итоге получим (табл. 6):

Таблица 6.

| | F_3 | F_5 | F_6 | F_1 | F_4 | F_8 | $\boldsymbol{F_2}$ | F_7 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|-------|
| $oldsymbol{q_{246}}$ | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| q_{15} | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| q_3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |

• Если проводить анализ по строкам и столбцам, то получим (табл. 7):

Таблица 7.

| | F_{356} | F_{148} | $oldsymbol{F_{27}}$ |
|----------------------|-----------|-----------|---------------------|
| $oldsymbol{q_{246}}$ | 1 | 0 | 0 |
| $q_{15}^{}$ | 0 | 1 | 0 |
| q_3 | 0 | 0 | 1 |

Очевидно, что приведение исходной матрицы взаимосвязей функций и задач к блочному виду заметно упрощает проведение ее анализа с целью оптимизации структуры проектируемой системы. Причем данный подход можно использовать на этапе проектировании различных автоматизированных систем, баз данных, программного обеспечения и т. д. С помощью него можно оптимизировать структуру исследуемого объекта и выявить ошибки проектирования.

Дальнейшие исследования, связанные с оптимизацией архитектуры системы мониторинга необходимо вести в направлении определения алгоритмов интерпретации и анализа результатов приведения матриц взаимосвязей функций и технологических задач к блочному виду.

Выводы

Проведенные исследования показали, что для решения прикладной задачи оптимизации структуры проектируемой системы с использованием матрицы взаимосвязи функций и задач целесообразно приводить ее к блочному виду. Для этого наиболее эффективно применение алгоритма, основанного на теореме Р. Тьюарсона, использующего эвристический подход к нахождению матриц перестановок строк и столбцов исходной матрицы. Он оказался наиболее эффективным при программной реализации. Время, затрачиваемое данным алгоритмом на преобразование исходной матрицы, меньше,

чем у прямого алгоритма, использующего операции умножения матриц. В то же время методика требует совершенствования в части анализа множественности получаемых решений при ее работе.

В статье также предложен вариант анализа блочной матрицы взаимосвязей функций и задач, облегчающий решение задачи оптимизации архитектуры алгоритмического обеспечения при построении комплексов, автоматизированных систем, программного обеспечения. Определено дальнейшее направление исследований.

Список литературы

1. Уколов А.А. Анализ основных подходов к решению задачи обеспечения мониторинга технического состояния средств НАКУ КА НСЭН и измерений. Труды Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы создания и экс-

- плуатации вооружения, военной и специальной техники (27–28 сентября 2012 г.)», т. 1. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2012. С. 520–527.
- 2. Уколов А. А. Анализ алгоритмов приведения прямоугольных матриц к блочному виду для решения задачи оптимизации архитектуры алгоритмического обеспечения автоматизированной системы мониторинга технического состояния средств НАКУ КА НСЭН и измерений. Сборник трудов VI Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий» 5–7 июня 2013 г. М.: ОАО «Российские космические системы», 2013.
- 3. *Икрамов Х. Д.* Численные методы линейной алгебры (Решение линейных уравнений). М.: Знание, 1987. 46 с.
- 4. *Эстербю О., Златев З.* Прямые методы для разреженных матриц. Перевод с англ. Х. Д. Икрамов. М.: Мир, 1987. 118 с.

РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ 2014, том 1, выпуск 4, с. 57–68

_____ НАЗЕМНЫЕ И БОРТОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ УПРАВЛЕНИЯ КА _____ И СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ

УДК 621.314.5

Перспективные алгоритмы управления полетом космического аппарата

И. Н. Пантелеймонов

OAO «Российские космические системы» e-mail: panteleymonov@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены новые концепции построения и алгоритмы работы бортовых и наземных комплексов управления полетом космических аппаратов, особенность которых — простота реализации, удобство работы оператора, надежность и универсальность.

Ключевые слова: космический аппарат, Международная космическая станция, бортовая аппаратура, наземный комплекс управления, командно-измерительная станция, геостационарный спутник-ретранслятор, Центр управления полетом, регистрация, маршрутизация, установление соединения

Perspective Algorithms for Spacecraft Missions Control

I. N. Panteleymonov

Joint Stock Company "Russian Space Systems" e-mail: panteleymonov@yandex.ru

Abstract. Consider the construction of new concepts and algorithms for airborne and ground-based flight control of spacecraft, CCA-feature of which is the simplicity of implementation, operator comfort, on-reliability and versatility.

Key words: spacecraft, International Space Station, on-board equipment, ground control, command and measuring station, a geostationary relay satellite, Mission Control Center, registration, routing, connection establishment

Управление полетом космического аппарата (КА) — сложный технический процесс, где малейшая ошибка, неточность или несвоевременность может привести к тяжелым последствиям и даже к потере управляемости КА. Важнейшей составляющей процесса управления полетом КА является обеспечение устойчивой связи с КА, которое во многом зависит от схемы организации связи и алгоритмов обработки информации и требует прежде всего того, чтобы бортовая аппаратура КА как можно больше времени находилась в доступном для связи с Центром управления полетом (ЦУП) состоянии.

При установлении связи командно-измерительной станции земной станции (КИС 3С) непосредственно с КИС бортовой аппаратуры (БА КИС) низкоорбитальных КА (НО КА) и среднеорбитальных КА (СО КА) длительность зоны радиовидимости (ЗРВ) в течение одного витка невелика. На рис. 1 для примера изображена трасса полета международной космической станции. Для утверждения вышесказанного произведен расчет длительности ЗРВ на примере связи КИС ЗС с БА КИС Международной космической станции (МКС) в режиме непосредственной связи и связи через геостационарный спутник-ретранслятор (ГСР). Для расчетов длительности ЗРВ в течение суток необходимы следующие параметры:

- количество витков, совершаемых МКС вокруг Земли в течение суток в доступной (видимой) для отечественных наземных измерительных пунктов (НИП) зоне;
- период обращения вокруг Земли;
- длительность ЗРВ НИПа.

Исходные данные для расчетов ЗРВ НИПов представлены в табл. 1.

Результаты расчетов ЗРВ НИПов представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, в настоящее время наиболее перспективной для решения задач управления полетом КА является схема связи ЗС-ГСР-КА, т.е. двухконтурная схема организации связи [1,2]. Недостатком действующей в настоящее время двухконтурной схемы организации связи является отсутствие межспутниковых каналов связи ГСР-ГСР. Следствием отсутствия межспутниковых каналов связи ГСР-ГСР является проблема: необходимость наличия ЗС в зоне радиопокрытия (ЗРП) каждого ГСР и наличие проводных или спутниковых каналов связи (в один или два «скачка») с этой ЗС. Существенное влияние данная проблема оказывает в Западном полушарии. При развертывании межспутниковых каналов связи ГСР-ГСР можно построить схемы организации связи с одной ЗС и тремя, а лучше — с четырьмя ГСР. Для построения схемы организации связи с одной ЗС и тремя—четырьмя ГСР (ЗС-ГСР-ГСР-КА) необходимо решить задачу маршрутизации потоков информации в межспутниковых каналах связи ГСР-ГСР-КА.

Алгоритмы маршрутизации информации в межспутниковых каналах связи для управления полетом НО КА

Алгоритм маршрутизации информации от ЗС к КА через ГСР организации связи основан на использовании современных технологий:

- а) стека протоколов TCP/IP;
- б) динамической регистрации НО КА в ГСР;
- в) динамической маршрутизации потоков информации в межспутниковых каналах связи.

Принцип работы схемы связи для управления полетом НО КА заключается в следующем: НО КА регистрируется на ближайшем к нему ГСР и осуществляет передачу информации в ЗС через один или несколько ГСР, объединенных в единую сеть связи межспутниковыми каналами связи. ГСР ведет постоянный учет зарегистрированных НО КА в сервере определения местоположения (ІР-адрес, категория и номер КА), а НО КА записывает информацию об установлении соединения с ГСР в сервере оперативной регистрации. В связи с тем, что проекция траектории орбиты по поверхность Земли, называемая трассой полета КА, описывает синусоиду, в течение одного витка КА проходит в ЗРП трех ГСР. Схема трассы полета МКС изображена рис. 1.

Таблица 1. Исходные данные для расчетов ЗРВ НИПов

| Париол обращация | Период обращения, ч | Вид | димые витки | Невидимые витки | | | Всего витков | | |
|------------------|---------------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|-----------------|--|--|
| | период обращения, ч | кол-во | длительность, ч | кол-во | длительность, ч | кол-во | длительность, ч | | |
| | 1,5 10 | | 15 | 6 9 | | 16 | 24 | | |

Таблица 2. Результаты расчетов ЗРВ НИПов

| Вид задействования НИПов | Кол-во видимых витков | | Длительность ЗРВ | | | |
|---------------------------|-----------------------|------|------------------|----------------------------|----------------|--|
| Бид заденствования ттипов | Одного НИПа | всех | 1 витка, мин | N витков одного НИПа, ч | Всех витков, ч | |
| По одному НИПу на витке | 5 | 10 | 10 | 0,83 | 1,7 | |
| Два НИПа на витке | | | 16 | 2,67 | 2,7 | |
| Три НИПа на витке | | | 20 | 1,67 | 3,3 | |
| При связи через один ГСР | 5 | 5 | 45 | 3,75 | 3,75 | |
| При связи через два ГСР | 5 | 10 | 90 | 15,00 | 15 | |
| При связи через три ГСР | 5 | 15 | 90 | 22,50 | 22,5 | |
| при связи через гри г ст | | 16 | 90 | 24,00 | 24 | |

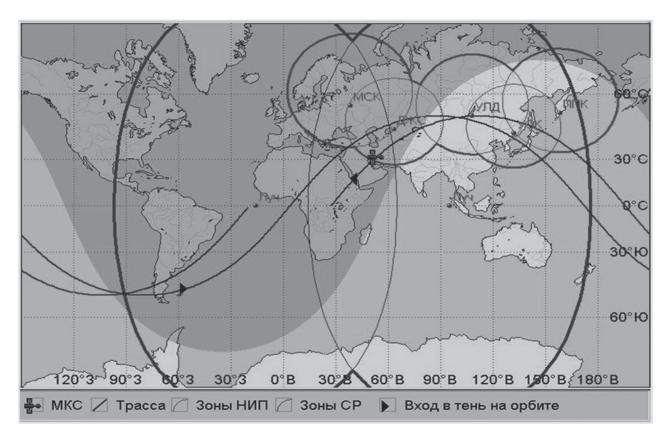


Рис. 1. Трасса полета МКС, ЗРП ГСР «Луч» и ЗРВ НИПов

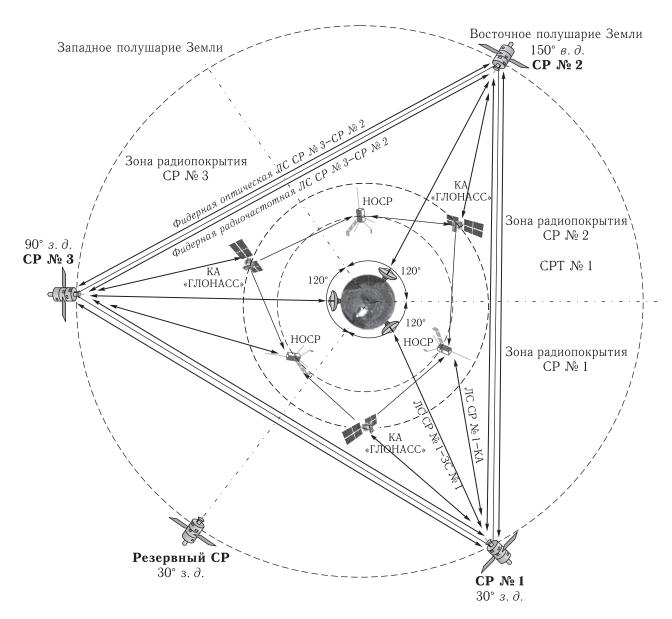


Рис. 2. Орбитальный сегмент схемы организации связи с КА через три ГСР

Орбитальный сегмент схемы организации связи с КА через ГСР, представляющий собой вид на плоскость экватора со стороны Северного полюса, изображен на рис. 2 и 3. Окружность большего диаметра изображает геостационарную орбиту, окружность среднего диаметра — среднюю и окружность меньшего диаметра — низкую орбиту. Стрелками обозначены линии связи, необходимые для обеспечения управления полетом КА. Линии связи между КА «ГЛОНАСС», находящимися на средней орбите, и НО КА необходимы для передачи координат КА «ГЛОНАСС» для НО КА.

Для детального рассмотрения схемы организации связи ЦУП-3С $-\Gamma$ СР $-\Gamma$ СР-KА изобразим топологическую модель этой схемы в виде графа. Схема организации связи ЦУП с КА через 3С и ГСР в виде графа показана на рис. 4. Видно, что при наличии межспутниковых связей в канале связи ГСР $-\Gamma$ СР граф приобретает вид полносвязанного. Характеристика полносвязанности свидетельствует о том, что от исходной вершины MC до конечной вершины A, B или C существует несколько маршрутов. Это повышает гибкость и отказоустойчивость системы связи, а применение протоколов

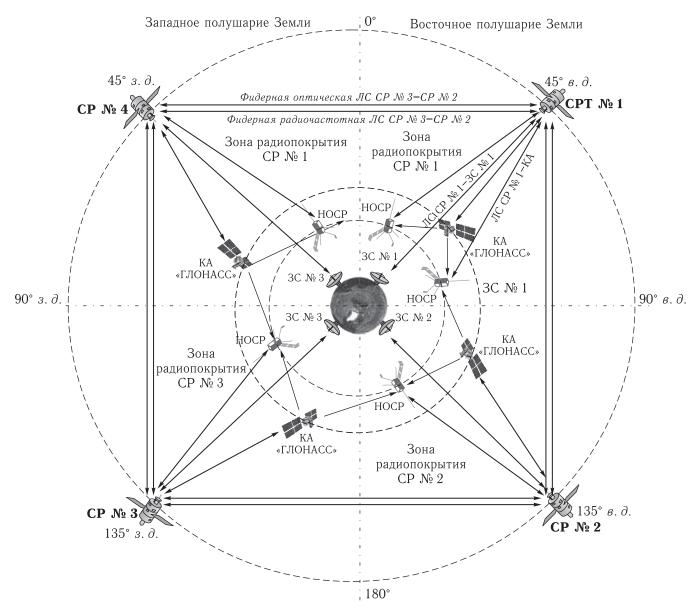


Рис. 3. Орбитальный сегмент схемы организации связи с КА через четыре ГСР

динамической маршрутизации позволит решать задачи прокладки маршрутов и установления соединения в автоматическом режиме.

Логическая топология схемы связи ГСР-СО КА и ГСР-ВЭО КА — «точка-точка», а логическая топология схемы связи ГСР-НО КА — «звезда». Данное утверждение вытекает из логики установления связи КА и ГСР, которая будет рассмотрена ниже.

Для того чтобы НО КА использовать ГСР в качестве ретранслятора, необходимо зарегистрироваться в сервере оперативной регистрации ГСР.

Регистрация НО КА в ГСР осуществляется следующим образом. НО КА на малонаправленную антенну принимает сигналы с ГСР и по максимальному соотношению сигнал/шум принимаемого пилотсигнала определяет ближайший ГСР, его антенну и луч для регистрации. В сервере баллистической информации НО КА хранится рассчитываемый 1 раз в неделю на ЦУП прогноз баллистической информации, содержащий баллистические параметры орбиты НО КА, а для текущей корректировки прогноза баллистической информации НО КА принимает сигналы ГЛОНАСС и определяет свое

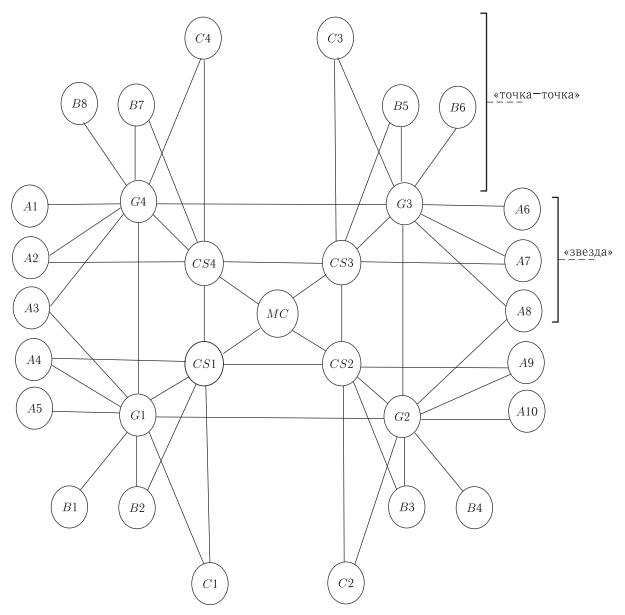


Рис. 4. Схема организации связи ЦУП с KA через ЗС и ГСР в виде графа Условные обозначения:

$$A-$$
 НО КА; $B-$ СО КА; $C-$ КА на высокоэллиптической орбите (ВЭО КА); $C-$ КА на $C-$ ССР; $CS-$ 3C; $CC-$ ЦУП

местоположение. На основании баллистической информации сервер регистрации рассчитывает значения угла места и азимута для остронаправленной антенны НО КА для установления связи с ГСР. Затем НО КА отправляет сигнал запроса о регистрации на ближайший ГСР.

ГСР принимает сигнал запроса о регистрации НОСР, регистрирует НОСР, записывает информацию о НОСР в ОЗУ сервера оперативной регистрации (СОР) и в таблицу маршрутизации маршрутизатора. Маршрутизатор ГСР по алгоритму маршрутизации протокола Routing Information Protocol

(RIP) и после регистрации НО КА сообщает об этом всем соседним ГСР и ЗС, находящимся в ЗРП этого ГСР. Все ГСР постоянно обмениваются изменениями в таблице маршрутизации, а также сообщают эти изменения на ЗС, находящиеся в ЗРП этого ГСР.

Перед необходимостью передачи информации с БА КИС НО КА на КИС НКУ или с КИС НКУ на БА КИС НО КА осуществляется процедура установления соединения. КИС НКУ может устанавливать соединение с БА КИС НО КА непосредственно (1-й контур управления) и через один или два ГСР (2-й контур управления), БА КИС НО КА устанавливает соединение с БА КИС НКУ только через ГСР (2-й контур управления).

Для установления соединения БА КИС НО КА передает сигнал вызова на зарегистрировавший его ГСР, маршрутизатор которого строит маршрут к КИС НКУ, и если данная КИС находится в ЗРП этого ГСР, то ретранслирует сигнал вызова на КИС НКУ. Если вызываемая КИС НКУ находится в ЗРП другого ГСР, маршрутизатор прокладывает маршрут по протоколу RIP к ГСР, который впоследствии ретранслирует сигнал вызова на КИС НКУ. Получив сигнал вызова, КИС НКУ формирует и отправляет на БА КИС НО КА сигнал готовности к приему информации. БА КИС НО КА после получения сигнала готовности к приему информации приступает к передаче информации по проложенному маршруту. Алгоритм регистрации НО КА в ГСР и установления соединения с КИС через один ГСР изображен на рис. 5, а алгоритм регистрации НО КА в ГСР и установления соединения с КИС через два ГСР представлен на рис. 6.

Для окончания соединения КИС, инициировавшая соединение, формирует и передает сигнал окончания соединения, после этого соединение прерывается и КИС БА и НКУ переходят в дежурный режим приема информации.

Аналогичным образом осуществляется установление соединения в случае, если инициатором установления соединения выступает КИС НКУ.

Для связи с НО КА и ЗС ГСР использует многолучевые антенны, а для связи с соседними ГСР, ВЭО и СО КА применяются остронаправленные антенны. Перспективное направление развития межспутниковой связи — освоение

Ка- и Q-диапазонов [6], а в дальнейшем и оптического диапазона [5] электромагнитных волн.

Перерегистрации НО КА внутри одного ГСР (внутренний «хэндовер») осуществляется следующим образом. По мере движения НО КА по орбите постоянно сопоставляет соотношение пилотсигнала сигнал/шум от других лучей и других антенн, и если оно превышает текущее соотношение сигнал/шум, перерегистрируется на луч антенны данного ГСР, от которого принимает пилот-сигнал с максимальным соотношением сигнал/шум.

Алгоритмы маршрутизации информации в межспутниковых каналах связи для управления полетом СО КА и ВЭО КА

Основной особенностью связи ГСР с СО КА и ВЭО КА является то, что на некоторых участках своей орбиты СО КА и ВЭО КА не находятся в ЗРП ГСР.

В связи с этим остронаправленная антенна СО КА или ВЭО КА, согласно заложенной в сервер баллистической информации программы, должна отслеживать в течение всего полета направление на ближайший ГСР и автоматически перенацеливать антенну с одного ГСР на другой. ГСР не в состоянии отслеживать все КА СО КА или ВЭО КА, и поэтому регистрация КА СО КА или ВЭО КА осуществляется непосредственно перед установлением соединения. Когда КА СО КА или ВЭО КА инициирует установление соединения, ГСР принимает сигнал запроса на регистрацию на малонаправленные антенны. После того как КА СО КА или ВЭО КА в сигнале запроса на установление соединения указывают свой идентификационный номер (ID) и текущие координаты, ГСР по информации, хранящейся в сервере баллистической информации, или по полученным координатам наводит остронаправленную антенну на КА СО КА или ВЭО КА. В процессе сеанса связи ГСР отслеживает на КА СО КА или ВЭО КА по хранящейся в сервере баллистической информации или в режиме автосопровождения (если баллистическая информация устарела

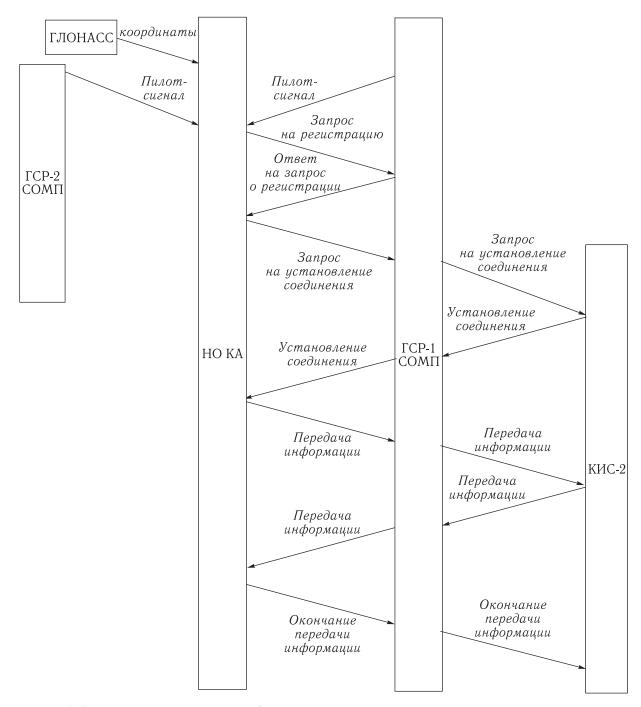


Рис. 5. Алгоритм регистрации НО КА в ГСР и установления соединения с КИС через один ГСР

и есть расхождения между ней и реальным положением КА).

Затем ГСР принимает сигнал запроса о регистрации СО КА или ВЭО КА, регистрирует СО КА или ВЭО КА, записывает информацию о СО КА или ВЭО КА в ОЗУ сервера оперативной регистрации (СОР) и в таблицу маршрутизации маршру-

тизатора. В отличие от режима работы с НО КА, после регистрации СО КА или ВЭО КА ГСР не сообщает об этом всем соседним ГСР и ЗС, находящимся в ЗРП этого ГСР, так как по хранящимся в сервере баллистической информации данным любой ГСР может определить, где находится в нужный момент времени СО КА или ВЭО КА.

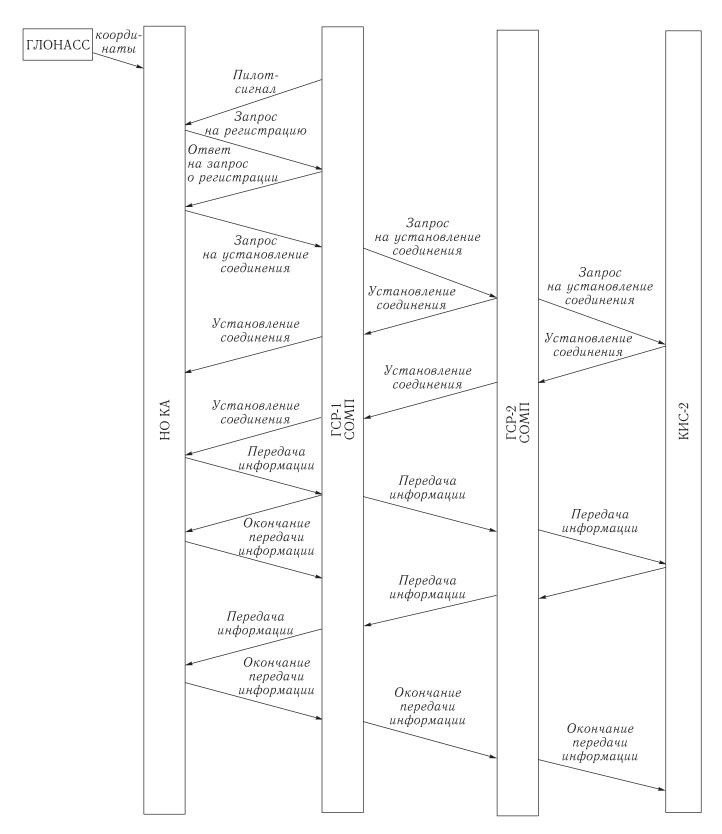


Рис. 6. Алгоритм регистрации НО КА в ГСР и установления соединения с КИС через два ГСР

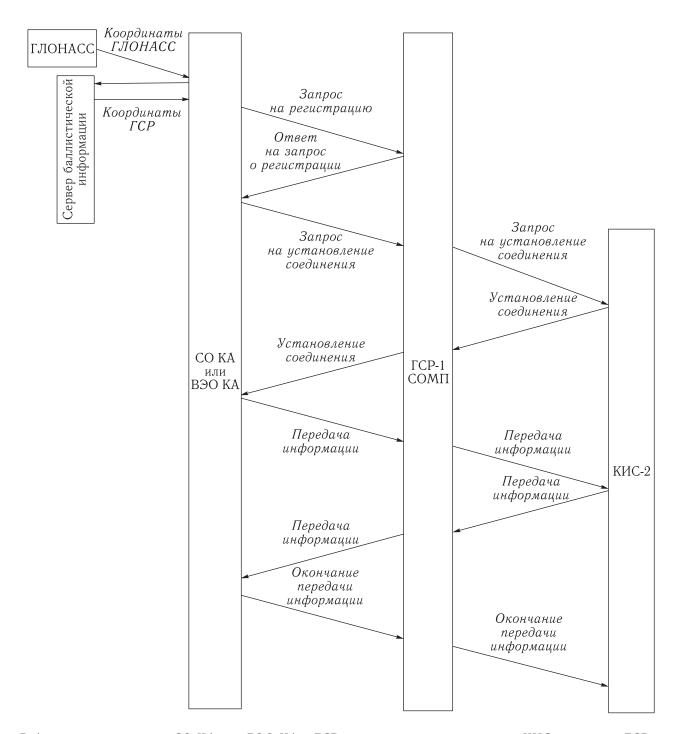


Рис. 7. Алгоритм регистрации СО КА или ВЭО КА в ГСР и установления соединения с КИС через один ГСР

Очередность доступа определяется ранее расписаням или приоритета КА, или приоритета информации от этих КА.

После регистрации СО КА или ВЭО КА в ГСР ной в ЦУП программой полета согласно категори- процедура вызова КИС НКУ осуществляется также, как в случае с НО КА.

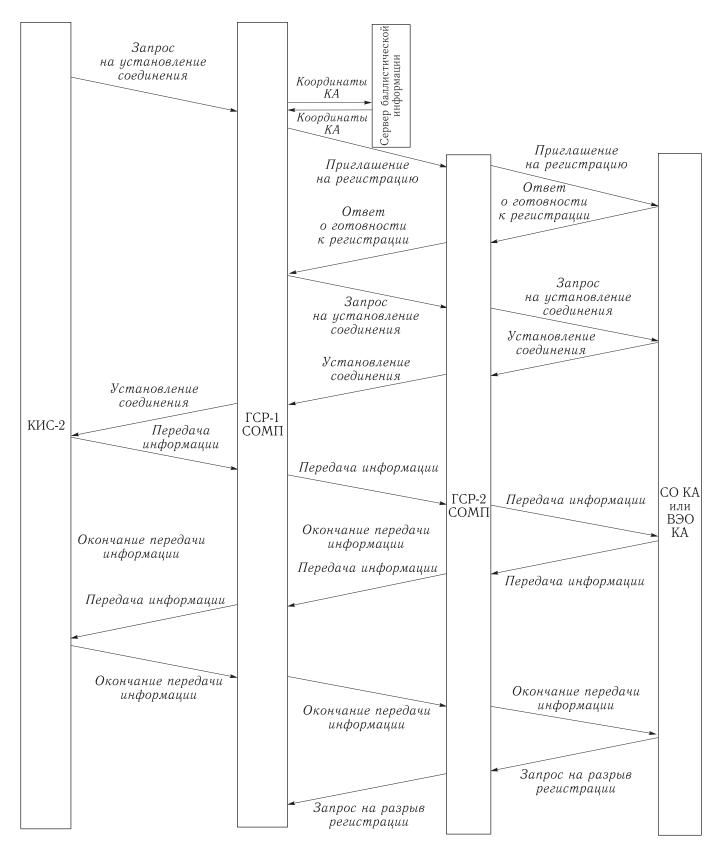


Рис. 8. Алгоритм регистрации СО КА или ВЭО КА в ГСР и установления соединения с КИС через два ГСР, когда инициатором выступает КИС НКУ

Когда инициатором установления соединения выступает КИС НКУ, ГСР получает от КИС НКУ сигнал запроса на установление соединения, в котором указан ID вызываемого СО КА или ВЭО КА. Сервер баллистической информации определяет по координатам, что вызываемый СО КА или ВЭО КА находится в его ЗРП. Если в данный момент времени СО КА или ВЭО КА находятся в ЗРП другого ГСР, то маршрутизатор вызываемого с НКУ ГСР рассчитывает по протоколу RIP к этому ГСР.

Затем сервер баллистической информации по имеющимся у него данным определяет угол места и угол азимута для остронаправленной антенны и блок наведения остронаправленной антенны ГСР наводит ее на вызываемый СО КА или ВЭО КА. ГСР формирует и передает на СО КА или ВЭО КА приглашение на регистрацию. СО КА или ВЭО КА, получив приглашение на регистрацию, формирует и передает на ГСР сигнал подтверждения. ГСР после получения сигнала подтверждения ретранслирует на КИС БА СО КА или ВЭО КА от КИС НКУ сигнал запроса на установление соединения.

Далее процедура установления соединения осуществляется, как в предыдущем случае.

Алгоритм регистрации СО КА или ВЭО КА в ГСР и установления соединения с КИС через один ГСР изображен на рис. 7, а алгоритм регистрации СО КА или ВЭО КА в ГСР и установления соединения с КИС через два ГСР, когда инициатором выступает КИС НКУ, изображен на рис. 8.

Заключение

Преимуществами описанных в статье способов организации связи является возможность построения единого комплекса управления полетом КА различного назначения и работающего в различных режимах работы. Применение современных алгоритмов регистрации, осуществления установления соединения и маршрутизации позволяет создать универсальную, динамичную и экономичную систему связи и управления в полете с КА различного назначения. Данная статья открывает возможность разработки и создания КИС БА и НКУ нового поколения.

Список литературы

- 1. Булгаков Н. Н., Алыбин В. Г., Кривошеин А. А. Особенности построения бортовой аппаратуры командно-измерительной системы космического аппарата для управления им как в зоне его радиовидимости с наземной станции, так и вне ее. 24-я Международная крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», 7–13 сентября 2014 г. Севастополь: Вебер, 2014, т. 1, с. 6–9.
- 2. Булгаков Н. Н., Алыбин В. Г., Кривошеин А. А. Особенности построения двухконтурной бортовой аппаратуры командно-измерительной системы для управления космическим аппаратом на этапе его вывода на ГСО. Научно-технический журнал «Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы». М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014, т. 1, вып. 2, с. 74–80.
- 3. *Бадялик В.* Основы телевизионного вещания со спутников. М.: Горячая линия—Телеком, 2004.
- 4. *Камнев В., Черкасов В., Чечин Г.* Спутниковые сети связи. М.: Альпина Паблишер, 2004.
- 5. *Карасюк В. Н., Шаталов А. А., Шаталова В. А.* Системы лазерной космической связи. Ч. 1. СПб.: ГУАП, 2007. 156 с.
- 6. Султанов А.С., Корниенко В.И., Пантелеймонов И.Н. Оценка перспектив применения К/Кадиапазона в отечественных системах спутниковой связи // Новый университет, 2014, № 1, с. 10–20.

<u> — НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ —</u>

УДК 011.1

Практика стимулирования публикационной активности в ОАО «Российские космические системы»

О. А. Арутюнова¹, **О. Н. Римская**²

2 K. 3. H.

OAO «Российские космические системы» (http://orcid.org/0000-0002-1548-0815)

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

Аннотация. Для оценки эффективности научной деятельности организации и ученых используются показатели публикационный активности. Один из них — индекс цитируемости. Показатели цитирования нужны как индикаторы деятельности исследователей, организаций и журналов и дают возможность сопоставить уровень научных исследований разных организаций или отдельных исследователей. Определен ряд проблем, которые ограничивают публикации российских авторов в международных наукометрических базах, и рассмотрены способы повышения публикационной активности.

Ключевые слова: публикационная активность, библиография, РИНЦ, индекс цитирования, библиометрия

The Practice of Regulating Publication Activity at Joint Stock Company «Russian Space Systems»

O. A. Arytyunova¹, O. N. Rimskaya²

²candidate of economic science Joint Stock Company "Russian Space Systems" (http://orcid.org/0000-0002-1548-0815)

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

Abstract. Publication activity rates are used to evaluate the effectiveness of scientific activity of organizations and scientists. One of them is the citation index. Citation rates function as indicators of research, organization and journal quality, as well as provide the opportunity to compare the level of research of different organizations and scholars. A range of problems that impede the publications of Russian scholars in international scientometric databases together with ways of increasing publication activity are analyzed.

Key words: publication activity, references, Russian Science Citation Index, citation index, bibliometry

Введение

В научной деятельности важную роль играет информационное обеспечение научно-исследовательской работы, поскольку ее актуальность и научная новизна определяются полнотой получения предварительной информации о состоянии проблемы и наличии аналогичных исследований в России и за рубежом.

Для оценки эффективности научной деятельности организации и ученых используются показатели публикационной активности. Один из них — индекс цитирования.

Индекс цитирования — это количественный показатель числа ссылок на работы автора. По смыслу это показатель вклада научного сотрудника в развитие своей дисциплины, который зависит от качества его исследований и написанных по ним статьям в научных журналах.

Показатели цитирования нужны как индикаторы качества исследователей, организаций и журналов. Они дают возможность сопоставить уровень научных исследований разных организаций или отдельных исследователей. В частности, оказывают влияние на позицию вуза или научноисследовательского института в различных рейтингах. Данные показателей цитирования часто учитываются при определении победителей различных грантов, конкурсов, программ и помогают определить популярные темы исследований. Индекс цитирования ученых — важный критерий уровня высшего образования и науки развитой страны, который в России пока еще не получил всеобщего распространения.

Состояние публикационной активности российских авторов

Рейтинги ведущих вузов берут индекс цитируемости из крупнейшей в мире специализированной базы статей — Scopus, в которой находится 56 млн статей и 10–12 тыс. статей ежедневно добавляются в базу. В базе размещаются не все статьи, а только оригинальные и качественные. Средний процент статей, попадающих в базу, от общего количества предоставляемых организацией — 41 %. Это мировая статистика.

В России же эта цифра составляет всего 27%. Даже в большинстве стран БРИКС этот процент выше — 53% в Африке, 32% в Бразилии. Россия опережает только Индию — там 19% [5].

Среди причин малой доли публикаций российских авторов в международных журналах можно отметить отсутствие:

- языковой компетентности:
- информационной и библиографической работы с научными источниками;
- навыков академического письма;
- международной и национальной публикации.

Все индексы цитирования можно разделить на три основные группы [1]:

- 1. По конкретным областям знаний тематические библиографические базы данных, например, DBLP (компьютерные науки), MathSciNet (математика) и множество других.
- 2. Национальные политематические библиографические базы данных с информацией о публикациях авторов из конкретных стран или ряда стран, обладающих исторически тесными научными связями. К этому типу индексов относятся Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), Chinese Science Citation Index, Citation Database for Japanese Papers и другие.
- 3. Политематические международные базы данных Web of Science (WoS) и Scopus SciVerse. Первая была создана в 1961 г. Юджином Гарфилдом в Институте научной информации США, а позднее приобретена корпорацией Thomson Reuters. В 2004 г. издательский дом Elsevier создает базу данных Scopus, тем самым нарушив монополию Web of Science на этом рынке. За восемь лет Scopus смог обогнать своего конкурента по количеству индексируемых научных журналов.

Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) — это библиографическая база данных научных публикаций российских ученых. Проект РИНЦ разрабатывается с 2005 г. компанией «Научная электронная библиотека» (НЭБ). Для получения необходимых пользователю данных о публикациях и цитируемости статей на основе базы

данных РИНЦ разработан аналитический инструментарий Science Index.

Алгоритм работы РИНЦ по публикационной активности автора:

- по результатам научных исследований ученый публикует статью в реферируемом научном журнале;
- информация из 12000 научных журналов оцифровывается в единую базу данных;
- для каждой статьи подсчитывается количество ссылок на нее в других статьях.

В Советском Союзе в 1974 г. в ВИНИТИ (национальный информационный центр, обеспечивающий российское и мировое сообщество научнотехнической информацией по проблемам точных, естественных и технических наук) была предпринята попытка создания библиометрического инструмента России. В конце 80-х гг. прошлого столетия в СССР выходило порядка 40 000 статей в год, сегодня чуть более 30 000 статей.

В 2012 г. показатель количества публикаций приобрел статус государственного норматива по Указу Президента РФ от 07.05.2012 № 599 «О мерах по реализации государственной политики в области науки и образования» [2]. В указе, в частности, говорится о необходимости «увеличения к 2015 году доли публикаций российских исследователей в общем количестве публикаций в мировых научных журналах, индексируемых в базе данных "Сеть науки" (Web of Science), до 2,44 %». Однако в зарубежных системах цитирования российская научная периодика представлена недостаточно, что, в первую очередь, связано с языком публикации (требуются английский или западноевропейские языки). Базы данных международного цитирования охватывают незначительное число неанглоязычных публикаций, поэтому анализ публикаций неанглоязычных авторов включает в основном их англоязычные статьи, которые составляют лишь небольшую долю от общего числа публикаций этих авторов.

Эксперты считают, что доля публикаций неанглоязычных авторов увеличится, если количество опубликованных статей в России достигнет 50 000 публикаций ежегодно [3].

Библиометрические показатели как оценочный критерий деятельности ученого

Библиометрические показатели — отражение публикационной активности авторов предприятия и в итоге — всеобщее обозрение публикаций с целью изучения, цитирования и, возможно, прикладного использования идей и опытов, которые содержат информационные потоки.

Библиометрия основана на количественном анализе библиографических данных публикаций, содержащихся в них.

Многие публикации поистине бесценны, если ученый добыл такое знание, которое до него не было записано в памяти науки. Но его индивидуальное личное достижение не имеет значения, если оно не получит социальную апробацию. Ученый мир должен согласиться с его притязаниями на то, что именно он добыл знание, достойное быть оцененным как научная истина. Научный мир оповещают об этом в форме ссылок на публикации этого ученого. В свою очередь, у исследователя нет иного способа определить новизну собственного вклада, как сопоставить его с вкладами коллег, включая в свой текст сведения других ученых, цитируя и прилагая библиографию [4].

Проект РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) Научной электронной библиотеки основной инструмент для расчета библиометрических показателей в России. Процессу регулирования публикационной активности должен предшествовать процесс регулирования пользовательской активности сотрудников предприятия (авторов научных статей) в проекте РИНЦ. Вышеупомянутые процессы взаимосвязаны. Как правило, авторы впервые обращаются в НЭБ из любопытства обнаружить свои публикации и выяснить свой индекс цитирования.

Практика регулирования пользовательской и публикационной активности авторов ОАО

«Российские космические системы»

«Российские космические заключило лицензионное соглашение с НЭБ, в рамках которого зарегистрировало организацию в проектах РИНЦ и Science Index. После регистрации стала доступна статистика по следующим показателям:

- количество зарегистрированных авторов;
- количество публикаций каждого автора;
- количество цитирований этих публикаций и индекс цитирования (в том числе по годам);
- анализ публикационной активности предприятия на данный момент;
- количество и библиографическое описание статей;
- количество и библиографическое описание статей по годам за последние 5 лет.

Структурные подразделения по научно-исследовательской работе в российских вузах с помощью электронных каталогов вузовских библиотек, проектов Научной электронной библиотеки и данных от авторов о публикациях давно ведут работу по сбору, систематизации и распространению научных идей ученых, как правило, по основным темам научно-исследовательских работ (НИР). Выявление основных тем НИР и оформление подписки на электронные ресурсы Научной электронной библиотеки на коллекции, соответствующие темам НИР, может увеличить пользовательскую активность.

Сложность данного вида деятельности на закрытых предприятиях заключается в том, что темы исследований в основном засекреченные. В связи с этим количество публикаций от предприятий военно-промышленного комплекса в открытых источниках невелико и данный факт искажает статистическую отчетность по научной работе, требуемую Минобрнауки $P\Phi$ от научно-исследовательских институтов.

Научно-техническая библиотека (НТБ), являясь структурным звеном Отдела научно-технической информации, оказывает конкретную помощь в повышении пользовательской активности авторов предприятия:

1. Аккумулирует статьи авторов предприятия из периодических изданий, сборников материалов

конференций, монографий и других трудов. Библиографическое описание этих работ заносится в электронный каталог с помощью Автоматизированной информационно-библиотечной системы (АБИС).

- 2. На основе библиографического описания электронного каталога НТБ организации и базы данных НЭБ составляются библиографические указатели авторов предприятия со вспомогательным именным указателем. Сотрудники библиотеки информируют авторов об их публикационной активности. Авторские библиографические указатели будут создаваться по мере увеличения количества авторов и количества библиографических описаний трудов. У авторов появится стимул представлять в НТБ копии своих трудов, которые не являются закрытыми и отсутствуют в библиографическом указателе. Таким образом, формируется специальное информационное пространство во внутренней сети организации, предназначенное для разработчиков, ученых, аспирантов и докторантов. Главная задача — оперативное предоставление актуальной специализированной информации сотрудникам по НИР и НИОКР. Информация размещается на данном электронном ресурсе только из открытых источников.
- 3. Консультирует авторов сотрудников предприятия по вопросам регистрации в проектах РИНЦ и Science Index, освоения авторами ряда сервисов по коррекции и поддержания списка своих публикаций и цитирований в актуальном состоянии, на основании которых проводятся наукометрические расчеты.

Заключение лицензионного соглашения с Научной электронной библиотекой позволило представителю организации в проекте Science Index формировать список сотрудников, добавлять публикации, в том числе монографии, материалы конференций, а также проводить анализ публикационного потока и цитируемости публикаций как на уровне всей организации в целом, так и на уровне отдельных сотрудников.

В российской практике отработаны пути повышения индивидуальных наукометрических показателей:

1. Публиковаться в соавторстве с коллегами, имеющими высокие наукометрические показатели.

- 2. В разумных пределах увеличить самоцитируемость (делать ссылки на свои статьи, опубликованные ранее с указанием издания).
- 3. Составлять качественные резюме (аннотации) к статьям на русском и английском языках с употреблением общепринятой в мировой практике терминологии.
- 4. Тщательно отбирать ключевые слова, используя для данного языка общепринятые термины.
- 5. Список ключевых слов не должен включать только узкоспециализированные термины. Если ключевое слово является малоизвестным, необходимо добавить чаще употребляемые слова, похожие по тематике.
- 6. Стремиться к публикациям в международных журналах, высоко котирующихся в международной научной среде и индексируемых крупнейшими мировыми реферативными базами, такими как Scopus и Web of Science.
- 7. Отечественные издания должны быть поддержаны экспертными советами ВАК Министерства образования и науки РФ. Журналы должны быть широко известными и доступными, входить в каталоги «Роспечать» или «Пресса России», иметь существенный тираж и рассылку по библиотекам страны.
- 8. Представлять научные статьи в журналы с высоким импакт-фактором. Импакт-фактор показатель информационной значимости научного журнала, соотношение количества ссылок на публикации данного журнала за два года, предшествующих году обследования, к количеству статей, опубликованных этим журналом за два года. Найти такие журналы можно самостоятельно в РИНЦ.
- 9. В обязательном порядке автор публикации должен зарегистрироваться в базе данных РИНЦ и получить индивидуальный SPIN-код, активно отслеживать, корректировать персональные данные, добавлять собственные работы, что позволит увеличить список опубликованных и процитированных работ.
- 10. Ознакомиться с регулярностью обновления архива номеров в РИНЦ того журнала, в котором автор планирует публиковаться. Если архив номеров не обновляется, то статья автоматически не попадет в РИНЦ. То есть лучше размещать

свои работы в том журнале, информация о котором регулярно поступает в систему. При этом нужно иметь в виду, что существует определенная временная задержка, связанная с тем, что опубликованные статьи далеко не сразу регистрируются в РИНЦ.

11. Если статья размещена в РИНЦ только в виде резюме, а полный текст отсутствует, интерфейс системы позволяет добавить интернет-ссылку на тот сайт, где эта статья размещена.

Периодические издания предприятия как фактор регулирования публикационной активности

В процессе публикационной активности задействованы три основных фактора, которые напрямую влияют на увеличение активности:

- научные исследования, которые порождают научные тексты;
- авторы научных текстов;
- издатели произведений научной периодики.

По данным Российской книжной палаты, в 2012 г. в России издавалось 4172 периодических издания на различных языках, в которых могут содержаться научные публикации.

В ведущие международные системы по научному цитированию входят 313 отечественных научных периодических изданий, представленных 85 издателями, в том числе:

- система Scopus 299 журналов, выпускаются 78 издателями;
- система Web of Science 165 журналов, выпускаются 30 издателями.

Возможности роста числа российских научных журналов в этих системах сильно ограничены.

Российские журналы не соответствуют критериям отбора изданий для включения в упомянутые базы данных по следующим причинам:

1. Низкий уровень качества содержания журналов. Например, далеко не все российские научные периодические издания проводят экспертизу и рецензирование присылаемых авторами рукописей. Во многих изданиях рецензирование декларируется, но фактически сводится к договоренностям между авторами и редакторами. Многие журнальные публикации не отражают оригинальные исследования или, наоборот, отражают, но — исследования невысокого уровня.

- 2. Невысокий уровень технологического развития журналов. Большинство российских издателей научной периодики не используют для работы автоматизированные системы управления журнальным контентом в противоположность многим зарубежным издателям, которые работают в таких системах (Scholar One и подобные программные пакеты). Соответственно журнал издается, как правило, на бумажном носителе, с постоянными срывами периодичности выпуска; электронная версия выходит только после печатного издания. Это является абсолютным нонсенсом для зарубежного издателя, у которого процесс строится на обратном: сначала электронный, потом бумажный вариант.
- 3. Отставание в технологическом развитии не дает многим российским издателям публиковать журнальные материалы в онлайн-формате; у большинства наших производителей журнальной продукции сайты журналов в лучшем случае представлены в качестве веб-визиток. Говорить об электронных публикациях не то что полных текстов, но и оглавлений выпусков журналов с метаданными и аннотациями в этом случае не приходится.
- 4. Большинство российских журналов не включены в процесс международной научной коммуникации, неизвестны и неавторитетны в мировом сообществе. Чтобы вывести журнал на международный уровень, в редколлегию издания следует включать ученых из стран не только СНГ и ближнего зарубежья, но и дальнего зарубежья. Кроме того, в российских журналах мало публикаций зарубежных авторов.
- 5. Остро стоит языковая проблема недостаточное число журналов публикует метаданные и аннотации к статьям на иностранных языках (желательно на английском языке), не говоря уже о публикации полных текстов.

Все эти факторы не позволяют включить в WoS и Scopus порядка 150 отечественных изданий. Именно такое количество позволило бы одно-

моментно решить проблему увеличения российской доли в WoS до 2,44%.

Таким образом, лучшие российские издания (до 800 наименований журналов при обязательном условии включения метаданных и аннотаций на английском языке) могут быть представлены в виде отдельной базы данных в той же программнотехнологической оболочке, что и WoS. Более того, через систему кросс-ссылок обе системы будут связаны.

Необходимо наращивать технологическую оснащенность отечественных производителей научной периодики, а самим издателям следует значительно поднять качественный уровень публикуемых материалов.

В системе Science Index НЭБ есть раздел «Издательство», предназначенный для издательств и редакций научных журналов и содержащий ряд дополнительных ресурсов, которые позволяют оптимизировать работу по подготовке и выпуску научных изданий на всех ее этапах — от оформления рукописи автором до ее рецензирования, перевода и публикации в электронном виде [4].

Размещение нового научного издания в РИНЦ НЭБ возможно как на основе безвозмездного договора, так и на платной основе (в этом случае должен быть договор о реализации журнала). Журнал должен выходить не менее года. По истечении этого срока заключается лицензионное соглашение и заполнение на сайте НЭБ «Карточки издательства».

Достаточно трудоемкий процесс размещения журналов в электронном виде в РИНЦ будет проходить по инструкции и в соответствии с заполнением определенных полей. Также необходимо предоставление персональных данных об авторах, в том числе должны быть отмечены годы работы автора в данной организации.

После двух лет размещения «молодых» журналов начинается расчет показателей, учитывающих тематическое направление исследований, состав и хронологическое распределение журналов в базе данных, самоцитирование и цитирование соавторами, возраст публикации, число соавторов, авторитетность ссылок, рассчитывается классический импакт-фактор и другие библиометрические показатели.

Вывод

На предприятиях оборонно-промышленного комплекса России есть ученые, исследователи и разработчики, сделавшие весомый вклад в развитие космонавтики, приборостроения и информационных систем и имеющие научные публикации. Нужно выстроить четкую и систематическую работу на каждом предприятии по регистрации этих уникальных авторов, привязке публикаций как к автору, так и к конкретной организации с помощью инструментов НЭБ. В ОАО «Российские космические системы» эта работа инициирована отделом научно-технической информации под руководством заместителя генерального директора по науке. Получены первые результаты, которые будут иметь тенденцию к росту в качественном и количественном отношениях. Участие в РИНЦ и проекте Science Index не только поднимет имидж организации, но и поможет сотрудникам в проведении собственных исследований, облегчит формирование статистической отчетности по научной работе в Министерство образования и науки РФ.

Список литературы

- 1. Зацман Г. Индексы научного цитирования. http://polit.ru/article/2012/10/26/quotation/. Дата обращения 22.12.2014.
- 2. Указ Президента РФ № 599 от 07.05.2012 г. «О мерах по реализации государственной политики в области образования и науки». СПС «Консультант+».
- 3. *Арефьев П.Г.* Публикационная активность: введение в проблему // Университетская книга. Информационно-аналитический журнал. www:http://unkniga.ru/vishu(2142-hiblikacionnaya-aktivnost). Дата обращения 17.12.2014.
- 4. *Квелидзе-Кузнецова Н. Н., Морозова С. А.* Библиометрические показатели как оценочный критерий деятельности преподавателя университета. http://lib.herzen.spb.ru. Дата обращения 14.12.2014.
- 5. Рейтинг российских вузов снижают профессоры по совместительству. http://www.brics.mid.ru/brics.nsf/WEBNovstart/C325786100462DFEC3257DA500202336. Дата обращения 14.11.2014.

<u> — исторические события в жизни ркс —</u>

УДК 520.6.05

О первых панорамах с поверхности Венеры

А. С. Селиванов

д. т. н., проф., OAO «Российские космические системы» e-mail: selivanov@spacecorp.ru

Аннотация. 40 лет назад спускаемые аппараты советских автоматических межпланетных станций «Венера-9» и «Венера-10» достигли поверхности Венеры и передали первые в мире черно-белые панорамы окружающей местности.

Работа телевизионной и радиоаппаратуры в экстремальных условиях была обеспечена благодаря использованию ряда оригинальных инженерных решений, разработанных в ОАО «Российские космические системы» и НПО им. С. А. Лавочкина

Ключевые слова: космические исследования Венеры, космическое телевидение, межпланетная радиосвязь

First Panoramic Images of the Surface of Venus

A. S. Selivanov

doctor of engineering science, professor, Joint Stock Company "Russian Space Systems" e-mail: selivanov@spacecorp.ru

Abstract. 40 years ago the landers of Soviet probes Venera-9 and Venera-10 reached the surface of Venus and sent the first black and white panoramic images of the surrounding area.

The operation of television and radio instruments in severe conditions was successful due to the implementation of a range of advanced engineering solutions developed at JSC "RSS" and NPO Lavochkin.

Key words: space exploration of Venus, space television, interplanetary radio communication

Венера — ближайшая к нам планета Солнечной системы и наиболее яркая среди других планет. По своим габаритно-массовым характеристикам (как сказали бы сухари — разработчики аппаратуры) Венера очень близка к Земле. Но на этом сходство кончается. Первое, давно известное, видимое с Земли отличие Венеры — ее «знатная» атмосфера, как отмечал еще М.В.Ломоносов.

Неизвестная структура и химический состав атмосферы давно «интриговал» ученых. Мощная атмосфера не позволяла наблюдать поверхность в оптическом диапазоне, а радиолокационное наблюдение планеты стало возможным значительно позже.

Планетологи связывают происхождение и эволюцию Земли и Венеры, справедливо считая, что многие природные процессы, идущие (или ранее происходившие) на Земле, могут быть познаны более глубоко при исследовании Венеры. Вот почему в программе исследования планет космическими средствами, начатой еще С. П. Королевым и продолженной Г.Н. Бабакиным, уделялось внимание и Венере и Марсу.

В 1961 г. станция «Венера-1» произвела первый и рекогносцированный полет в сторону Венеры. Отрабатывались конструкция межпланетной станции и средства дальней космической связи, которые создавались в ОАО РКС, причем прием сигналов осуществлялся с помощью больших антенн, расположенных в Крыму.

Дальнейшая программа работ предусматривала попадание станции непосредственно в Венеру и передачу в реальном времени данных о ее атмосфере, полученных контактным способом. Такую схему исследований реализовать сразу не удалось, потому что аппараты разрушались по мере спуска в атмосфере Венеры, не достигая поверхности. Причина заключалась в наших неверных представлениях об атмосфере, которая, как оказалось впоследствии, значительно толще, чем предполагалось, давление на поверхности составляло около 90 атм. К этому обстоятельству следует добавить очень высокую температуру вблизи поверхности — около 450 °C, что также было трудно предположить заранее.

Станции «Венера-2 – -6» углублялись в атмосферу, передавая ограниченную по объему

телеметрическую информацию. Исследования были продолжены на станциях «Венера-7, -8», они достигли поверхности Венеры в 1970 г. и 1972 г. Было установлено, что верхний облачный слой атмосферы Венеры состоит из капелек серной кислоты, а начиная с высоты 40 км атмосфера, содержащая в основном углекислый газ, довольно прозрачна, но солнечный свет сильно рассеян, хотя величина освещенности в подсолнечной точке может достигать от сотен до нескольких тысяч люкс, то есть соответствовать земному освещению в пасмурный день.

Идея получить в таких условиях панорамное изображение поверхности Венеры принадлежит президенту АН СССР М.В. Келдышу, руководителю космических исследований. Он был уверен, что это вполне возможно, и обсуждал с М.С. Рязанским (я участвовал в этом обсуждении) текст публикации сообщения о планировании такого эксперимента.

Но разработчики телевизионных камер были совсем не уверены в положительном исходе работы, даже если аппаратура будет работать безукоризненно. Дело в том, что оптические условия в самом нижнем поверхностном слое атмосферы оставались все же неизвестными. Это могла быть сильно замутненная светопоглощающая среда, сама поверхность могла быть совершенно гладкой, как на дне земных водоемов. Если к этому добавить тяжелейшие климатические условия — эксперимент представляется очень рискованным. Ведь что от нас ожидали и ученые, и любознательные налогоплательщики — наличия в изображениях какихлибо интересных контрастных деталей, характеризующих структуру поверхности, а увидеть вместо этого ровное серое поле действительно было бы большим разочарованием.

Чтобы застраховаться от такого варианта, мы предложили установить на станции небольшие светильники и приняли ряд мер. Тем не менее нам удалось отстоять новое нейтральное название панорамной телевизионной камеры — «контрастомер», которое и попало в прессу.

Принципиально важно отметить, что именно нашему институту было доверено проведение такого эксперимента, для чего были веские основания — ряд успешных работ в области космических



Рис. 1. Панорама поверхности Венеры, полученная со станции «Венера-9»



Рис. 2. Панорама поверхности Венеры, полученная со станции «Венера-10»

телевизионных систем, выполненных ранее, и, прежде всего, получение первой панорамы поверхности Луны.

Для того чтобы обеспечить передачу первых венерианских панорам, нужно было выполнить еще ряд условий: посадочная станция должна была иметь новую, более прочную конструкцию и улучшенную теплоизоляцию, позволяющую работать на поверхности Венеры хотя бы несколько десятков минут. Посадка на освещенную сторону Венеры по баллистическим причинам исключала возможность прямой радиосвязи с Землей, и, кроме этого, для обеспечения передачи телевизионной информации требовался более скоростной канал связи.

Указанные обстоятельства привели к принятию пионерского для того времени инженерного решения: созданию первых искусственных спутников Венеры, используемых в качестве ретрансляторов сигналов, поступающих с поверхности.

Забегая на несколько месяцев вперед, с удовлетворением отметим, что полет стартовавших в июне 1975 г. станций «Венера-9» и «Венера-10» завершился триумфальным финалом. Все задачи миссии были не только выполнены, но и перевыполнены.

Станции доставили в разные районы поверхности планеты два спускаемых аппарата 22 и 25 октября 1975 г. и одновременно впервые в мире были выведены на орбиту вокруг Венеры два спутникаретранслятора.

Спускаемая аппаратура проработала на поверхности Венеры около 50 мин. Приятной неожиданностью стала передача двух панорамных изображений поверхности весьма удовлетворительного качества (рис. 1, 2).

Наши опасения относительно возможности получения снимков в столь тяжелых и необычных условиях, к счастью, не оправдались. Панорамные телевизионные камеры, первоначально скромно названные «контрастомерами», выполнили свою функцию и подготовили основу для получения уже не черно-белых, а цветных панорам на станциях «Венера-13» и «Венера-14» в 1982 г.

Прошло 40 лет, а ничего, подобного выполненному в 1975 г. эксперименту, никому, кроме работников отечественной космонавтики, сделать не удалось.

Успех столь сложного «межпланетного» эксперимента во многом был следствием комплексного

подхода к решению подобных задач, традиционно реализуемых в ОАО «РКС».

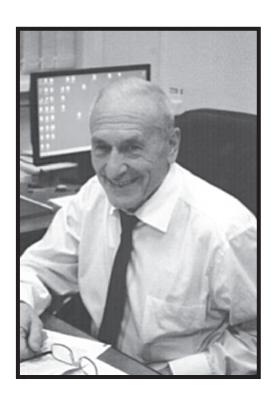
Радиотехническое и телевизионное обеспечение передачи информации с поверхности другой планеты на расстояние в десятки миллионов километров с помощью бортовых и наземных комплексов было выполнено системно в одной организации, что позволило эффективно оптимизировать каналы передачи информации и управления космическим аппаратом и его приборами.

В многолетней программе исследования Венеры, успешно выполненной головной организацией — НПО им. С. А. Лавочкина, — принимали участие практически все основные подразделения ОАО «РКС». Но мне, как руководителю телевизионных экспериментов, хотелось бы упомянуть

разработчиков и конструкторов панорамных камер — источников основной целевой информации, передаваемой с посадочных аппаратов, работавших в чрезвычайно тяжелых и необычных условиях. Это замечательные инженеры — электронщики, оптики и конструкторы: к.т.н. М. К. Нараева, к.т.н. А. С. Панфилов, к.т.н. Ю. М. Гектин, А. С. Титов, В. П. Чемоданов, А. Г. Шабанов.

Список литературы

- 1. Первые панорамы поверхности Венеры. Под ред. академика М. В. Келдыша. М.: Наука, 1975. 131 с.
- 2. *Селиванов А. С.* Очерки истории и техники космического телевидения. Воспоминания разработчика. Медиа Паблишер, 2010. 192 с.



Памяти К. В. ЧЕРЕВКОВА

А. И. Жодзишский

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

In Memory of K. V. Cherevkov

A. I. Zhodzishskiy

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

В 2014 г. ОАО «Российские космические системы» понесло невосполнимую утрату: трагически погиб один из выдающихся людей нашего предприятия — доктор технических наук, академик Академии космонавтики им. К. Э. Циолковского, профессор, заместитель главного редактора нашего журнала Константин Владимирович ЧЕРЕВКОВ.

Константин Владимирович — один из старейших сотрудников нашего предприятия, ветеран

космонавтики, талантливый ученый. Учитель с большой буквы.

К. В. Черевков родился 17 июня 1933 г. в г. Москве, в 1957 г. окончил МВТУ им. Н. Э. Баумана по специальности «машиностроение». Трудовая деятельность Константина Владимировича в нашей организации началась 1 февраля 1964 г. и продолжалась до его трагической гибели 30 августа 2014 г.

Первые работы в институте Константин Владимирович выполнял в должности инженера-исследователя 1 категории под руководством талантливого ученого, д. т. н., профессора Е. Я. Богуславского. Вскоре К. В. Черевков стал начальником сектора, а затем начальником отдела. Возглавляемый им коллектив занимался созданием радиосистем для обеспечения полетов космических аппаратов (КА) на Луну, в том числе с человеком на борту, по программам Л-1 и Л-3, а также радиосистем для обеспечения полетов автоматических межпланетных станций (МС) к Венере и Марсу. Особенностью этих КА и МС было то, что изза ограниченности масс, габаритов и энергопотребления на них нежелательно было устанавливать несколько независимых радиосистем, обеспечивающих различные функции по их управлению: измерение дальности и скорости, передача на них и прием от них различной информации (телеметрической, командной, телефонной и телевизионной). Необходимо было создать единую, многофункциональную радиосистему. При этом возникала сугубо радиотехническая проблема — выбор эффективного метода совмещения передачи разнородной информации в одном радиоканале.

Из-за существенно различающихся скоростей передачи разных видов информации, а также различных требований по достоверности, оперативности и надежности их передачи при совмещении в одном радиоканале возникал ряд технических и технологических проблем. Эти проблемы были успешно решены: были разработаны эффективные методы совмещения разных видов информации в одном радиоканале. Найденные технические решения также применялись при создании систем радиоуправления лунными автоматическими

станциями для возврата грунта с Луны, доставки на поверхность Луны луноходов и управления ими. Дальнейшее развитие методов совмещения информации в многофункциональных космических радиолиниях было реализовано в радиокомплексах для пилотируемых программ «Салют», «Мир», «Буран» и МКС.

Исследованию методов совмещения информации в многофункциональных космических радиолиниях была посвящена кандидатская диссертация К.В. Черевкова, успешно защищенная в 1969 г.

В начале 70-х гг. прошлого века особо актуальными были задачи освоения новых технологий проектирования и изготовления радиоаппаратуры, внедрения САПР и автоматизированных систем управления предприятием. С 1972 по 1980 гг. К. В. Черевков принимал самое активное участие в решении указанных задач. Он — основной инициатор внедрения в нашей организации системы автоматизированного контроля исполнения документов (АКИД). Недаром придуманные им отчетные формы все называли «черевками».

В 1982 г. К. В. Черевков становится начальником проектно-теоретического отделения, координирующего основные научные разработки института. Он активизирует разработки прогрессивных методов управления КА ближнего космоса: глобальное однопунктное управление через спутникиретрансляторы и автономное управление на основе определения орбиты КА на борту по сигналам навигационной системы ГЛОНАСС.

В 1984 г. президент США Р. Рейган объявил о реализации стратегической оборонной инициативы (СОИ), направленной на завоевание Соединенными Штатами господства в космосе. Советский Союз был вынужден искать адекватный ответ начать программу «антиСОИ». Руководителем работ по «антиСОИ» в нашей организации был назначен К. В. Черевков. Он становится первым заместителем генерального директора Л.И.Гусева по системному проектированию — начальником проектно-теоретического отделения. Именно в этот период наиболее ярко проявился научный талант и организаторские способности Константина Владимировича. В 1986 г. он становится лауреатом Государственной премии СССР, а в 1988 успешно защищает докторскую диссертацию по вопросам оптимального синтеза структур крупномасштабных космических систем.

В условиях наступившей в конце 80-х-начале 90-х гг. прошлого века разрядки в международных отношениях актуальным для нашей организации стало создание космических систем и комплексов гражданского назначения. С этого времени стало быстро налаживаться международное сотрудничество в области использования космоса. К. В. Черевков активно включается в эти процессы. Под его непосредственным руководством в кооперации с НПО им. С. А. Лавочкина разрабатывается проект высокоскоростной спутниковой системы передачи данных Ки-диапазона «Зеркало» с коммутацией на борту узконаправленных лучей. К.В. Черевков неоднократно выезжает в Сирию и другие государства для обсуждения совместных программ в области мирного использования космических систем.

С 2005 г. К.В. Черевков работает в должности главного научного сотрудника в НТЦ системного мониторинга и оперативного управления. Как всегда, он проявляет творческую инициативу, находит нетривиальные решения актуальных задач. К.В. Черевков становится ведущим исполнителем по ряду НИОКР в области мониторинга и прогнозирования состояния технически сложных объектов наземной космической инфраструктуры.

В инициативном порядке в 2014 г. К.В. Черевков разработал и представил руководству организации конкретную программу (ТЗ и технико-экономическое обоснование) повышения качества изделий, выпускаемых заводом ракетно-космического приборостроения — структурного подразделения ОАО «Российские космические системы». Неожиданная смерть Константина Владимировича задержала ее реализацию.

Константин Владимирович был романтиком и в работе и в жизни. Принципиальный, смелый, умеющий отстаивать свое мнение, мужественно, без жалоб переносивший удары судьбы. Он был не только ученым и руководителем, но и разносторонним человеком, верным товарищем.

Более полный образ этого незаурядного человека создают воспоминания хорошо знавших его людей.

Из воспоминаний В. А. Архангельского, много лет работавшего под руководством К. В. Черевкова

Для реализации значительного проекта всегда требуются большие усилия большого коллектива разработчиков, конструкторов, технологов, производственников и испытателей, и обычно при этом необходимо постоянное участие проектантов практически на всех этапах осуществления проекта. Однако иногда достаточно относительно малого по времени и трудозатратам участия проектантов, чтобы существенно повлиять на реализацию проекта. Правда, в таких случаях от проектантов требуются безусловное знание сути вопроса и немалая настойчивость для доведения этой сути до лиц, принимающих решения, или, по крайней мере, до людей, пользующихся доверием у последних.

Приведу пример такого случая, в котором непосредственное участие принимали Костя и я. Речь идет о создании в СССР уникальной, самой большой по тем временам антенны для связи с дальними космическими аппаратами и проведения радиоастрономических исследований — антенны П-2500 с диаметром зеркала 70 м.

Проект такой антенны был разработан в институте совместно с большой кооперацией других институтов, КБ и заводов, но финансирования его не было. В то же самое время институт участвовал в другом проекте создания большой антенны для радиоастрономии и космических исследований, который назывался «Заповедник». Оригинальная конструкция позволяла создать антенну с площадью 10 тыс. м², что в 2,5 раза больше площади антенны П-2500. По проекту «Заповедник» было Постановление Правительства и, следовательно, финансирование.

Казалось бы, надо делать «Заповедник»: и площадь антенны больше, и решение о создании и финансировании есть. Однако у «Заповедника» был один, но очень существенный недостаток: из-за особенностей его конструкции шумовая температура антенны была весьма большой, до $150~\rm K$. В то же время шумовую температуру антенны Π -2500 можно было сделать существенно меньше — 20– $25~\rm K$ вместе с шумовой температурой приемников — мазерных усилителей. Для радиолиний

космической связи важнейший параметр — отношение площади антенны к шумовой температуре, именно этот параметр определяет эффективность радиолинии КА-Земля. Узнав про этот недостаток «Заповедника», я сильно обеспокоился — в то время я был заместителем начальника отделения, занимавшегося разработкой наземных комплексов для радиообеспечения полетов пилотируемых космических кораблей, лунных и дальних космических аппаратов, и тратить наши силы на работы по созданию очень сложной и дорогой, но малоэффективной антенны не хотелось. Своим беспокойством я делился с товарищами по работе, многие меня понимали, но считали, что решение принято и изменить уже ничего нельзя. О своих тревогах я рассказал Черевкову. Костя меня сразу понял, поскольку сам думал об этой проблеме, и ему тоже очень не нравилось, что институт будет делать ненужную работу. Мы, «подзаводя» друг друга, пришли к решению, что надо все-таки попробовать «поломать» эту неправильную ситуацию. Договорились сходить вместе к М.С. Рязанскому, чтобы «просветить» и уговорить его попытаться как-то изменить принятые решения.

М. С. Рязанский нас выслушал, ничего не обещал, но, по-видимому, задумался. Я по этому вопросу к Рязанскому больше не ходил, а Костя, насколько мне известно, говорил с ним об этом еще несколько раз. В результате этих разговоров и сложных переговоров М. С. Рязанского с Академией наук, Министерством и ВПК было принято решение — нам разработать эскизный проект «Создание Восточного и модернизация Западного центров дальней космической связи (космоцентров)». Этот проект на базе антенн П-2500 был нами в 1969 г. разработан и успешно защищен. На этой основе было принято новое Постановление ЦК КПСС и СМ СССР, а реализация проекта «Заповедник» была отменена.

Из воспоминаний заведующего кафедрой МАИ, к. т. н. Р. Б. Мазепы

Константин Владимирович боец, он всегда был в бою. С боем трансформировал себя из «железячника» — механика — в радиоэлектронщика высшего уровня — системщика. Довоевался в этой

сфере до заместителя генерального директора ведущего приборостроительного предприятия отрасли, доктора технических наук, академика Академии космонавтики. Но главное не это, главное порядочность, отзывчивость и потрясающее человеческое обаяние. Он был желанным в любом сообществе. Глубоко, не жалея времени и сил, вникающий в любую более или менее знакомую или даже совсем не знакомую проблему. Принципиально высказывающий свою позицию, отстаивающий ее, при этом уважительно и внимательно выслушивающий оппонента. Дело, работа, казалось бы, были его первой любовью, которой он был беззаветно предан и к которой относился с глубокой ответственностью и самоотверженностью.

Вместе с тем Костя был (ручка отказывается писать это слово) друг, умел дружить, понимая, что дружба — это ответственность и преданность. Если нужно, он мог по зову друга подняться в любой час дня и ночи, поддержать, помочь, выручить. Он с боями отстаивал каждый вопрос, каждое дело, по которому за поддержкой к нему обращались друзья. Мы с ним познакомились в начале 70-х гг. прошлого века во время дискуссий в области модной тогда сферы автоматизации проектирования, пытаясь что-то сообразить, выстроить по решению задачи автоматизации системного этапа проектирования радиоэлектронных систем, очень нетривиальной и по нынешним временам. С тех пор мы шли по общей тропе. Вместе ездили на десятки научно-технических конференций, во многих из которых были в организационных комитетах.

Из воспоминаний А. Це

Я рада, что мне довелось познакомиться и работать под руководством замечательного и уникального человека К.В. Черевкова. Нет таких слов, которые бы смогли передать талант и многогранность его личности.

Как руководитель он выделялся среди других потрясающей работоспособностью, умением быстро принимать решения и видеть проблему с разных сторон. Не боялся брать на себя ответственность и решать трудные моменты в работе. Он уважительно относился к каждому человеку и всегда

готов был помочь, если кто-либо обращался к нему за помощью.

Константин Владимирович отличался порядочностью, он был человеком с огромной харизмой, куражом в глазах и потрясающей доброй, открытой улыбкой.

Меня поразило, сколько в нем было жизненной энергии: несмотря на огромную загруженность в работе, он находил время для активной жизни за стенами института. Вел спортивный образ жизни: занимался спуском на байдарках, горнолыжным спортом, активно встречался с друзьями... И самое главное, он всегда заражал других своим жизнелюбием.

Константин Владимирович был очень творческим человеком, он поразил меня знаниями в разных областях... С ним всегда было очень интересно. Помню, когда только пришла к нему работать, мы все вместе садились обедать за один стол и к нам часто приходили его друзья из разных подразделений. И тогда Константин Владимирович превращал простой обед в творческий вечер, он читал наизусть стихи самых разных авторов. Читал так, что теряешь счет времени и хочется слушать дальше и дальше... Но обед заканчивался — и мы возвращались в реальный мир. Я как-то спросила Константина Владимирович: «Как Вы запоминаете такое огромное количество стихов, рассказов?», на что он улыбнулся и сказал: «Мне иногда достаточно прочитать один раз стихотворение, и я буду помнить его всю жизнь». Я спросила, а пишет ли он сам стихи, он ответил, что да, но никогда их не читает. А жалко! Очень хотелось бы их услышать, ведь стихи — это душа человека, а Константин Владимирович был очень необыкновенным, талантливым человеком с тонкой душевной структурой.

Из воспоминаний Г. Поляковой

В 90-е г. прошлого века я пришла на работу в РНИИ КП в отделение, которым руководил Константин Владимирович Черевков. У женщин всегда создается свое собственное впечатление от руководителя. И мое первое впечатление было самое положительное: стройный, подтянутый, открытый, с чувством юмора и задором в глазах. А когда

я узнала, что он еще и любитель поэзии, мое уважение к нему только удвоилось.

Однажды мне удалось присутствовать на одном из таких творческих вечеров. Оказалось, что он цитирует по памяти множество стихов различных поэтов. И не просто цитирует, а с большим артистизмом «проживает» сюжет каждого стиха. При этом глаза его излучают то лукавый задор, то грусть и печаль, а рука то сжимается в кулак, то рассекает воздух. Каждое его стихотворение — это миниспектакль, который тебя приковывает, за-

вораживает. А заключительные строфы сопровождаются искренними восторженными аплодисментами зрителей.

Эта такая редкость, когда в руководителе живет еще поэт и артист. И, может быть, как раз такое сочетание возвышает и окрыляет личность, дает силы и молодость.

Я ловлю себя на мысли, что рассказываю о Константине Владимировиче в настоящем времени. Но просто невозможно говорить о нем в прошедшем.

Требования к материалам для публикации в научно-техническом журнале «Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы»

- 1. Представляемые рукописи должны соответствовать тематике журнала, отвечать критериям ВАК РФ по научной новизне и апробации представленных результатов натурными испытаниями, не публиковавшиеся ранее в других печатных или электронных изданиях.
- 2. При написании научной статьи необходимо придерживаться следующей структуры изложения: Заглавие, Аннотация, Ключевые слова, Основной текст статьи, Литература. Раздел «Основной текст статьи» рекомендуется подразделять на: Вводную часть, Данные о методике исследования, Экспериментальную часть, Выводы.
- 3. Изложение материала должно быть ясным, логически выстроенным в следующей последовательности:
- индекс УДК (слева);
- инициалы и фамилии авторов, ученое звание и ученая степень каждого из авторов, должность, место работы (полное название организации, страна, город, е-mail, название статьи, краткая аннотация (5–7 строк), ключевые слова (5–6 слов) на русском и английском языках;
- основной текст;
- список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008.
- 4. Рукопись предоставляется в двух экземплярах, напечатанной на принтере на одной стороне стандартного листа бумаги формата A4.
- 5. Набор текста в редакторе MS Word (расширение только .doc) при использовании стандартных шрифтов Times New Roman, размер 14, интервал 1,5. Поля со всех сторон 20 мм.
- 6. Для набора формул следует применять встроенный редактор формул Microsoft Equation 3.0. Формулы набираются латинским алфавитом, размер шрифтаї11. Нумеруются только те формулы, на которые есть ссылки в тексте.
- 7. Все используемые буквенные обозначения и аббревиатуры должны быть расшифрованы. Размерность величин должна соответствовать системе СИ.
- 8. Элементы списка литературы должны содержать фамилии и инициалы авторов, полное название работы. Для книг указывается место издания, издательство, год издания, количество страниц. Для статей название журнала, год выпуска, том, номер, номера первой и последней страниц.
- 9. Рисунки и графики оформляются в цветном изображении, должны быть четкими и не требовать перерисовки. Шрифт текста в иллюстративном материале Arial Reg, со строчных букв (кроме названий и имен).
- 10. Таблицы должны быть пронумерованы, иметь краткое наименование, межстрочный интервал в наименовании таблицы одинарный, выравнивание по ширине страницы. Текст в таблице печатается со строчных букв, без полужирного начертания.
- 11. К статье должны прилагаться электронные файлы:
- сформированной статьи;
- рисунков, графиков (выполняются в форматах jpeg или tiff с разрешением не менее 300 dpi и размером не более формата A4);
- фотографий авторов (размер фотографий на менее 10×15);
- сведений об авторах (Ф.И.О. полностью, фотография, ученое звание, ученая степень, аспирант или соискатель ученой степени, домашний, мобильный и рабочий телефоны, адрес электронной почты, почтовый адрес для пересылки авторского экземпляра).

- 12. На последней странице рукописи должны быть подписи всех авторов. Редакция не ставит в известность авторов об изменениях и сокращениях рукописи, имеющих редакционный характер и не затрагивающих принципиальных вопросов.
- 13. Рукописи, в которых не соблюдены данные требования, не рассматриваются для публикации.
- 14. Авторы статей несут ответственность за полноту и достоверность цитируемой в них литературы, а также за публикацию заимствованного материала без ссылки на источник.
- 15. За достоверность сведений, изложенных в публикациях, редакция и издатель ответственности не несут.
- 16. К статье прилагается заключение о возможности опубликования в открытой печати.
- 17. За публикацию материалов, содержащих закрытые сведения, авторы несут персональную ответственность на основании действующих законодательных актов.
- 18. Итоговое решение об одобрении или отклонении представленного в редакцию материала принимается редакционной коллегией и является окончательным.

Уважаемые коллеги!

Со 2 по 4 июня 2015 г. ОАО «Российские космические системы» проводит VII Всероссийскую научно-техническую конференцию «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий».

Тематические направления конференции

- Секция 1. Навигационные космические системы и технологии.
- **Секция 2.** Системы и технологии дистанционного зондирования Земли и спутникового мониторинга.
- Секция 3. Наземные комплексы управления и системы.
- Секция 4. Бортовые радиотехнические системы.
- **Секция 5.** Космические системы связи и ретрансляции. Информационные технологии и системы.
- Секция 6. Системы для космических исследований, новые технологии в космосе.
- Секция 7. Разработка, технологии производства и тестирование ЭКБ.

Представление материалов на конференцию

- До **15 марта 2015 г.** заявка на участие, тезисы доклада.
- До 12 апреля 2015 г. текст доклада и экспертное заключение о возможности его опубликования в открытой печати.

Заявку на участие, тезисы и текст доклада (в текстовом редакторе MS Word), экспертное заключение (сканированная копия) необходимо выслать на адрес электронной почты rks-304@mail.ru.

Участники конференции могут представить доклады на пленарном и секционных заседаниях. Возможно представление стендовых докладов.

По рекомендации секций лучшие доклады будут опубликованы в сборнике трудов конференции или в журнале «Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы».

Место проведения конференции

ОАО «Российские космические системы», г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 53.

Контактная информация

E-mail: *rks-304@mail.ru*. Тел.: 8(495)673-96-29.

Дополнительная информация о конференции доступна на сайте OAO «Российские космические системы», http://www.spacecorp.ru