

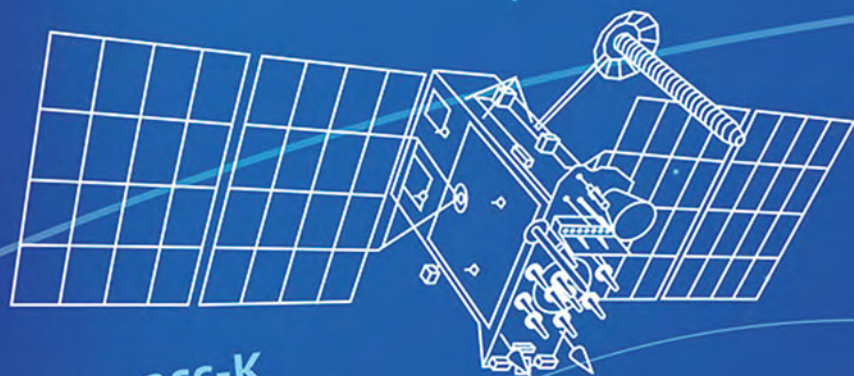
ИССЛЕДОВАНИЯ НАУКО ГРАДА

Издается с января 2012 года
Научный журнал

ISSN 2225-9449

Том 1
№ 1 (19)

январь — март 2017
Выходит один раз в три месяца



Глонасс-К
Производитель: АО «ИСС»



Технологическая платформа

НИСС

Национальная информационная
спутниковая система



Деятельность технологической платформы «Национальная информационная спутниковая система» направлена на скоординированное решение комплекса образовательных, научных, технических, технологических и экономических проблем создания и использования перспективных космических систем и комплексов.

Стратегической целью технологической платформы «Национальная информационная спутниковая система» является разработка совокупности «прорывных» технологий для:

- радикального повышения показателей пользовательских свойств космических аппаратов новых поколений и доступности персональных пакетных космических услуг;
- значительного расширения присутствия на мировых рынках высокотехнологичной продукции и услуг в космической, телекоммуникационной и в других некосмических отраслях экономики.

Журнал является официальным научным изданием технологической платформы «Национальная информационная спутниковая система».

Сайт ТП «НИСС»: tp.iss-reshetnev.ru

ISSN 2225-9449

ИССЛЕДОВАНИЯ НАУКО ГРАДА

Издается с января 2012 года
Научный журнал

Том 1

№ 1 (19)

январь – март 2017

Выходит один раз в три месяца

Красноярский край
Железногорск
2017

Исследования наукограда

Научный журнал

Издается с января 2012 года

ISSN 2225-9449

Издатель

Ассоциация «Технологическая платформа

«Национальная информационная спутниковая система»

Журнал «Исследования наукограда» – рецензируемый научный журнал технологической платформы «Национальная информационная спутниковая система».

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (свидетельство ПИ № ФС 77 - 61605 от 07.05.2015 г.)

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ за 2015 г. – 0,141 (без самоцитирования – 0,115)

«Исследования наукограда» публикуют оригинальные работы, обзорные статьи, очерки и обсуждения, охватывающие последние достижения в области космонавтики.

Тематические направления журнала:

- ракетно-космическая техника;
- новые материалы и технологии в космической технике;
- космическое приборостроение;
- космические услуги;
- инновации и экономика космической отрасли.

К публикации принимаются статьи, ранее нигде не опубликованные и не представленные к печати в других изданиях. Статьи, отбираемые для публикации в журнале, проходят закрытое (слепое) рецензирование.

Все материалы размещаются в журнале на бесплатной основе.

Полнотекстовый доступ к электронной версии журнала возможен на сайтах www.elibrary.ru, scholar.google.com, www.cyberleninka.ru

Учредитель

Общество с ограниченной ответственностью «Умный город»

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 - 61605 от 07.05.2015

Адрес редакции: 662971, г. Железногорск, ул. Кирова, 12а
E-mail: isercit@gmail.com; <http://www.journal-niss.ru>

Адрес издателя:
662972, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Ленина 52

Допечатная подготовка:

ООО «Центр информации»

660079, г. Красноярск, ул. Свердловская, 23, к. 32

lev_zhivilo@mail.ru

Разработка макета Л. М. Живило

Редактор Н. Ф. Ткачук

Компьютерная верстка: Л. М. Живило, И. В. Манченкова

Тираж 200 экз. Заказ 1785

Распространяется бесплатно

Отпечатано Библиотечно-издательским комплексом

Сибирского федерального университета

660041, Красноярск, пр. Свободный, 82а

Тел. (391) 206-26-67; <http://bik.sfu-kras.ru>

E-mail: publishing_house@sfu-kras.ru

Главный редактор
Тестоедов Николай Алексеевич
чл.-кор. РАН, д-р техн. наук, председатель редакционного совета
(Железногорск)

Заместитель главного редактора
Халиманович Владимир Иванович
канд. физ.-мат. наук, профессор (Железногорск)

Ответственный секретарь
Хныкин Антон Владимирович
канд. техн. наук (Железногорск)

Редакционная коллегия
Гарин Евгений Николаевич
д-р техн. наук, профессор (Красноярск)

Головёнкин Евгений Николаевич
д-р техн. наук, профессор (Железногорск)

Двирный Валерий Васильевич
д-р техн. наук, профессор (Железногорск)

Ковель Анатолий Архипович
д-р техн. наук, профессор (Железногорск)

Косенко Виктор Евгеньевич
д-р техн. наук, профессор (Железногорск)

Лопатин Александр Витальевич
д-р техн. наук (Красноярск)

Охоткин Кирилл Германович
д-р физ.-мат. наук, доцент (Железногорск)

Пономарев Сергей Васильевич
д-р физ.-мат. наук (Томск)

Цибульский Геннадий Михайлович
д-р техн. наук, профессор (Красноярск)

Чеботарёв Виктор Евдокимович
д-р техн. наук, профессор (Железногорск)

Матвеев Станислав Алексеевич
канд. техн. наук (Санкт-Петербург)

Непомнящий Олег Владимирович
канд. техн. наук, доцент (Красноярск)

Смотров Андрей Васильевич
канд. техн. наук (Жуковский)

Сухотин Виталий Владимирович
канд. техн. наук, доцент (Красноярск)

Хартов Станислав Викторович
канд. техн. наук (Красноярск)

Глез Мари-Пьер
профессор (Тулуза, Франция)

Фернандес Кабальеро Антонио
профессор (Альбасете, Испания)

Нинкович Деян
д-р техн. наук (Белград, Сербия)

Редакционный совет
Аннин Борис Дмитриевич
академик РАН, д-р физ.-мат. наук (Новосибирск)

Шабанов Василий Филиппович
академик РАН, д-р физ.-мат. наук (Красноярск)

Попов Гарри Алексеевич
академик РАН, д-р техн. наук (Москва)

Васильев Валерий Витальевич
чл.-кор. РАН, д-р техн. наук (Хотьково)

Махутов Николай Андреевич
чл.-кор. РАН, д-р техн. наук (Москва)

Псахье Сергей Григорьевич
чл.-кор. РАН, д-р физ.-мат. наук (Томск)

Шайдуров Владимир Викторович
чл.-кор. РАН, д-р физ.-мат. наук (Красноярск)

Чернявский Александр Григорьевич
(Королёв)

Медведский Александр Леонидович
д-р физ.-мат. наук (Жуковский)

Ковалев Игорь Владимирович
д-р техн. наук, профессор (Красноярск)

Овчинников Сергей Геннадьевич
д-р физ.-мат. наук, профессор (Красноярск)

Пчеляков Олег Петрович
д-р физ.-мат. наук, профессор (Новосибирск)

Хартов Виктор Владимирович
д-р техн. наук, профессор (Королёв)

ISSN 2225-9449

THE RESEARCH OF THE **SCIENCE** CITY

Published since 2012
Scientific quarterly journal

Volume 1
№ 1 (19)
January – March 2017

Zheleznogorsk
Krasnoyarsk region
2017

The Research of the Science City

Scientific quarterly journal

Published since 2012

Chief Editor

Testoyedov N. A.

Corresponding Member of RAS, Doctor of Engineering, Chairman of Editorial Board

Deputy Chief Editor

Khalimanovich V. I.

PhD in Physics and Mathematics, Professor

Executive Secretary

Khnykin A. V.

PhD in Engineering

ISSN 2225-9449

Editorial Staff

Garin E. N.

Doctor of Engineering, Professor (Russia)

Golovenkin E. N.

Doctor of Engineering, Professor (Russia)

Dvirny V. V.

Doctor of Engineering, Professor (Russia)

Kovel A. A.

Doctor of Engineering, Professor (Russia)

Kosenko V. E.

Doctor of Engineering, Professor (Russia)

Lopatin A. V.

Doctor of Engineering (Russia)

Okhotkin K. G.

Doctor of Physics and Mathematics, Associate Professor (Russia)

Ponomarev S. V.

Doctor of Physics and Mathematics (Russia)

Tsybulsky G. M.

Doctor of Engineering, Professor (Russia)

Chebotarev V. E.

Doctor of Engineering, Professor (Russia)

Matveev S. A.

PhD in Engineering (Russia)

Nepomnyashy O. V.

PhD in Engineering, Associate Professor (Russia)

Smotrov A. V.

PhD in Engineering (Russia)

Sukhotin V. V.

PhD in Engineering, Associate Professor (Russia)

Khartov S. V.

PhD in Engineering (Russia)

Gleizes Marie-Pierre

Professor (France)

Fernández-Caballero Antonio

Professor (Spain)

Ninković Dejan

Doctor of Engineering (Serbia)

Editorial Board

Annin B. D.

Academician of RAS, Doctor of Physics and Mathematics (Russia)

Shabanov V. Ph.

Academician of RAS, Doctor of Physics and Mathematics (Russia)

Popov G. A.

Academician of RAS, Doctor of Engineering (Russia)

Vasiliev V. V.

Corresponding Member of RAS, Doctor of Engineering (Russia)

Makhutov N. A.

Corresponding Member of RAS, Doctor of Engineering (Russia)

Psakhie S. G.

Corresponding Member of RAS, Doctor of Physics and Mathematics (Russia)

Shaidurov V. V.

Corresponding Member of RAS, Doctor of Physics and Mathematics (Russia)

Cherniavsky A. G.

(Russia)

Medvedtskiy A. L.

Doctor of Physics and Mathematics (Russia)

Kovalev I. V.

Doctor of Engineering, Professor (Russia)

Ovchinnikov S. G.

Doctor of Physics and Mathematics, Professor (Russia)

Pchelyakov O. P.

Doctor of Physics and Mathematics, Professor (Russia)

Khartov V. V.

Doctor of Engineering, Professor (Russia)

Publisher

Association «Technology Platform

«National Information Satellite System»

«The Research of the Science City» is peer-reviewed scientific journal of Technology Platform «National Information Satellite System».

The journal is registered by the the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications (PI certificate no. FS 77 - 61605, May 05, 2015).

The journal publishes original papers, reviews articles, rapid communications and discussions covering recent advances in space.

The journal directions:

- Rocket and space equipment;
- New materials and technologies in space equipment;
- Space instrument engineering;
- Space Services;
- Innovation and economics of the space industry.

«The Research of the Science City» publishes only original research articles. All articles are peer reviewed by international experts. Both general and technical aspects of the submitted paper are reviewed before publication.

The publication of manuscripts is free of charge.

The journal is on open access on www.elibrary.ru, scholar.google.com, www.cyberleninka.ru

Founder

Limited Liability Company «Smart city»

РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Н. А. Тестоедов, А. В. Кузовников
ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРИОРИТЕТЫ РАЗВИТИЯ
ИНФОРМАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

А. В. Мишуров, С. П. Панько
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НОВЫХ
КОМАНДНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

**НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ
В КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ**

П. Ташев, Н. Алексиев, В. Манолов, А. Н. Черепанов
НАНОМОДИФИЦИРОВАНИЕ В ПРОЦЕССАХ
СВАРКИ И НАПЛАВКИ

КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

**О. В. Непомнящий, А. И. Постников, В. В. Горева,
С. С. Варочкин**
АРХИТЕКТУРА БОРТОВОГО КОМПЛЕКСА
УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ
АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ СЕТЕВЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

Ф. В. Овчинников, В. В. Сухотин
ИЗМЕРЕНИЕ РАЗНОСТИ ФАЗ СИГНАЛОВ
В СИСТЕМАХ СПУТНИКОВОЙ
СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ОДНОГО ГЕОСТАЦИОНАРНОГО ИЗС

**ИННОВАЦИИ И ЭКОНОМИКА
КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

**Е. А. Морозов, Ю. В. Вилков, А. Н. Киселёва,
В. В. Двирный, Г. Г. Крушенко**
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ: ВОПРОСЫ
ВЫЯВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

ROCKET AND SPACE EQUIPMENT

N. A. Testoyedov, A. V. Kuzovnikov
PERSPECTIVES AND DEVELOPMENT PRIORITIES
OF THE INFORMATION SATELLITE SYSTEMS

A. V. Mishurov, S. P. Panko
THE USE OF INTERNATIONAL STANDARDS
IN THE DESIGN OF NEW TRACKING, TELEMETRY
AND COMMAND SUBSYSTEMS FOR SPACECRAFTS

**NEW MATERIALS AND TECHNOLOGIES
IN SPACE EQUIPMENT**

P. Tashev, N. Alexiev, V. Manolov, A. N. Cherepanov
MODIFYING THE LIQUID PHASE WITH
NANOSCALE POWDERS IN THE PROCESS
OF WELDING AND CLADDING

SPACE INSTRUMENT ENGINEERING

**O. V. Nepomnyashchy, A. I. Postnikov, V. V. Goreva,
S. S. Varochkin**
MEASUREMENT OF A DIFFERENCE PHASES
OF SIGNALS IN SATELLITE COMMUNICATION
SYSTEMS WITH USE OF ONE GEOSTATIONARY
ARTIFICIAL EARTH SATELLITE

F. V. Ovchinnikov, V. V. Sukhotin
MEASUREMENT OF A DIFFERENCE PHASES
OF SIGNALS IN SATELLITE COMMUNICATION
SYSTEMS WITH USE OF ONE GEOSTATIONARY
ARTIFICIAL EARTH SATELLITE

**INNOVATION AND ECONOMICS
OF THE SPACE INDUSTRY**

**E. A. Morozov, Yu. V. Vilkov, A. N. Kiseleva,
V. V. Dvirnyi, G. G. Krushenko**
IMPROVING THE SYSTEM'S EFFICIENCY
OF INFORMATION AND ANALYSIS SUPPORT
IN THE DEVELOPMENT OF SATELLITES:
QUESTIONS OF IDENTIFYING AND PROTECTION
OF INTELLECTUAL PROPERTY

ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРИОРИТЕТЫ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Н. А. Тестоедов, А. В. Кузовников

*АО «Информационные спутниковые системы» им. академика М. Ф. Решетнёва»,
г. Железногорск, Красноярский край, Российская Федерация*

Рассмотрены основные направления развития систем спутниковой связи, вещания и ретрансляции информации. Показано, что на сегодняшний день основная тенденция развития космических телекоммуникационных систем – переход к спутникам, использующим технологию HTS (High throughput satellites). Для современных спутников HTS пропускная способность составляет до 100–150 Гбит/с, проекты следующего поколения спутников HTS позволят повысить пропускную способность в несколько раз. Определяют пропускную способность спутников HTS число лучей и полоса частот в луче, доступная для использования. При увеличении числа лучей требуется уменьшать их диаграмму направленности. Современные спутники HTS имеют 70–80 лучей с шириной диаграммы направленности 0,4–0,7 град. Проектируемые спутники будут иметь 150–250 лучей с шириной диаграммы направленности 0,2–0,3 град. Значит, ёмкость проектируемых спутников достигнет 0,5 Тбит/с, а в некоторых проектах даже 1 Тбит/с. При реализации фидерных линий связи с центральными станциями это ведёт к необходимости перехода в V-диапазон радиочастот. Данное решение позволит использовать малогабаритные абонентские терминалы, обеспечивающие скорость передачи данных свыше 1 Гбит/с, и позволит создавать сверхширокополосные системы связи с высоким уровнем сигнальной помехозащиты. Это поможет «разгрузить» частотный ресурс в уже используемых диапазонах радиочастот.

Показана ещё одна важная особенность спутников HTS – использование прозрачных цифровых процессоров, обеспечивающих гибкое перераспределение требуемого частотного ресурса в зависимости от трафика системы. Внедрение представленных новшеств позволит создавать новые телекоммуникационные системы, удовлетворяющие всем современным требованиям.

Ключевые слова: космический аппарат, спутниковая связь, широкополосная фиксированная связь, контурные антенны, многолучевые антенны, HTS-спутники.

Введение

В начале XX века наметился рост доли спутниковой связи на рынке телекоммуникаций благодаря развитию технологической базы спутниковых решений, которые позволяют предоставлять конечному пользователю все преимущества широкополосных мультисервисных сетей. Размеры территории РФ также благоприятствуют внедрению спутниковой связи. Если центральная часть РФ традиционно хорошо обеспечена связью, то районы Дальнего Востока и Сибири имеют недостаточно хорошо развитую инфраструктуру связи при высокой потребности в телекоммуникационных услугах.

Развёртывание и модернизация спутниковой группировки гражданского назначения долж-

ны не только защитить орбитально-частотный ресурс РФ, обеспечить государственных и коммерческих пользователей современными услугами связи и вещания, но и создавать технологический задел для предотвращения зарубежной экспансии на внутренний рынок с новыми видами услуг.

Тенденции развития космических телекоммуникационных систем

В настоящее время в мире прослеживаются две основные тенденции развития космических телекоммуникационных систем. Первая – применение спутников, использующих технологии HTS. Вторая – переход от тяжёлых спутников на геостационарных орбитах к орбитальным группировкам малых космических аппаратов на средних (8–12 тыс. км) и низких (500–2000 км) орбитах [1].

Переход от традиционных систем к системам на базе спутников HTS

На сегодняшний день основная тенденция развития космических телекоммуникационных систем – переход к спутникам, использующим технологию HTS. Высокоинформативные геостационарные спутники за последние 10 лет стали самостоятельным классом спутников связи. Примерно в 2010 году такие спутники получили название HTS, которое сегодня признано в мире для многоручевых спутников, ориентированных на задачи широкополосного доступа (ШПД). Пропускная способность систем на основе спутников HTS уже превосходит потенциал всех традиционных спутниковых систем в С- и Ku-диапазонах в несколько раз.

Основные этапы развития систем фиксированной спутниковой связи показаны на рис. 1.

Основным отличительным признаком спутников HTS является формирование рабочей зоны с использованием многоручевых антенн (МА) (рис. 2). Здесь следует отметить, что на традиционных спутниках связи и вещания фиксированной спутниковой службы и/или вещания используются контурные антенны, формирующие широкие рабочие зоны. Способ формирования рабочей зоны принципиально изменяет технические решения при создании полезной нагрузки и экономические показатели спутника и системы ШПД. В итоге пропускная способность спутника HTS сегодня составляет примерно до 100–150 Гбит/с, проекты следующего поколения спутников HTS уже предполагают пропускную способность в несколько



Рис. 1. Развитие систем фиксированной спутниковой связи



Рис. 2. Основные виды МЛА

раз выше. В результате себестоимость единицы частотно-энергетического ресурса спутника HTS почти на порядок ниже, а в целом в системе ШПД достигается снижение себестоимости передачи единицы информации в десятки раз по сравнению с использованием традиционных спутников для аналогичных задач ШПД.

Внешний вид спутника HTS производства АО «ИСС» «Экспресс-АМ5» представлен на рис. 3.

Наиболее эффективно достоинства спутников HTS реализуются в Ku-диапазоне, поскольку бортовая антенная система ПН (полезной нагрузки) значительно меньше по массе, чем, например, при реализации в Ku-диапазоне при условии идентичности лучей. Хотя это положение и является дискуссионным, в том числе в связи со значительно меньшим затуханием сигналов Ku-диапазона в условиях наличия гидрометеоров.

Определяющими для HTS в первом приближении являются число лучей и полоса частот в луче, доступная для использования. Полосу частот в луче невозможно расширять произвольно. В основном наращивание емкости спутника HTS обеспечивается за счет увеличения числа лучей. Соответственно, при увеличении числа лучей требуется уменьшать их диаграмму направленности, если рабочая зона фиксирована. Аналитические исследования, посвященные этой задаче, показывают, что вполне возможно сужение лучей до 0,2–0,3 град. При сужении лучей увеличивается усиление луча, но из этого не следует пропорциональный рост отношения сигнал/шум на приемной стороне. В ряде исследований показано, что существует ограничение на достижимое значение отношения сигнал/шум, связанное с нарастанием взаимных помех между лучами (как по передаче, так и по приему). Значение отно-

шения сигнал/шум обычно не больше 12–13 дБ на краю локальной рабочей зоны абонентского луча.

Также данное решение поможет «разгрузить» частотный ресурс в уже используемых диапазонах радиочастот (S-, C-, X- и Ku-диапазоны), что в настоящее время является актуальной проблемой ввиду увеличения числа наземных и космических систем связи.

Ещё одной важной особенностью спутников HTS является использование прозрачных цифровых процессоров, обеспечивающих гибкое перераспределение требуемого частотного ресурса в зависимости от трафика системы (DTP – Digital transparent processor), результатом является защита от помех и увеличение гибкости полезной нагрузки с целью обеспечения клиентам персонализированных услуг.

Заключение

Внедрение представленных в статье новшеств позволит создать новые телекоммуникационные системы, удовлетворяющие современным требованиям, таким как:

- высокая пропускная способность;
- низкие задержки сигнала;
- использование пользователями малогабаритных недорогих абонентских терминалов;
- невысокая стоимость услуг связи во многих регионах, сопоставимая со стоимостью наземных услуг связи или более выгодная;
- возможность предоставления широкого спектра услуг: голосовая связь, передача коротких текстовых сообщений, предоставление высокоскоростного широкополосного доступа в Интернет, теле- и радиовещание.

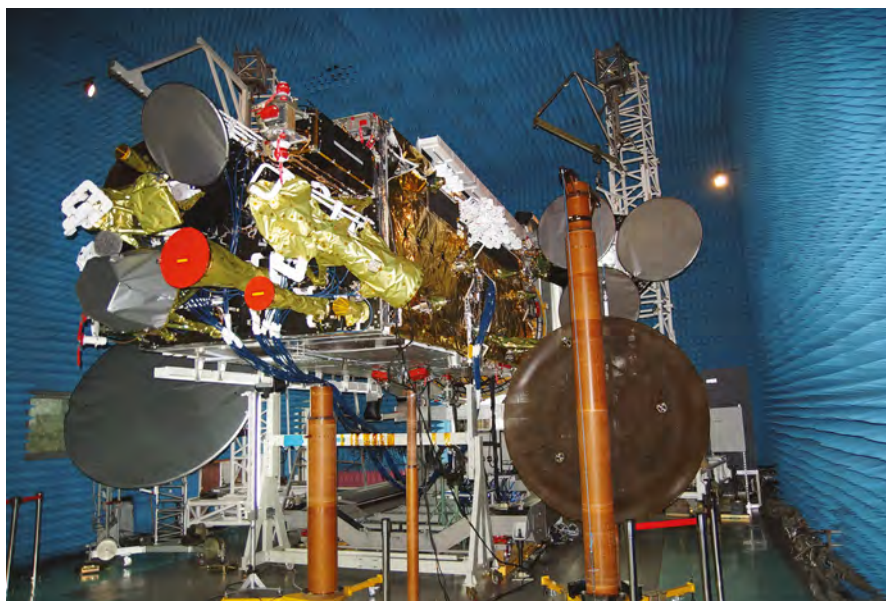


Рис. 3. Внешний вид спутника HTS

Список литературы

1. Принципы построения зарубежных спутниковых систем персональной подвижной связи : учеб. пособие / А. М. Андреев, Л. П. Богинский, М. В. Гришин и др. СПб. : ВКА им. А. Ф. Можайского, 2008. 345 с.
2. Спутниковые системы связи и вещания (справочно-аналитическое издание). М. : Радиотехника, 2008. № 1. 384 с.
3. Малые космические аппараты информационного обеспечения / под ред. В. Ф. Фатеева. М. : Радиотехника, 2010. 320 с.
4. Головков В. В., Есипенко А. А., Кузовников А. В. Система спутниковой связи на низких орбитах для обеспечения высокоскоростной передачи данных // Научные технологии. 2016. № 7. С. 19–21.

История статьи

Поступила в редакцию 13 декабря 2016 г.

Принята к публикации 17 февраля 2017 г.

PERSPECTIVES AND DEVELOPMENT PRIORITIES OF THE INFORMATION SATELLITE SYSTEMS

N. A. Testoyedov, A. V. Kuzovnikov

*JSC «Academician M. F. Reshetnev» Information Satellite Systems»
Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, Russian Federation*

The main directions of the development of satellite communication systems, broadcasting and retransmission of information are considered. The main trend in the development of space telecommunications systems now is the transition to satellites using HTS (High throughput satellites) technology is shown. For modern HTS satellites the throughput is up to 100–150 Gbit/s, the projects of the next generation of HTS satellites will allow to increase the throughput several times. The determining factor for the bandwidth of the HTS satellites is the number of beams and the frequency band in the beam available for use. As the number of rays increases, their directional pattern needs to be reduced. Modern HTS satellites have 70–80 rays with a beamwidth of 0,4–0,7 degrees. The projected satellites will have 150–250 beams with a beamwidth of 0,2–0,3 degrees. So the capacity of the projected satellites will reach 0,5 Tbit/s, and in some projects even 1 Tbit/s. When implementing feeder links with central stations, this leads to the need to go to the V-band of radio frequencies. This solution will allow to use small-sized subscriber terminals that provide data transfer rates in excess of 1 Gbit/s, and will allow creating ultra-wideband communication systems with a high level of signal interference protection. This will help to «unload» the frequency resource in the already used radio frequency bands. One more important feature of HTS satellites - the using of transparent digital processors, providing a flexible redistribution of the required frequency resource depending on the traffic of the system is shown. Introduction of the presented innovations will allow creating new telecommunication systems that meet all modern requirements.

Keywords: spacecraft, satellite communications, broadband fixed communication, contour antennas, multi-beam antennas, HTS satellites.

References

1. Printsipy postroeniya zarubezhnykh sputnikovyykh sistem personal'noy podvizhnoy svyazi [Principles of building foreign satellite personal mobile systems] / A. M. Andreev, L. P. Boginskiy, M. V. Grishin and others. St. Petersburg, VKA named after A. F. Mozhayskogo, 2008. 345 p. (In Russian).
2. Sputnikovye sistemy svyazi i veshchaniya : spravochno-analiticheskoe izdanie [Satellite communication and broadcasting systems – reference and analytical edition]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2008, no. 1, 384 p. (In Russian).
3. Malye kosmicheskie apparaty informatsionnogo obespecheniya [Small spacecrafts for information support]. Edited by V.F. Fateeva. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2010. 320 p. (In Russian).
4. Golovkov V. V., Esipenko A. A., Kuzovnikov A. V. Sistema sputnikovoy svyazi na nizkikh orbitakh dlya obespecheniya vysokoskorostnoy peredachi dannykh [Satellite communication system in low orbits for high-speed data transmission]. Naukoemkie tekhnologii. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2016, no. 7, pp. 19–21. (In Russian).

Article history

Received 13 December 2016

Accepted 17 February 2017

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НОВЫХ КОМАНДНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А. В. Мишуров, С. П. Панько

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация

Рассмотрены вопросы использования стандарта Международного консультативного комитета по системам космических данных (CCSDS). Показано на примере измерения дальности космического аппарата, что рекомендации CCSDS отстают от нынешнего уровня науки и техники, что вызвано, в первую очередь, большим периодом между пересмотром рекомендаций. В рекомендациях CCSDS вопрос одновременной передачи команд и дальномерной псевдослучайной последовательности рассматривается в основном как цель использования различных поднесущих частот. Однако это противоречит требованию уменьшения ширины полосы занимаемых частот. Наиболее продуктивно использовать командную и дальномерную псевдослучайные последовательности одинаковой длительности. Важно поочередно излучать командную и дальномерную последовательности и измерять дальность по обеим последовательностям. Наиболее высокая точность измерения дальности достигается при равенстве длин дальномерной и командной последовательностей. Ещё один аспект, не рассматриваемый CCSDS, – точность измерения радиальной составляющей скорости движения космического аппарата. По результатам оценки стандартов CCSDS сделан вывод о необходимости разработки их подвида – отечественного стандарта, учитывающего современные методы модуляции/демодуляции и направленного на защиту командного канала от несакционированного вмешательства, обеспечивающего повышение точности измерения текущих навигационных параметров, таких как дальность и скорость космического аппарата относительно наземного комплекса управления.

Ключевые слова: космический аппарат, наземный комплекс управления, телеметрия, измерение дальности, CCSDS.

Многие страны разработали и успешно используют собственные стандарты спутниковых технологий для координации деятельности эксплуатирующих организаций и предприятий промышленности, выпускающих различные составные части космических аппаратов (КА). Однако поскольку спутниковые технологии являются общим достижением человечества, то возникла необходимость международного сотрудничества участников национальных космических программ. Это вылилось в создание в 1982 г. Международного консультативного комитета по системам космических данных (The Consultative Committee for Space Data Systems, CCSDS), генеральной целью которого является координация деятельности в этой сфере [1]. В CCSDS в настоящее время входят 11 национальных космических агентств, 28 стран-наблюдателей и более 140 промышленных партнеров. Это интернациональный

форум для развития стандартов систем связи, передачи данных и космических полетов.

Библиотека стандартов CCSDS, опубликованная в русскоязычной транскрипции, содержит следующие разделы [8]:

1. Глобальное поле идентификатора КА CCSDS 320.0-B-5 («Розовая книга»).
2. Протокол космической радиолинии – Ближняя-1 CCSDS 211.1-B-3.
3. Псевдошумовые системы измерения дальности CCSDS 414.1-B-1.
4. Псевдошумовые системы измерения дальности CCSDS 414.0-G-0.
5. Форматы кода времени CCSDS 301.0-B-4.

Из этих разделов могут быть наиболее развиты разделы, касающиеся протоколов космической радиолинии, и разделы, посвященные дальномерным измерениям. Протоколы космических радиолиний должны учитывать реальную скорость передачи команд и телеметрии, что обеспечит равномерную загрузку приемопередающей

аппаратуры и создаст предпосылки повышения эффективности измерения текущих навигационных параметров. Процедуры дальномерных измерений могут быть оптимизированы по типам сигналов и методам их обработки. Конечной целью этих задач должно явиться обеспечение высокой точности измерения дальности и скорости космического аппарата в реальном времени.

Разделы 1 и 5 Библиотеки стандартов CCSDS в меньшей степени могут быть подвергнуты модернизации, поскольку затрагивают общемировые интересы, однако такой возможностью не стоит пренебрегать.

Разработка, производство и эксплуатация КА, находящегося на значительном удалении от наземного комплекса управления (НКУ) и работающего в агрессивной среде глубокого вакуума, формируют особые требования по сравнению с аппаратурой земного базирования, доступной для контроля работоспособности и ремонта. В настоящее время освоен достаточно большой срок активного существования, вплоть до 15 лет и выше, что достигается не только использованием конструкционных материалов особой прочности или высоконадежных изделий микроэлектроники, но и резервированием узлов и подсистем. Кроме того, важную роль играет управление работой систем и узлов КА, обеспечивающее изменение режимов работы, если это вызвано необходимостью восстановления хотя бы части функций. Для выполнения этих требований значения параметров и режимов КА непрерывно передаются в НКУ, где они контролируются операционным персоналом. В случае необходимости принимаются адекватные меры путем отправки соответствующих команд на КА. Эти функции выполняют командно-измерительные системы (КИС) КА, в англоязычной литературе известные как TT&C – tracking, telemetry and command subsystem.

КИС КА обеспечивает передачу команд на КА на основе выделенного радиоканала. Бортовая часть КИС КА обеспечивает передачу в НКУ телеметрических данных с датчиков подсистем и узлов КА, а также полезной нагрузки. Кроме того, на КИС КА возложено измерение текущих навигационных параметров КА, в первую очередь дальности и скорости. Работа бортовой части

КИС поддерживается другим самостоятельным радиоканалом.

Управление режимами работы и функциями КА осуществляется путем передачи из НКУ на КА команд и полетных заданий в соответствии с обобщенной структурной схемой бортовой части КИС (рис. 1), разработанной в соответствии с рекомендациями CCSDS [1].

Функционально КИС состоит из двух сегментов: бортовой аппаратуры (БА) и сегмента НКУ. Команды и исходный дальномерный сигнал поступают на одной и той же несущей частоте по линии Up link на КА. Принятые сигналы дешифрируются, и выделенные команды направляются на исполнение узлами и подсистемами КА. Выделенный дальномерный сигнал по внутренней линии КПИПО – каналу передачи для измерения параметров орбиты – с помощью передатчика излучается по линии Down link в сторону НКУ.

Подсистема телеметрии отвечает за сбор данных из широкого спектра датчиков, извлекающих информацию о давлении в топливных баках, напряжения и потребляемых токов передатчиков, излучаемой мощности передатчика, критических напряжений и токов, температуры в различных подсистемах, состояния переключателей и подвижных механизмов, датчиков системы жизнеобеспечения, датчиков других инженерных подсистем на борту КА. Появление оборудования на микропроцессорной базе привело к повышению производительности обработки информации, в результате повысилась автономность КА и сложность выполняемой им миссии. Позиция КА и ее эволюции отслеживаются также с помощью телеметрии.

Командный канал КА работает следующим образом. На вход приемника ПРМ КА поступает сигнал с приемной антенны ПРМА, сигнал демодулируется и декодируется. В дешифраторе производится оценка достоверности декодированных команд и распределение их по назначению.

По ответному радиоканалу, который принято называть телеметрическим, на НКУ передаются квитанции о приеме и исполнении команд, отчеты о режимах работы, выполняемых функциях и телеметрические сведения о текущих параметрах бортовых узлов и систем. БА КИС поддерживает измере-



Рис. 1. Обобщенная структурная схема КИС КА

ние параметров орбиты – текущих навигационных параметров КА. Дальность КА измеряется на основе оценки задержки времени прохождения тестового сигнала по трассе НКУ – КА – НКУ за вычетом задержки в бортовой аппаратуре. Скорость движения КА, как и дальность, измеряется в НКУ на основе обработки сигналов, поступающих от КА.

Основная позиция CCSDS относительно системы слежения, телеметрии и передачи команд с НКУ на КА концентрируется не только на обеспечении большей автоматизации в рамках отдельных КА относительно более ранних решений, но и в достижении единства информационной основы различных подсистем, что приводит к большей перекрестной поддержке возможностей и услуг.

В соответствии с семиуровневой моделью OSI [2] и рекомендациями CCSDS телеметрическая система КА основывается на таких двух основных концептуальных категориях, как «пакетная телеметрия» и «канальное кодирование телеметрии».

Пакетная телеметрия обеспечивает эффективную передачу данных, полученных от источников, в стандартизированном виде и характеризуется высокой степенью автоматизации за счет использования помехоустойчивого кодирования, а также обнаружения и исправления ошибок, возникших в процессе распространения сигнала. Пакетная телеметрия предоставляет механизм для реализации общих структур данных и протоколы, которые могут способствовать развитию и эксплуатации КИСКА [3]. Канальное кодирование телеметрии обеспечивает обработку исходных данных таким образом, что отдельные сообщения легко отличаются друг от друга. Это позволяет реконструировать данные, передаваемые с КА в НКУ, с низкой вероятностью ошибок, тем самым улучшая производительность канала. Кроме того, канальное кодирование направлено на обеспечение защиты телеметрического канала от возможного несанкционированного вмешательства.

Оценка параметров орбиты КА производится на основе измерения дальности КА и радиальной составляющей его скорости. Для измерения дальности и скорости движения КА относительно НКУ предусмотрен канал передачи поднесущих частот измерения параметров орбиты (КПИПО) между узлами приемника и передатчика.

Известны различные подходы к реализации БА КИС. В частности, в [4] сигнал команды и аудиосигнал, который можно рассматривать в качестве дальномерного, суммируются и передаются на общей поднесущей частоте. В остальных трактах земных станций и КА мало отличаются от обычного супергетеродинного приемника. В другом случае используются широкополосные сигналы для передачи командного и дальномерного сигналов на одной общей несущей частоте. Командный сигнал модулируется первым широко-

полосным кодом, а дальномерный – вторым; длина второго кода кратна длине первого. Модуляция несущей частоты содержит модуляцию одной или более поднесущих множеством дальномерных тонов. Сигналы с модуляцией BPSK/FM занимают достаточно широкую полосу частот, около 800 кГц для ФМ с девиацией ± 400 кГц, что требует для управления созвездием из 11 КА полосу частот до 15 МГц. Широкополосные сигналы снижают остроту проблемы. В [6] используется поочередная передача сигналов, к которым можно отнести как командные, так и дальномерные сигналы.

В основном технические решения по КИС КА относятся не к системным вопросам, а к измерению, в первую очередь, дальности. Наиболее распространены два подхода – использование для этих целей псевдослучайных или тоновых сигналов. Широко известное решение для измерения дистанции состоит в излучении Земной станцией нескольких синусоидальных тонов. Эти тоны демодулируются на борту и используются для ремодуляции несущей сигнала телеметрии на канале вниз одновременно с телеметрической поднесущей. Дальность оценивается по измеренному фазовому сдвигу на высшей частоте, на т.н. «мажорном» тоне с уточнением по «минорным» тонам, которые соотносятся с мажорным тоном в геометрической прогрессии 1/5 по рекомендации ESA. Задача снятия неоднозначности свойственна не только тоновым, но и псевдослучайным сигналам. Неоднозначность состоит в том, что наиболее высокая точность достигается на высоких частотных составляющих. Но при этом возникает множественность показаний. Наиболее проста и эффективна процедура разрешения неоднозначности путем перебора сигнальных составляющих, начиная с наиболее высокочастотной.

Измерение дальности производится на основе измерения времени распространения дальномерного сигнала вида псевдослучайной последовательности по трассе НКУ – КА – НКУ [5]. Вторым вариантом рекомендуется измерение дальности путем оценки задержки фазы тонового сигнала, излучаемого и принимаемого в НКУ.

Широко известно [5], что точность измерения дальности определяется отношением сигнал/шум на выходе коррелятора:

$$q = \frac{E}{N_0}.$$

Здесь N_0 – спектральная плотность мощности источника шума, $N_0 = 2D_{\text{ш}}/\Delta F$, где $D_{\text{ш}}$ – дисперсия шума, ΔF – ширина полосы частот, занимаемых сигналом ($-\Delta F \dots + \Delta F$); E – энергия сигнала $s(t)$. В случае псевдослучайной последовательности в составе M чипов

$$E = \int_0^{MT} s^2(t) dt.$$

Здесь T – длительность чипа. Отсюда следует, что повышение точности измерения дальности в соответствии с рекомендациями CCSDS обеспечивается при увеличении M , что особенно актуально при работе с КА на высокоэллиптических орбитах. Однако в рекомендациях CCSDS не акцентируется важный вопрос одновременной передачи команд и дальномерной ПСП, кроме использования с этой целью различных поднесущих частот. Но это не отвечает требованию уменьшения ширины полосы занимаемых частот. В [6] предлагается решение этого вопроса путем поочередной передачи команд и дальномерного сигнала на одной несущей частоте. Недостаток такого подхода состоит в ограничении точности измерения дальности сверху, что особенно проявляется на этапе выведения КА в рабочую точку, когда управляющие команды отсылаются наиболее интенсивно. На этапе устойчивого функционирования в рабочей точке наиболее продуктивно использовать командную и дальномерную ПСП одинаковой длительности. Полезно излучать поочередно командную и дальномерную последовательности и измерять дальность не только по дальномерной, но и по командной последовательностям. Наиболее высокая точность достигается при равенстве длин дальномерной и командной последовательностей.

Вторым аспектом, не рассматриваемым CCSDS, является точность измерения радиальной составляющей скорости движения КА, которая определяется исключительно на основе измерения доплеровского смещения частоты. Исследования показывают, что имеются резервы повышения точности доплеровских измерений [7]. Кроме того, в процессе разрешения неоднозначности имеется резерв повышения точности Доплеровских измерений и, соответственно, скорости КА. Имеют место другие несоответствия современному уровню развития науки и техники.

Причина отставания рекомендаций CCSDS от новых результатов интеллектуальной деятельности заключается в большом сроке со времени его принятия в 2010 г. Поэтому назрела необходимость разработки отечественного стандарта – эквивалента CCSDS, который должен учитывать современные достижения системных возможностей развития КИС КА, а также давать большую свободу творчества исследователям с целью повышения точности измерения телеметрических параметров и текущих навигационных параметров.

В настоящий момент в России действует ГОСТ 56096-2014 «Система передачи космиче-

ских данных и информации. Пакетная телеметрия», который обеспечивает гармонизацию отечественных систем управления с рекомендациями CCSDS в части формирования и передачи телеметрической информации.

Данный стандарт устанавливает правила построения и организации измерительных систем на объектах и изделиях ракетно-космической техники и наземной космической инфраструктуры только в части организации пакетной передачи данных. Однако в стандарте не предусмотрены разделы, рекомендуемые применение современных методов модуляции/демодуляции, обеспечивающих эффективное использование частотного ресурса, а также рекомендации по повышению точности измерения текущих навигационных параметров.

Этим вызвана целесообразность разработки собственного отечественного стандарта, являющегося подвидом CCSDS. Российский стандарт по космическим системам передачи данных в части командно-измерительных систем КА – аналог CCSDS – должен учитывать современные достижения науки и техники и содержать как минимум следующие разделы:

- «Организация КИС КА с целью передачи командной и командно-полетной информации с НКУ на КА, а также телеметрической информации по обратному каналу КА – НКУ»;
- «Современные методы модуляции/демодуляции, обеспечивающие повышение эффективности передачи информации с уменьшением ширины полосы занимаемых частот и ЭИИМ»;
- «Повышение точности измерения текущих навигационных параметров, а именно дальности и скорости КА относительно НКУ, обеспечивающее высокую точность определения параметров орбиты КА»;
- «Защита командного канала от несанкционированного вмешательства при сохранении энергетических показателей».

Также очевидно, что отечественный стандарт должен быть согласован с текущими и вновь вводимыми положениями CCSDS.

Исследование выполнено при поддержке краевого государственного автономного учреждения «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках реализации проекта «Подготовка к внедрению программно-аппаратного комплекса для автоматизации испытаний бортовой аппаратуры командно-измерительной системы в АО "ИСС"».

Список литературы

1. CCSDS. Recommendation for space. Data system standard. A blue book, 2000. A green book, The CCSDS website, www.ccsds.org.
2. International Standards Organization. www.iso.org.

3. Скляр Б. Цифровая связь. Москва – Санкт-Петербург – Киев, 2003.
4. Pham T. T., DSN Chief System Engineer. 203, Rev. C. Sequential Ranging DSN Telecommunications Link Design Handbook October 31, 2009.
5. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. М., 1966.
6. Harleset G., e.a. Ranging system and method for satellites. US Patent 6864838, March, 8, 2005.
7. Панько С. П., Цимбал М. С. Измерение скорости космического аппарата // Исследования наукограда. 2015. № 4. С. 25–29.

История статьи

Поступила в редакцию 15 февраля 2017 г.

Принята к публикации 24 марта 2017 г.

THE USE OF INTERNATIONAL STANDARDS IN THE DESIGN OF NEW TRACKING, TELEMETRY AND COMMAND SUBSYSTEMS FOR SPACECRAFTS

A. V. Mishurov, S. P. Panko

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

The issues of the use of the standard of the Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS) are considered. It is shown that CCSDS recommendations lag behind the current level of science and technology, which is caused, first of all, by the long period between the revision of recommendations. This is shown in the example of the range tracking of a spacecraft. In the CCSDS recommendations, the issue of simultaneous command transmission and a range-wise pseudo-random sequence is mainly considered as the purpose of using different frequency subcarriers. However, this contradicts the requirement to reduce the bandwidth of occupied frequencies. It is shown that it is most productive to use command and range-finding pseudo-random sequences of the same duration. It is important to alternately emit the command and rangefinder sequences and measure the range of both sequences. The highest accuracy of measuring range is achieved when the lengths of rangefinder and command sequences are equal. One more aspect not considered by CCSDS is shown, – the accuracy of measuring the radial component of the speed of the spacecraft. Based on the results of the CCSDS standards assessment, it is concluded that it is necessary to develop their subspecies – a domestic standard that takes into account both modern modulation / demodulation methods and aimed at protecting the command channel from unauthorized interference and improving the accuracy of measuring current navigational parameters such as the range and speed of the spacecraft regarding the ground control.

Keywords: spacecraft, ground control, telemetry, range tracking, CCSDS.

References

1. CCSDS. Recommendation for space. Data system standard. A blue book, 2000. A green book, The CCSDS website, www.ccsds.org.
2. International Standards Organization. www.iso.org.
3. Sklyar B. *Cifrovaya svyaz'* [Digital communication]. Moscow – St. Petersburg – Kiev, 2003. (In Russian).
4. Pham T. T., DSN Chief System Engineer. 203, Rev. C. Sequential Ranging. DSN Telecommunications Link Design Handbook. October 31, 2009.
5. Tikhonov V. I. *Statisticheskaya radiotekhnika* [Statistical Radio Engineering]. Moscow, 1966. (In Russian).
6. Harles G., e.a. Ranging system and method for satellites. US Patent 6864838, March, 8, 2005.
7. Panko S. P., Tsimbal M. S. *Izmerenie skorosti kosmicheskogo apparata* [Measurement of the velocity of the spacecraft]. The Research of the Science City, 2015, no. 4, pp. 25–29. (In Russian).

Article history

Received 15 February 2017

Accepted 24 March 2017

НАНОМОДИФИЦИРОВАНИЕ В ПРОЦЕССАХ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

П. Ташев¹, Н. Алексиев¹, В. Манолов¹, А. Н. Черепанов²

¹Институт металловедения, сооружений и технологий им. академика А. Балевского
с центром гидроаэродинамики – БАН, г. София, Болгария

²Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

Выполнены экспериментальные исследования влияния наномодифицирующих порошков тугоплавких соединений на свойства сварного шва при сварке алюминиевого сплава и наплавке защитного покрытия на стальную пластину. Сварка алюминиевого сплава АМгб осуществлялась с помощью аппарата для дуговой сварки с неплавящимся (вольфрамовым) электродом – ВИГ-сварка. В качестве модифицирующей добавки использовался наноразмерный порошок тугоплавкого соединения TiCN. Дополнительный электрод (модифицирующая порошковая проволока) изготовлялся с использованием вибрационной шаровой мельницы, в которой была подготовлена смесь из сечки стандартной добавочной проволоки марки АМгб и нанопорошка TiCN. Смесь помещали в тонкостенный контейнер из сплава АМгб, после чего уплотняли, а затем проводили экструдирование с применением вертикального пресса. В результате были получены проволоки диаметром 3 мм, содержащие соответственно 2 % TiCN и 0,7 % TiCN. Сварку пластин проводили со стандартной добавочной проволокой и с модифицированными проволоками, содержащими TiCN. При наплавке защитного покрытия на сталь использовали пластины толщиной 3 мм из стали S235JR. Они заранее подвергались механической очистке и обезжириванию. Наплавка осуществлялась по методу ВИГ. В качестве материала покрытия применялась стандартная дополнительная проволока DT-SGMo по DIN 8576 с диаметром 1,6 мм. На поверхность проволоки наносилась тонкая пленка, содержащая плакированные хромом наночастицы TiN. Плакирование частиц осуществлено с помощью механохимической обработки в планетарной мельнице. Исследования показали, что при модифицировании нанопорошками имеет место существенное измельчение структуры шва и увеличение его твердости как при сварке алюминиевого сплава, так и при наплавке конструкционной стали.

Ключевые слова: ВИГ-сварка, защитное покрытие, нанопорошки, алюминиевый сплав, стальная пластина, структура, твердость.

Введение

Сварка конструкций из деформируемых алюминиевых сплавов АМгб с использованием сварочной проволоки часто сопровождается формированием крупных зерен твердого раствора и фазы (Al₃Mg₂), которая выделяется по границам зерен, что отрицательно сказывается на прочности неразъемного соединения [1, 2].

Для улучшения свойства металла шва необходимо создать условия кристаллизации, обеспечивающие формирование мелкозернистой структуры с равномерным распределением примесей. В последнее время для этой цели применяются модифицирующие добавки [1–5]. Структуру шва можно из-

мельчить используя наноразмерные порошки TiN, TiCN, TiC, BN и др. Введение специально подготовленных нанопорошков в сварную жидкую ванну осуществляется различными способами, в частности, нанесением нанопорошка на поверхность сварки [4] или с помощью специально изготовленных проволочных электродов, содержащих нанопорошки [1, 2]. Исследования процессов модифицирования сплавов с применением наноразмерных нанопорошков приведены в работах [3–6].

1. Экспериментальные исследования

Целью данной работы является получение и исследование сварных швов и наплавленных слоев, содержащих наноразмерные порошки. Сварка осуществлялась с помощью аппарата для дуговой свар-

ки с неплавящимся (вольфрамовым) электродом – ВИГ-сварка. Были проведены эксперименты с использованием TiCN для шва из алюминиевого сплава AMg6 и TiN для наплавленного слоя из стали S235JR.

1.1. Сварка алюминиевого сплава

Дополнительный электрод (добавочная проволока) изготовлен согласно [7]. Для этой цели с использованием вибрационной шаровой мельницы была подготовлена смесь из сечки (диаметром 2 мм и длиной 1–2 мм) стандартной добавочной проволоки марки AMg6 и нанопорошка TiCN.

Смесь помещали в тонкостенный контейнер из сплава AMg6, уплотняли ее и потом проводили экструдирование с применением вертикального пресса (рис. 1). В результате были получены проволоки диаметром 3 мм, содержащие соответственно 2 % TiCN и 0,7 % TiCN.

В качестве образцов для эксперимента использовались пластины толщиной 4 мм из сплава AMg6, которые предварительно подвергались механической очистке и обезжириванию. Сварка осуществлялась с помощью источника СЕБОРА SOUND AC-DC2240/М в защитной среде (аргон). Были получены сварные швы со стандартной добавочной проволокой и с модифицированной проволокой, содержащей TiCN.

Шов, полученный с применением проволоки с 2 % TiCN, имел множество дефектов и не отвечал технологическим требованиям. Шов

с использованием проволоки с 0,7 % TiCN имел хороший внешний вид без технологических дефектов.

1.2. Наплавка на стальную пластину

Для наплавки защитного покрытия применялась стандартная проволока DT-SGМо по DIN 8576 с диаметром 1,6 мм. На поверхность проволоки наносилась тонкая пленка, содержащая плакированный хромом нанопорошок TiN. Плакирование осуществлялось с помощью механохимической обработки в планетарной мельнице [3]. Образцами для эксперимента служили пластины толщиной 3 мм из стали S235JR, которые предварительно подвергались механической очистке и обезжириванию. Наплавление осуществлялось по методу ВИГ с помощью источника FRONIUS Magic Wave 2500.

Использовалась сварочная установка с механизированным движением электрода, ручной подачей проволоки и защитным газом (аргоном).

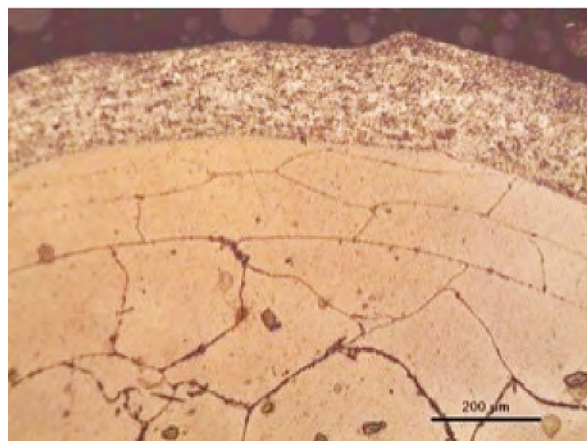
2. Результаты экспериментов

2.1. Результаты по сварке алюминиевого сплава

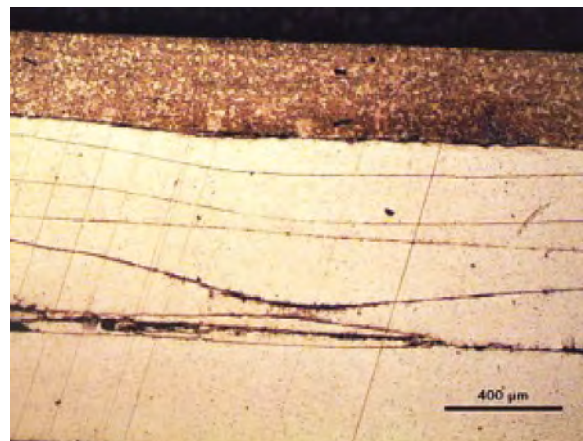
Проведен металлографический анализ образцов из полученной экструдированной проволоки, а также из образцов, вырезанных из опытных сварных соединений. Микроструктура образцов поперечного и продольного сечений проволоки



Рис. 1. Экструдирование проволоки с помощью пресса

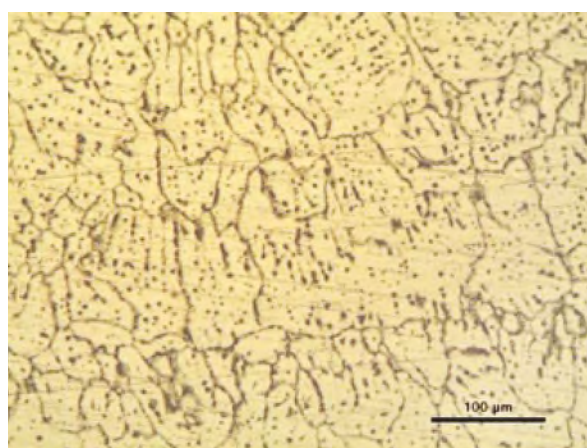


a

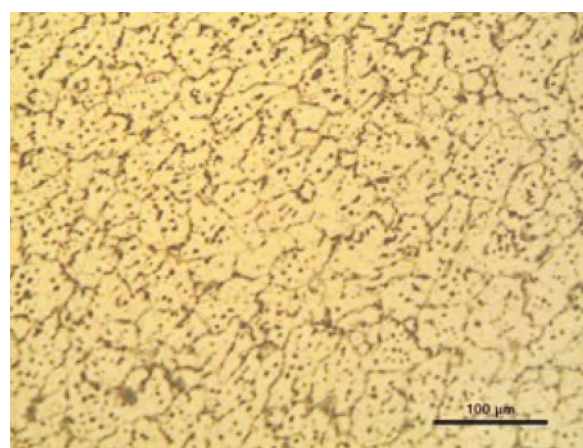


б

Рис. 2. Микроструктура образцов поперечного (*a*) и продольного (*б*) сечений проволоки АМг6 + 0,7 % TiCN



a



б

Рис. 3. Микроструктура сварных швов: *a* – образец, сваренный проволокой АМг6; *б* – образец, сваренный проволокой АМг6 + 0,7 % TiCN

АМг6 + 0,7 % TiCN (рис. 2) состоит из удлиненных экструдированных частиц сечки стандартной добавочной проволоки.

В поперечном сечении эти частицы выглядят как равноосные зерна (рис. 2, *a*), а в продольном сечении – как волокна (рис. 2, *б*). Микроструктура оболочки состоит из равноосных полиэдрических зерен.

Микроструктура образцов сварных швов, полученных с проволокой АМг6 без нанопорошковой добавки, имеет равноосные округленные зерна со средним диаметром зерен 80 μm (рис. 3, *a*).

Применение модифицирующей добавки АМг6 + 0,7 % TiCN повышает дисперсность структуры шва, которая состоит из более однородных по размерам полиэдрических округленных зерен со средним диаметром 39 μm (рис. 3, *б*). Измельчение структуры составляет 51 % по сравнению со структурой шва без ввода нанопорошка.

Измерение микротвердости по Виккерсу (с нагрузкой 98 N (10 kg) (рис. 4) показало увели-

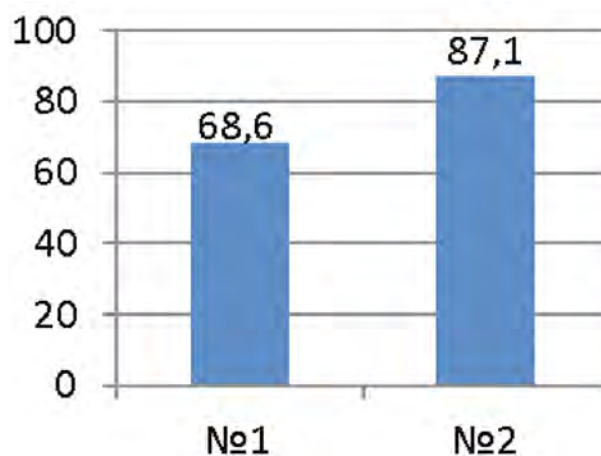
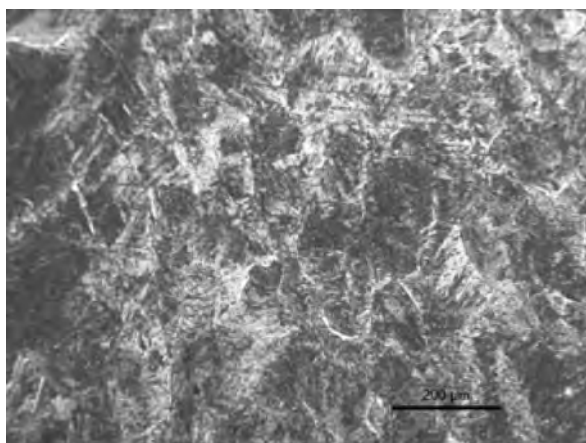
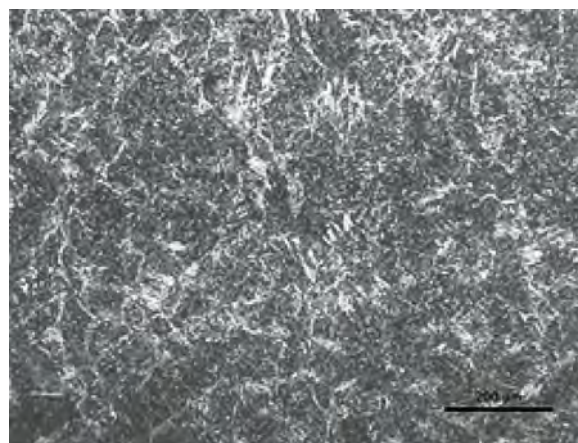


Рис. 4. Микротвердость образцов: № 1 – образец, сваренный проволокой АМг6; № 2 – образец, сваренный проволокой АМг6 + 0,7 % TiCN



а



б

Рис. 5. Структура однослойно наплавленного образца стандартной проволокой (а) и проволокой, содержащей TiN + Cr (б)

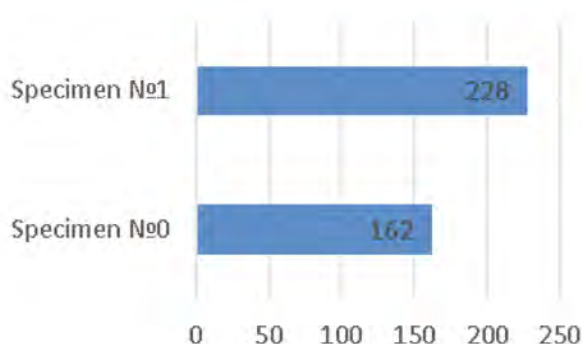


Рис. 6. Твердость по Викерсу HV:
№ 0 – однослойно наплавленный образец стандартной проволокой; № 1 – однослойно наплавленный образец с проволокой, содержащей TiN + Cr

чение ее значения на 22 % в результате применения проволоки с TiCN.

2.2. Результаты для наплавки стали

Проведен металлографический анализ однослойно наплавленных образцов, полученных с применением стандартной проволоки (рис. 5, а), и образцов с использованием стандартной прово-

локи, покрытой пленкой, содержащей нанопорошок TiN, плакированный хромом (рис. 5, б).

Установлено измельчение структуры и повышение микротвердости поверхностного слоя на 23 % для образца с применением TiN. Твердость по Викерсу HV наплавленных слоев (с нагрузкой 98 N (10 kg)) показана на рис. 6.

Получено увеличение твердости на 41 % для образца с применением TiN.

Выводы

1. Проведены исследования влияния наноразмерных порошков TiCN и TiN на свойства сварных швов алюминиевого сплава и наплавленных слоев стали.
2. Измельчение микроструктуры шва из алюминиевого сплава АМг6 при внесении TiCN составляет 51 %.
3. Наблюдается измельчение микроструктуры наплавленного слоя из стали S235JR при внесении TiN.
4. Получено увеличение микротвердости по Викерсу (HV) после ввода нанопорошков. При этом повышение HV для сварного шва из сплава АМг6 после применения проволоки с TiCN составляет 22 %, а для наплавленного слоя из стали S235JR с применением TiN – 41 %.

Список литературы

1. Крушенко Г. Г., Мишин А. С. Сварка листов из сплава АМг6 прутком, содержащим ультрадисперсные порошки // Сварочное производство. 1995. № 1. С. 2–3.
2. Балашов Б. А., Крушенко Г. Г., Лепихин А. М. Применение модифицирующего прутка Al–Ti–Be в сварке алюминия и алюминиевых сплавов // Современные проблемы сварочной науки и техники : материалы российской науч.-техн. конф. Ч. I. Пермь, 1995. С. 197–198.
3. Низкотемпературная плазма. Т. 12. Плазмохимический синтез ультрадисперсных порошков и их применение для модифицирования металлов и сплавов / В. П. Сабуров, А. Н. Черепанов, М. Ф. Жуков и др. Новосибирск : Наука ; Сибирская издательская фирма РАН, 1995. 330 с.

4. Черепанов А. Н., Афонин Ю. В., Маликов А. Г., Оришич А. М. О применении нанопорошков тугоплавких соединений при сварке и обработке металлов и сплавов // Тяжелое машиностроение. 2008. № 4/2. С. 25–26.
5. Черепанов А. Н., Овчаренко В. Е. Влияние наноразмерных композиционных порошков на структуру и свойства жаропрочного сплава Incone1 718 // Физика металлов и металловедение. 2015. Т. 116, № 12. С. 1339–1344.
6. Karaguiozova Z., Manolov V., Tarasov M. Elektroless iron coating on nanosized particles, Tribological Journal BULTRIB, 2011, vol. 2, no. 2, pp. 73–79.
7. Патент 2429958 Российская Федерация, С2 МПК В 23 К 35/40. Способ изготовления электродной проволоки для сварки алюминиевых сплавов / Крушенко Г. Г. Заявка № 2009131289/02 от 17.08.2009. Бюл. № 27, 2011.

История статьи

Поступила в редакцию 10 октября 2016 г.

Принята к публикации 13 января 2017 г.

MODIFYING THE LIQUID PHASE WITH NANOSCALE POWDERS IN THE PROCESS OF WELDING AND CLADDING

P. Tashev¹, N. Alexiev¹, V. Manolov¹, A. N. Cherepanov²

¹Institute of Metal Science, Equipment and Technologies «Acad. A. Bolevski»
with Hydroaerodynamics centre – BAS, Sofia, Bulgaria

²Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Siberian Branch RAS,
Novosibirsk, Russian Federation

Experimental studies of effect of nanomodifying powders of refractory compounds on properties of weld seam at welding of aluminum alloy and cladding a protective coating on a steel plate were conducted. The welding of aluminum alloy AMg6 was carried out using an electric arc welding with non-consumable (tungsten) electrode (TIG welding). The modifying agent was nanoscale powder of TiCN refractory compound. Additional electrode (modifying powder wire) was produced using a vibrating ball mill, in which a mixture of sliced standard additional wire AMg6 and nanopowder TiCN had been prepared. The mixture was placed in a thin-walled container made of AMg6, compacted, and then, it was extruded using a vertical press. As a result, wires with diameter of 3 mm were obtained, containing 2 % of TiCN and 0.7 % of TiCN, respectively. Welds were obtained with the standard additional wire and modified wire containing TiCN. The protective coating for steel was deposited using plates with thickness of 3 mm made of steel S235JR. Beforehand, they were subjected to mechanical cleaning and degreasing. The depositing was accomplished by the TIG method. The coating was standard additional wire DT-SGMO by DIN 8576 with diameter of 1.6 mm. The wire surface was covered by a thin film containing chromium clad TiN nanoparticles. The cladding was accomplished by mechanical chemical treatment in a planetary mill. The studies have shown that the modification by nanopowders leads to a substantial refinement of the seam structure and increase of its hardness both for aluminum alloy and structural steel cladding.

Keywords: TIG welding, protective coating, nanopowders, aluminum alloy, steel plate, structure, hardness.

References

1. Krushenko G. G., Mishin A. S. *Svarka listov iz splava AMg6 prutkom, sodержashchem ultradispersnie poroshki* [Welding of sheets of AMg6 alloy rod containing ultrafine powders]. Svarochnoe proizvodstvo, 1995, no. 1, pp. 2–3. (In Russian).
2. Balashov B. A., Krushenko G. G., Lepikhin A. M. *Primenenie modifiziruyushchego prutka Al-Ti-Be v svarke aluminia i aluminievikh spлавov* [The use of the modified rod, Al-Ti-Be in the welding of aluminum and aluminum alloys]. Sovremennye problemi svarchoy nauki i tekhniki, Materiali Rossiyskoy Nauchno-tekhnich. Conf., Part. I, Perm, pp. 197–198. (In Russian).
3. *Plasmokhimichesky sintez ultradispersnikh poroshkov i ih primeneniye dlya modifizirovaniya metallov i spлавov* [Plasmochemical synthesis of ultrafine powders and their application for modification of steels and alloys]. V. P. Saburov, A. N. Cherepanov, M. F. Zhukov, et al. Novosibirsk, Nauka, 1995, p. 330. (In Russian).
4. Cherepanov A. N., Aфонин Yu. V., Malikov A. G., Orishich A. M. *O primeneni nanoporoshkov tugoplavkikh soedineniy pri lasernoy obrabotke materialov* [On the application of nanopowders of refractory compounds in the welding and processing of metals and alloys]. Tyazheloe Mashinostroenie, 2008, no. 4, pp. 25–26. (In Russian).

5. Cherepanov A. N., Ovcharenko V. E. *Vliyanie nanostrukturirovannikh kompozitsi-onnikh poproshkov na strukturu i svoystva zharoprochnogo splava Incone 718*. [Effect of Nanostructured Composite Powders on the Structure and Strength Properties of the Hightemperature Inconel 718 Alloy]. *Fizika metallov i metallovedenie*, 2015, vol. 116, no. 12, pp. 1339–1344. (In Russian).
6. Karaguiozova Z., Manolov V., Tarasov M. Elektroless iron coating on nanosized particles, *Tribological Journal BULTRIB*, 2011, vol. 2, no. 2, pp. 73–79.
7. Krushenko G. G. Sposob izgotovleniya elektrodnoy provoloki dlya svarki alyuminievykh splavov. [A method of manufacturing an electrode wire for welding of aluminium alloys]. Patent RF, no. 2429958, 2011.

Article history

Received 10 October 2016

Accepted 13 January 2017

АРХИТЕКТУРА БОРТОВОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ*

О. В. Непомнящий¹, А. И. Постников¹, В. В. Горева¹,
С. С. Варочкин²

¹Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация

²АО «Информационные спутниковые системы» им. академика М. Ф. Решетнёва,
г. Железногорск, Красноярский край, Российская Федерация

Рассмотрены способы организации сетевого взаимодействия бортовой аппаратуры космических аппаратов на основе стандарта SpaceWire. Предложена архитектура реконфигурируемого бортового комплекса управления. С целью обеспечения реконфигурируемости, программной настройки, универсальности и соответствия действующим международным и российским стандартам по эксплуатации космических аппаратов и бортовой аппаратуры в основу разрабатываемого бортового вычислительного комплекса положен магистрально-модульный принцип интеграции аппаратных средств. Это позволяет создать на борту единое информационное пространство на основе бортовой коммуникационной сети стандарта SpaceWire/SpaceWire-RUS. Основным вычислительным узлом комплекса является центральный процессорный модуль, а сетевая архитектура строится на основе маршрутизирующих сетевых коммутаторов. Это позволяет организовать модульное построение комплекса на основе принципа взаимозаменяемости аппаратных модулей, входящих в его состав. Такой подход позволяет выполнять интеграцию различного бортового оборудования в единую информационно-вычислительную систему на основе стандартных интерфейсов. Кроме того, за счет разработанного принципа организации бортовой сети обеспечен новый способ резервирования аппаратуры на борту КА – способ резервирования функциональности. Это позволяет снизить стоимость резервируемых модулей за счет использования меньшего числа дополнительных элементов, сделать из одного или комбинации нескольких модулей модуль с новой функциональностью или изменить функциональность модуля без физической перекоммутации линий передачи данных, обеспечить открытость технологии (отсутствие ограничений при выборе того или иного сегмента будущей сети), ее масштабируемость (когда добавление/удаление из системы составной части не приводит к доработке или переработке всей системы), повышенную пропускную способность каналов обмена, поддержку большого числа абонентов сети.

Ключевые слова: малый космический аппарат, бортовой комплекс управления, технология SpaceWire, сеть.

Введение

Особенностью разработки и изготовления архитектуры бортового комплекса управления (БКУ) на основе сетевых технологий является создание на космической платформе спутника такой

инфраструктуры передачи данных, которая позволяет легко дублировать основные компоненты сети, иметь несколько альтернативных путей передачи данных, масштабировать или модифицировать сеть под имеющееся оборудование на борту космического аппарата (КА).

Благодаря этому сетевая концепция в отличие от традиционного подхода позволяет добиться следующих преимуществ [1]:

- высокой надежности, сбое- и отказоустойчивости при приемлемом уровне затрат аппаратного резервирования;
- уменьшения массогабаритных показателей и потребляемой мощности;

© Непомнящий О. В., Постников А. И., Горева В. В., Варочкин С. С., 2017

* Работа выполнена при финансовой поддержке федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (код проекта 14.578.21.0021 RFMEFI57814X0021).

- унификации интерфейсов и каналов передачи данных;
- технико-экономических показателей, позволяющих отечественным КА конкурировать на глобальном рынке с лучшими мировыми аналогами.

Разработка БКУ на основе высокоэффективных информационно-управляющих бортовых сетей и модульной конструкции является актуальной практической задачей и проводится в рамках приоритетных направлений Стратегической программы исследований технологической платформы «Национальная информационная спутниковая система» (ТП НИСС) на 2012–2020 годы.

Наиболее перспективной сетевой технологией является сеть, выполненная на основе стандарта SpaceWire (ECSS-E-50-12C) Европейского космического агентства, разработанного специально для применения в управляющих сетях на борту КА [2]. Причины выбора SpaceWire для построения БКУ на основе сетевых технологий следующие:

- открытость технологии, что обеспечивает неограниченность при выборе того или иного сегмента будущей сети;
- масштабируемость технологии, добавление/удаление из системы составной части не приводит к доработке или переработке всей системы;
- высокая пропускная способность, что дает возможность применять технологию для обеспечения обмена с целевой аппаратурой, формирующей большие объемы данных;
- поддержка большого числа абонентов сети для применения на больших аппаратах;
- наличие элементной базы космического применения.

Помимо выпущенного зарубежного стандарта SpaceWire в настоящее время ведутся работы по созданию российского аналога SpaceWire-RUS, применение которого упростит производство оборудования, поддерживающего SpaceWire на отечественных предприятиях.

В российской космической отрасли развивать и внедрять технологию SpaceWire стратегически важно, поскольку она способствует обеспечению современных тактико-технических характеристик перспективных российских КА, конкурентоспособности на мировом рынке космических технологий и услуг, развитию международного сотрудничества в космической области с другими странами, совместности и унификации разработок аппаратуры КА российских предприятий.

Методы решения

В качестве примера рассмотрим различные варианты топологии сети на основе SpaceWire.

Архитектура БКУ с распределённой системой управления (PCY) показана на рис. 1.

Архитектура БКУ с централизованной системой управления (ЦСУ) показана на рис. 2.

Центральный модуль БКУ имеет другую структуру – функции контроллеров СОС, СЭП, СТР и центрального процессора выполняет ЦВМ.

В случае применения центрального модуля сеть SpaceWire является ячеистой (решетчатой), то есть сетью, в которой существуют узлы, соединенные между собой несколькими путями.

Бортовая аппаратура (БА), соединенная с центральным модулем БКУ через маршрутизаторы, является датчиками систем КА или исполнительными органами (ИО). Общее количество датчиков и ИО равно n .

Разбиение БА на группы с индексами $(1...m)$ и $(m + 1...n)$ производится в зависимости от ее пространственного положения на КА так, чтобы в одну группу, объединяемую в сеть SpaceWire маршрутизатором, входила бортовая аппаратура, расположенная на одной стороне КА. Такая структура сети SpaceWire позволяет сократить объем бортовой кабельной сети [3].

Число групп БА, каждая из которых объединяется маршрутизатором, зависит от общего количества n и от числа линков, подсоединяемых к одному маршрутизатору. Так, при большом числе БА количество групп БА следует увеличить в связи с ограниченным числом связей одного маршрутизатора SpaceWire. Стандарт ECSS-E-ST-50-12C ограничивает число портов маршрутизатора 32 (включая конфигурационный порт).

Как видно из рис. 1 и 2, отличия БКУ PCY и ЦСУ с ячеистой структурой сводятся к прошивке ПЛИС центрального модуля.

Каждая из приведенных схем имеет свои преимущества и недостатки относительно друг друга. Преимуществами PCY относительно ЦСУ являются быстроедействие и гибкость управления, однако это влечет за собой усложнение программирования ПЛИС центрального модуля [4–5].

В приведенных схемах БКУ маршрутизаторы SpaceWire играют роль концентраторов для датчиков и разделителей для исполнительных органов, обеспечивая сопряжение БА с центральным модулем БКУ и сокращая бортовую кабельную сеть. Каждый из этих маршрутизаторов резервирован. Однако существует возможность отказаться от их резервирования без потери надежности. Рассмотрим такую возможность на примере БКУ с ЦСУ (БКУ с ЦСУ модификация 1 – ЦСУ-М).

Схема, изображенная на рис. 3, имеет более высокие надежность и гибкость управления бортовой аппаратурой, меньшее число маршрутизаторов SpaceWire. Недостатком такой схемы является увеличение бортовой кабельной сети, что влечет за собой увеличение массы. Кроме того, применение данной схемы ограничено числом линков для одного маршрутизатора (максимум 31). Для снятия это-

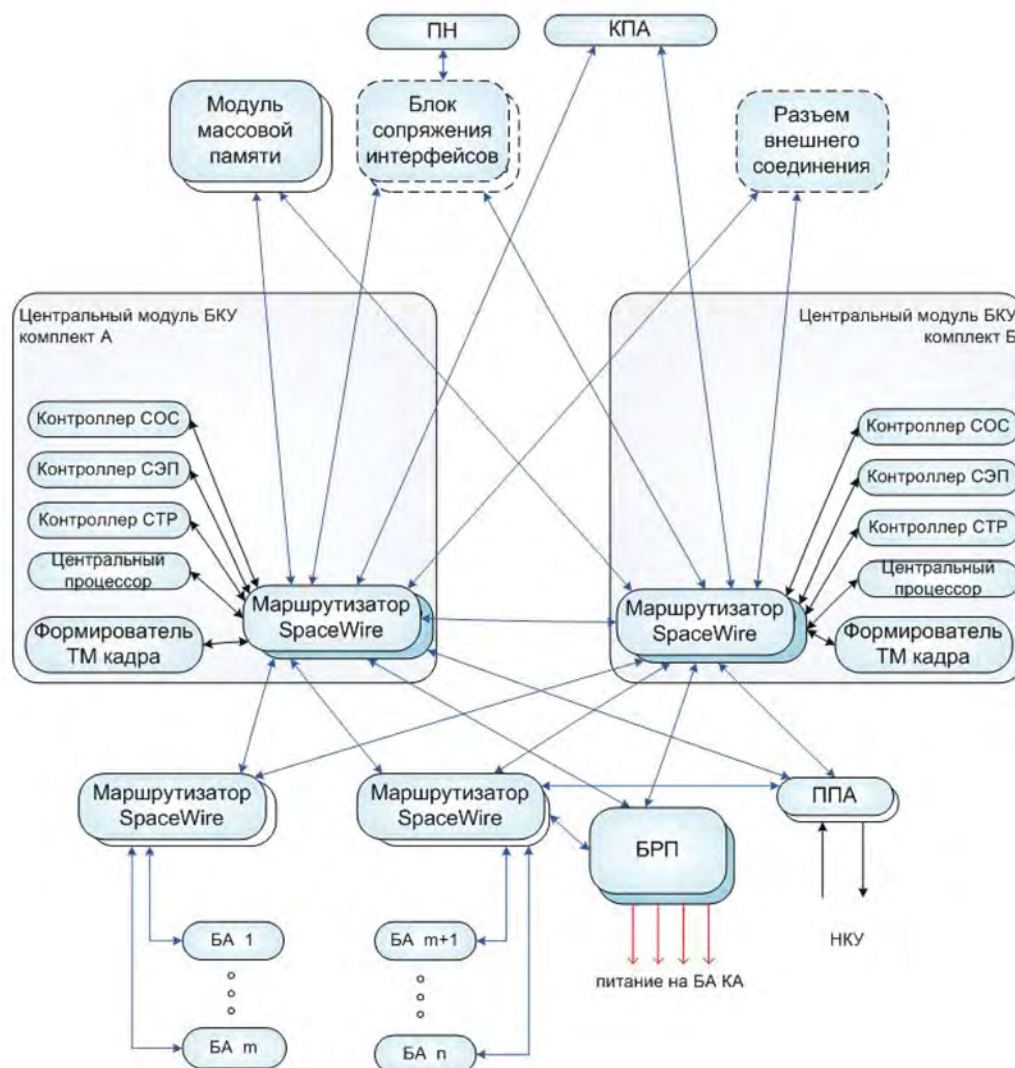


Рис. 1. Структурно-функциональная схема БКУ с PCU

го ограничения возникает необходимость наращивания сети за счет увеличения числа маршрутизаторов, играющих роль концентраторов данных.

Архитектура БКУ с кольцевой топологией показана на рис. 4. Кольцевая топология предполагает разбиение узлов сети на подгруппы по пространственному принципу: в одной группе находятся расположенные в одной части КА узлы. Число групп равно числу маршрутизаторов, соединенных между собой и расположенных по кольцу. В каждой группе все элементы подсоединяются к сети через два ближайших маршрутизатора.

Во всех рассмотренных схемах ядром БКУ является центральный модуль, располагающийся на одной плате ПЛИС. Такая реализация позволяет повысить быстродействие системы, уменьшить массу и снизить энергопотребление. Однако она имеет и существенные недостатки: крайне высокую сложность изготовления и, соответственно, высокую стоимость. Кроме того, встроенный маршрутизатор SpaceWire является для данной

платы точкой единичного отказа, для исключения чего необходимо использовать его резервирование на этой же плате, что еще больше повышает сложность и стоимость схемы.

Рассмотрим реализацию вычислительного ядра в виде нескольких микросхем. Структурно-функциональная схема БКУ с ЦСУ показана на рис. 5.

Теперь построим схему БКУ с кольцевой топологией сети на основе распределенной системы управления (рис. 6). Здесь вычислительное ядро состоит уже из отдельных микросхем контроллеров систем, центрального процессора и формирователя телеметрического кадра.

Как видно из рис. 5 и 6, распределенная структура управления без интеграции вычислительного ядра на одной схеме имеет большее число элементов и линий связи, чем централизованная. Это выражается в увеличении кабелей и размеров всей системы в целом. Поэтому при недоступности реализации вычислительного ядра на

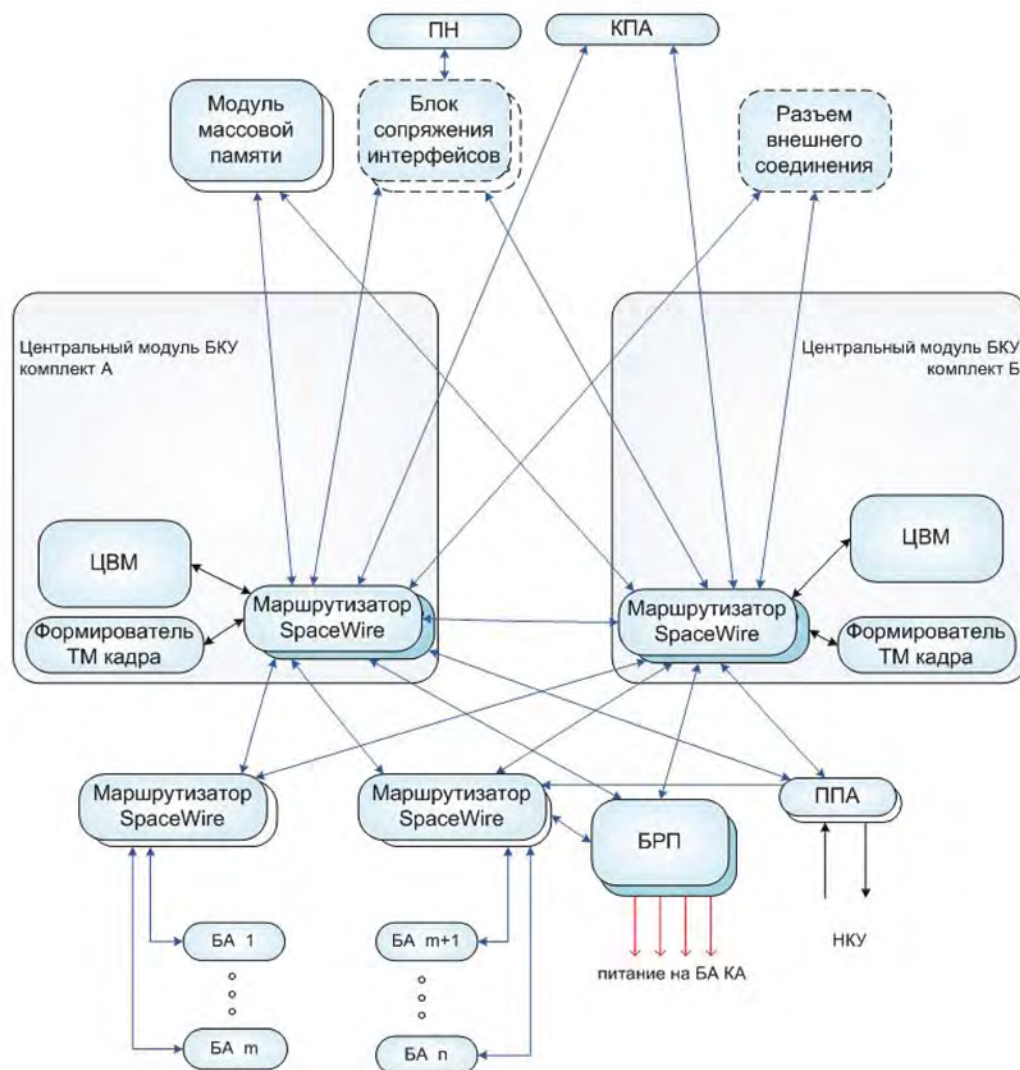


Рис. 2. Структурно-функциональная схема БКУ с ЦСУ

одной ПЛИС предпочтительнее централизованная система управления БКУ, где задачи управления системами КА реализуются в ЦВМ.

Наличие на борту стандартизированного интерфейса и скоростной сети передачи данных создает возможности упрощения интеграции полезной нагрузки и платформы КА. Существенно упрощается задача сбора телеметрической информации как с платформы, так и с полезной нагрузки за счет унифицированного единого механизма, использующего свойства и возможности сети. Кроме того, облегчается создание модульной структуры полезной нагрузки. Это особенно важно в том случае, когда не только платформу, но и КА в целом с использованием собственной платформы выпускают в условиях сокращения цикла производства КА.

Жесткая стандартизация интерфейсов и сетевых протоколов позволит перевести этап отладки сетевых соединений отдельных модулей с системой в целом со стадии сборки КА интегратором в монтажно-испытательном комплексе на

стадию разработки модуля, то есть в лабораторные условия.

Наличие реконфигурируемой сети на борту КА упрощает процедуру отладки аппарата из-за отсутствия необходимости перекоммутации разъемов на стенде [6]. Для решения большинства задач достаточно подсоединить одним-единственным разъемом внешние терминалы, рабочие места отладчиков, программные или аппаратные симуляторы посредством моста из локальной сети предприятия в бортовую сеть SpaceWire. Оптимизация внутренней структуры бортовой аппаратуры для решения конкретной прикладной задачи сводится к организации потоков данных в рамках единой бортовой сети путем программирования маршрутизаторов. Структура информационных потоков хорошо поддается моделированию и оптимизации средствами автоматизированного проектирования. Выбранное решение реализуется удаленно и практически мгновенно.

Возможность удаленной реконфигурации ресурсов КА остается и после его запуска, что по-

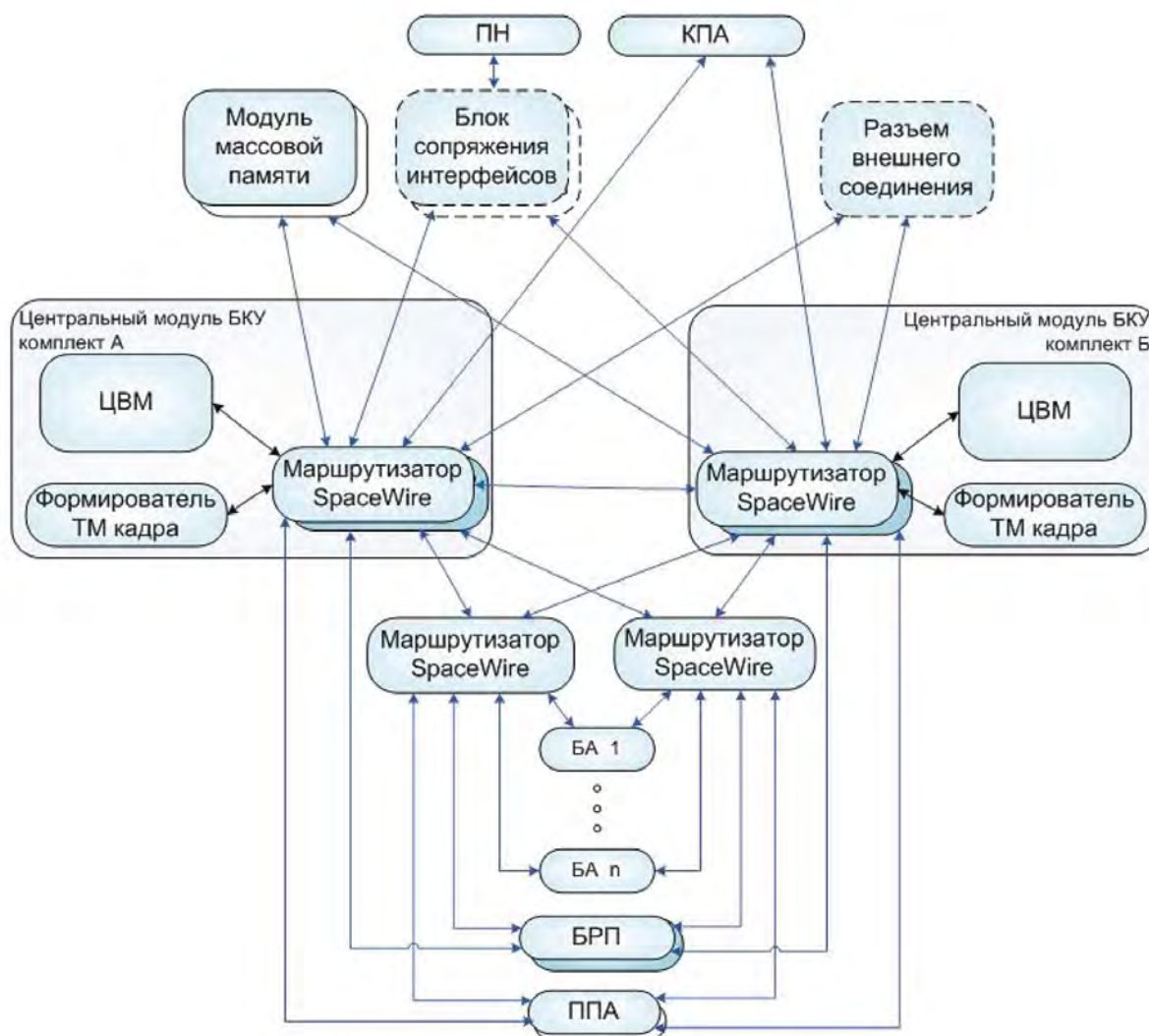


Рис. 3. Структурно-функциональная схема БКУ с ЦСУ-М

звояет в широких пределах изменять функциональность аппарата в зависимости от задач и, кроме того, повышает его «живучесть».

Все перечисленные факторы сокращают время, которое тратит производитель КА на подготовку решения, максимально удовлетворяющего заказчика, и, соответственно, повышают рыночную привлекательность его изделий и услуг.

Несмотря на преимущества использования сетевой архитектуры SpaceWire для БКУ и КА в целом, на сегодняшний день нет разработанных в России КА с использованием данной сетевой архитектуры.

Причины этого кроются в следующих факторах:

- консерватизм космической отрасли в целом;
- отсутствие российского стандарта SpaceWire;
- отсутствие лётной квалификации сети SpaceWire;
- внедрение технологии SpaceWire требует переделки оборудования, что сопряжено с дополнительными материальными затратами и техническими рисками;

- некоторые особенности технологии SpaceWire (дополнительное оборудование для организации сети, достаточно большая масса кабелей).

Данные факторы не позволяют создавать большие и дорогие КА для коммерческого или государственного заказчика с использованием сетевой архитектуры SpaceWire в качестве системообразующей сети.

Для выхода из этой ситуации мы видим два пути:

- внедрение на КА, создаваемых для государственного заказчика, сетевой архитектуры SpaceWire в качестве дополнительной (экспериментальной) сети для проведения её отработки и получения лётной квалификации;
- внедрение архитектуры SpaceWire в качестве системообразующей сети на малых КА, обладающих вновь разработанной аппаратурой, низкой стоимостью, малым сроком активного существования и чаще всего создаваемых в обучающих или экспериментальных целях.

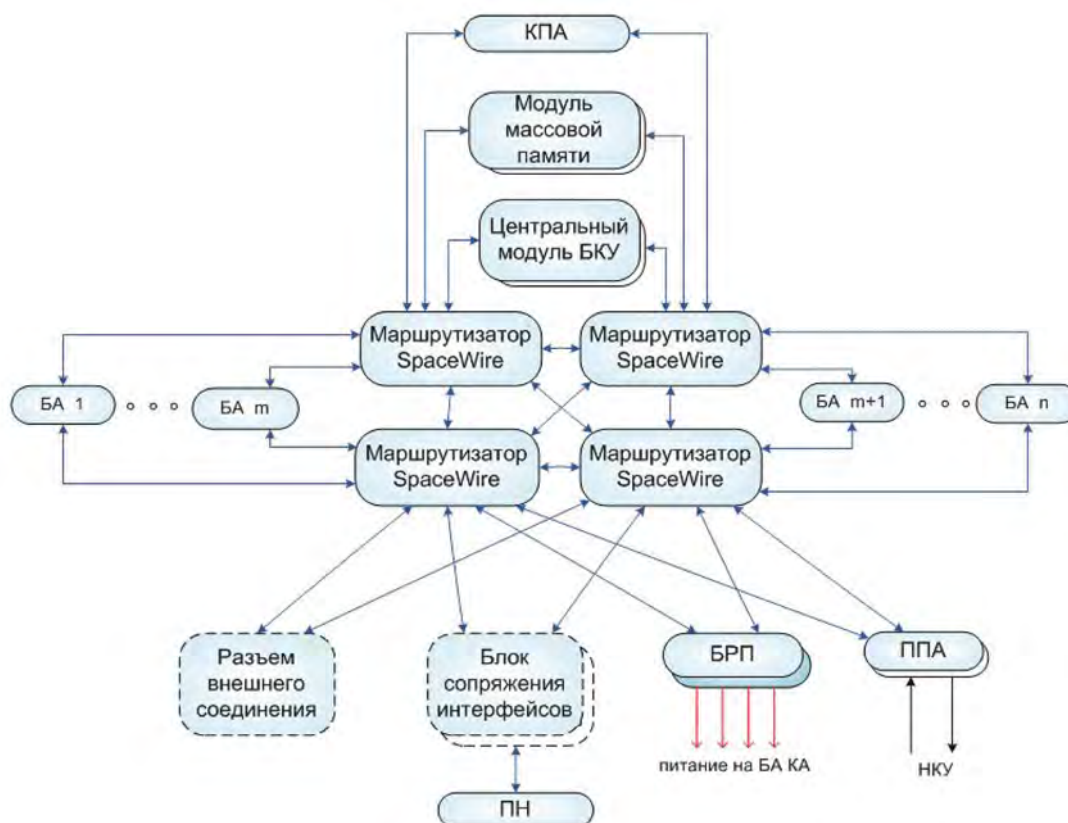


Рис. 4. Структурно-функциональная схема БКУ с кольцевой топологией

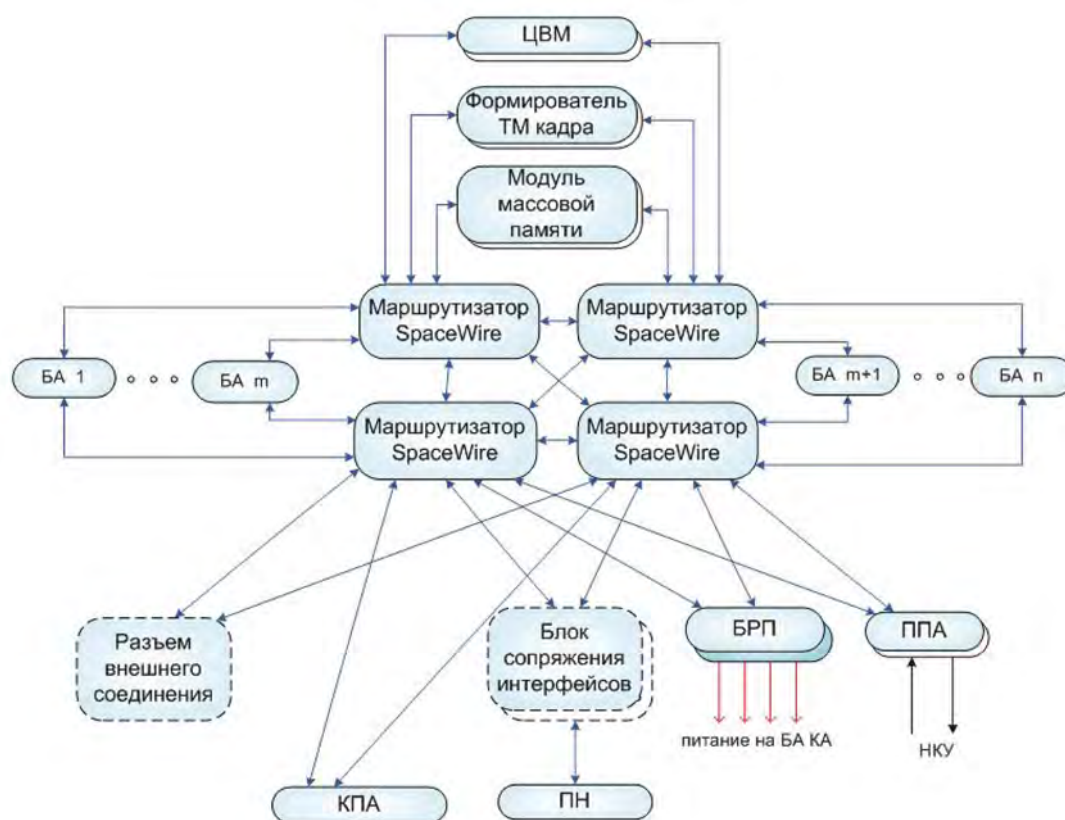


Рис. 5. Структурно-функциональная схема БКУ с кольцевой топологией сети на основе ЦСУ

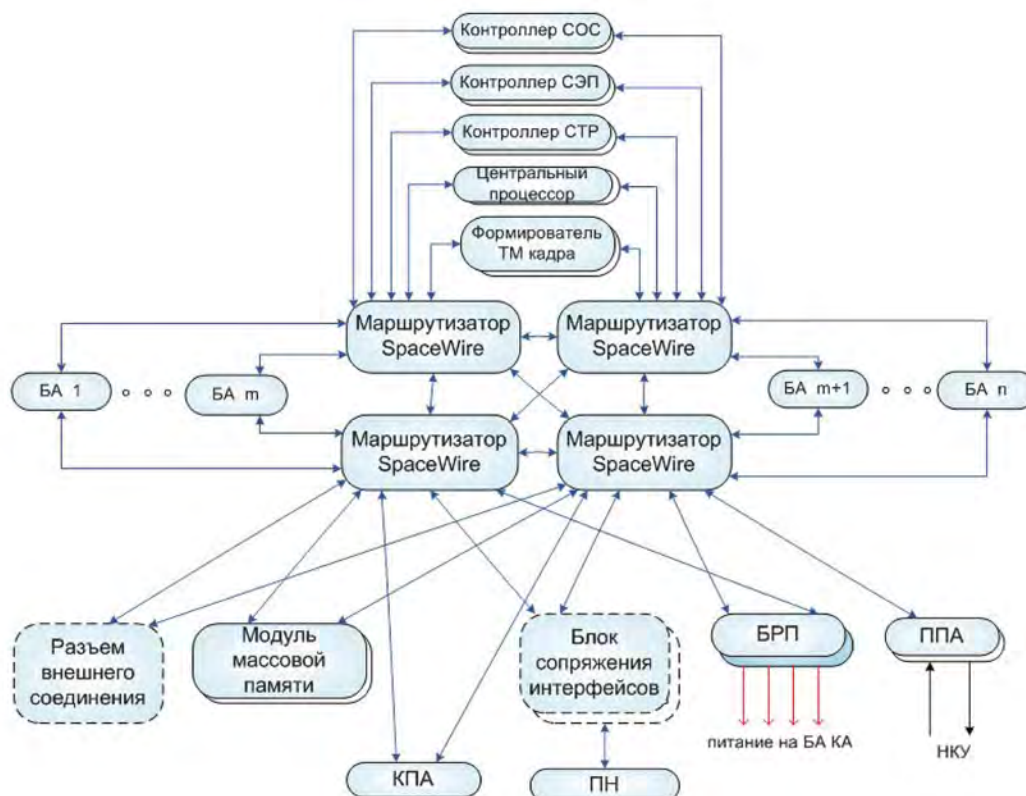


Рис. 6. Структурно-функциональная схема БКУ с кольцевой топологией сети на основе РСУ

Заключение

В настоящее время проект разработки БКУ для малых КА с использованием сетевой архитектуры находится в стадии НИОКР. Специалистами АО «ИСС» и ФГАОУ ВО «СФУ» разработано техническое задание на бортовой комплекс управления и изготавливается его экспериментальный образец.

В ближайшем будущем сетевая аппаратно-программная платформа БКУ станет основой

важнейшего функционального элемента унифицированной цифровой модульной космической платформы – интегрированной информационно-вычислительной среды, предоставляющей общий пул вычислительных, коммуникационных и информационных ресурсов с возможностью адаптивной реконфигурации под оперативные задачи, обеспечения отказоустойчивости и живучести КА на системном уровне.

Список литературы

1. Nepomnyashchy O.V., Legalov A. I., Sirotinina N. J. High-Level design flows for VLSI circuit // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2014. no. 6, pp. 674–684.
2. Непомнящий О. В., Вейсов Е. А., Правитель А. С. Однокристалльные системы с динамической реконфигурацией в радиоэлектронной аппаратуре специального назначения // Успехи современной радиоэлектроники. Зарубежная радиоэлектроника. 2014. № 5. С. 25–29.
3. Designing a single board computer for space using the most advanced processor and mitigation technologies / L. Longden, e.a. Maxwell Technologies, 2012. 17 p.
4. Шахматов А. В., Чекмарев С. А. Процессорный модуль типа «система на кристалле» для малого КА «ТаблетСат-Аврора» // Разработка, производство, испытания и эксплуатация космических аппаратов и систем : науч.-техн. конф. молодых специалистов ОАО «ИСС». 2014. С. 104–106.
5. Гришин В. Ю., Ракитин А. В., Костров В. В. Облик перспективного вычислительного комплекса космического базирования с гибкой архитектурой для обработки сигналов // Космическая радиолокация. 2013. С. 52–57.
6. Концепция создания бортового комплекса управления для малых космических аппаратов / В. Х. Ханов и др. // Вестник СибГАУ. 2012. № 5 (45). С. 144–149.

История статьи

Поступила в редакцию 4 октября 2016 г.

Принята к публикации 13 января 2017 г.

ARCHITECTURE OF ONBOARD CONTROL SYSTEM FOR SMALL SPACECRAFTS BASED ON NETWORK TECHNOLOGIES

O. V. Nepomnyashchy¹, A. I. Postnikov¹, V. V. Goreva¹, S. S. Varochkin²

¹Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

²JSC «Academician M. F. Reshetnev» Information Satellite Systems», Zheleznogorsk, Russian Federation

The methods of organizing the network interaction of onboard spacecraft equipment on the basis of SpaceWire standard are considered. The architecture of the reconfigurable onboard control complex is proposed. With the aim of ensuring reconfigurability, software customization, universality and satisfaction with the current international and Russian standards for the operation of spacecrafts and onboard equipment, the basis of the onboard computer system under development is the trunk-module principle of hardware integration. This allows to create on board a single information space based on the onboard communication network standard SpaceWire / SpaceWire-RUS. The main computing unit of the complex is a central processing unit, and the network architecture is built on the basis of routing network switches. This allows to organize a modular construction of the complex, based on the principle of interchangeability of the hardware modules included in its composition. This approach allows integration of various onboard equipment into a single information and computing system based on standard interfaces. In addition, due to the developed principle of the onboard network organization, a new method of reserving equipment onboard the spacecraft is provided – a way of reserving functionality. This allows reducing the cost of redundant modules by using fewer additional elements, making a module with new functionality from one or a combination of several modules, or changing the functionality of the module without physically rewiring the data lines, ensuring openness of the technology - no restrictions when choosing a segment of the future network, to ensure the scalability of the technology – when adding / removing from the system of the component does not lead to refinement or processing all the system, to provide increased bandwidth of exchange channels to provide exchange with target equipment, which generates large amounts of data, to provide support for a large number of subscribers of the network.

Keywords: small spacecraft, onboard control system, SpaceWire, network.

References

1. Nepomnyashchy O. V., Legalov A. I., Sirotinina N. J. High-Level Design Flows for VLSI circuit // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. Krasnoyarsk, 2014, no. 6, pp. 674–684.
2. Nepomnyashchy O. V., Veisov E. A., Pravitel A. S. *Odnokristal'nye sistemy s dinamicheskoy rekonfiguraciej v radioelektronnoj apparature special'nogo naznacheniya* [Single-chip systems with dynamic reconfiguration in special-purpose radioelectronic equipment]. Progress in modern radio electronics. Foreign radio electronics. 2014, no. 5, pp. 25–29. (In Russian).
3. Longden L., e.a. Designing a single board computer for space using the most advanced processor and mitigation technologies. Maxwell Technologies, 2012. 17 p.
4. Shakhmatov A.V., Chekmarev S.A. *Processornyj modul' tipa «sistema na kristalle» dlya malogo KA «TabletSat-Aurora»* [Processor module of the «system on a chip» type for a small spacecraft «TabletSat-Aurora»]. Development, production, testing and operation of space vehicles and systems: scientific and technical. Conf. Young specialists of JSC «ISS». 2014, pp. 104–106. (In Russian).
5. Grishin V. Yu., Rakitin A. V., Kostrov V. V. *Oblik perspektivnogo vychislitel'nogo kompleksa kosmicheskogo bazirovaniya s gibkoj arhitekturoj dlya obrabotki signalov* [The appearance of a perspective computing complex of space basing with a flexible architecture for signal processing]. Cosmic radar. 2013, pp. 52–57. (In Russian).
6. Khanov V. Kh., Shakhmatov A. V., Chekmaryov S. A., Vergazov M. Yu., Lukin F. A. *Koncepciya sozdaniya bortovogo kompleksa upravleniya dlya malyh kosmicheskikh apparatov* [The concept of creating an on-board control system for small space vehicles]. Bulletin of Siberian State University of Automation. 2012, no. 5 (45), pp. 144–149. (In Russian).

Article history

Received 4 October 2016

Accepted 13 January 2017

ИЗМЕРЕНИЕ РАЗНОСТИ ФАЗ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОДНОГО ГЕОСТАЦИОНАРНОГО ИСЗ

Ф. В. Овчинников, В. В. Сухотин

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация

В радиотехнических системах, таких как локация, навигация, пеленгация и радиоизмерения, очень широко используют разность фаз сигналов как первичный источник информации об объекте. В связи с этим множество исследователей, работающих в данных областях, находятся в поиске новых высокоточных методов измерения разности фаз сигналов на протяжении уже более 20 лет. В работе рассматривается возможность измерения разности фаз сигналов, принятых одновременно от одного источника радиоизлучения, применительно к задаче радиопеленгации с использованием спутниковых систем связи. Исследуются 2 функциональные схемы цифровых фазоизмерительных устройств. Дается описание каждого функционального блока, входящего в конкретную исследуемую модель. Исследуются зависимости погрешности измерения разности фаз при использовании цифровых методов измерения фазового сдвига от возможных источников погрешностей. Приводятся результаты моделирования на ЭВМ с учетом особенностей и погрешностей, вносимых каждым функциональным блоком. Проводится исследование на актуальность применения выбранного способа цифрового измерения разности фаз с учетом применения современных радиотехнических средств. Делаются выводы о возможности измерения разности фаз сигналов, принятых в различные моменты времени. Говорится о продолжении работ, связанных с измерением разности фаз сигналов с присутствием шумов, усреднением по нескольким периодам с целью повышения точности, а также учетом траектории движения искусственного спутника Земли.

Ключевые слова: фазовый сдвиг, радиопеленгация, цифровой измеритель разности фаз, погрешность косвенных измерений, программное моделирование, система спутниковой связи, геостационарный ИСЗ.

Решение многих задач радиотехники опирается на измерение фазового сдвига (ФС) двух сигналов. Фазовые соотношения используются в космической навигации для определения дальности до космических аппаратов (КА), координат КА, а также в радиопеленгации для определения координат источника радиоизлучения на поверхности Земли при помощи искусственных спутников [1–3].

Развитие радиоэлектронных компонентов и радиоэлектронных средств стимулирует развитие фазоизмерительной техники, повышая требования к точности измерений. В то же время развитие радиотехнических систем приводит к необходимости создания более совершенной измерительной аппаратуры и метрологической базы. Все это требует опережающего развития фазоизмерительной техники.

Существует множество методов измерения разности фаз сигналов, возьмём один из описанных в [4–6] и промоделируем.

Разработанная и исследуемая модель цифрового измерителя разности фаз представляет собой устройство, показанное на рис. 1.

Устройство имеет два входа. На вход 1 подается синусоидальное напряжение с известной частотой и неизвестной начальной фазой. Аналоговый сигнал $S(t)$ оцифровывается на аналого-цифровом преобразователе с частотой выборки, задающейся частотой кварцевого генератора. Блок измерения периода осуществляет измерение периода входного аналогового сигнала $S(t)$ методом дискретного счета. Сигнал с перестраиваемого по частоте опорного генератора ОГ проходит на опорный вход измерителя – вход 2 и направляется напрямую на блок цифровой обработки (подстройка ОГ может производиться точно под частоту аналогового сигнала при однополупериодном

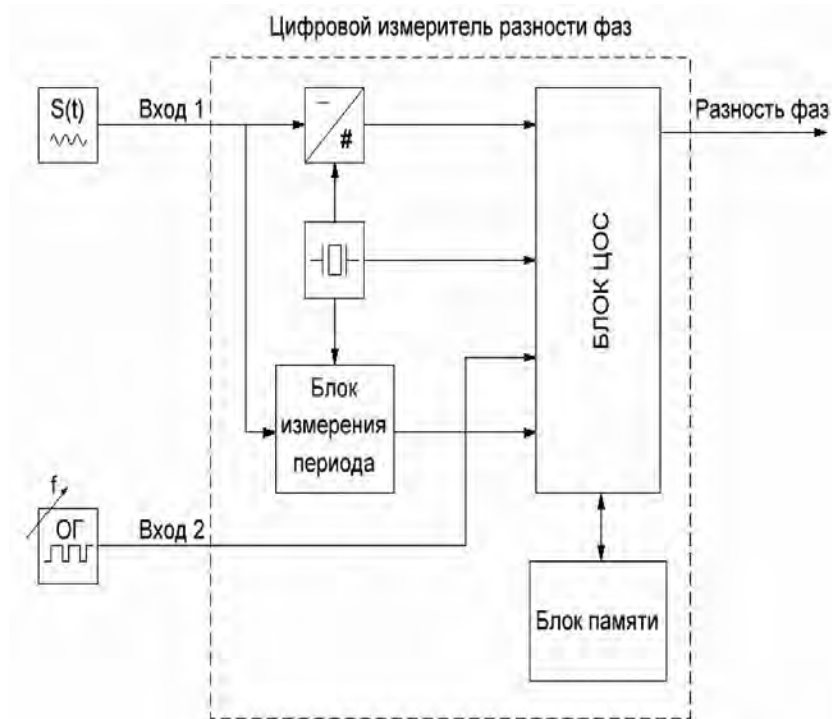


Рис. 1. Исследуемое устройство

измерении или под удвоенную частоту аналогового сигнала при двухполупериодном измерении). Классическая схема реализации данного фазометра подразумевает наличие опорного и измеряемого сигналов на обоих входах измерительного устройства.

Разность фаз двух сигналов рассчитывается согласно следующему выражению [4]:

$$\phi = \frac{360^\circ \cdot t_\phi}{T}, \quad (1)$$

где t_ϕ – временной сдвиг сигналов; T – период сигнала.

Теперь определим величину погрешности измерения фазового сдвига, определяющуюся двумя компонентами: погрешностью измерения величины t_ϕ – временного сдвига сигналов и погрешностью измерения периода сигнала как погрешностью косвенных измерений [7]. Для погрешности измерения ФС будем иметь следующее выражение:

$$\begin{aligned} \Delta\phi &= \sqrt{\left(\frac{d\phi}{dt_\phi} \cdot \Delta t_\phi\right)^2 + \left(\frac{d\phi}{dT} \cdot \Delta T\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{360^\circ}{T} \cdot \Delta t_\phi\right)^2 + \left(\frac{360^\circ \cdot t_\phi}{T^2} \cdot \Delta T\right)^2}, \quad (2) \end{aligned}$$

где Δt_ϕ – абсолютная погрешность измерения временного сдвига сигналов; ΔT – абсолютная погрешность измерения периода сигнала.

Значение t_ϕ можно определить измерив координаты перехода аналогового сигнала через нулевой уровень «снизу-вверх» или «сверху-вниз» (рис. 1). Тогда:

$$t_\phi = t_1 - t_2, \quad (3)$$

где t_1 – координата перехода через ноль (например, снизу-вверх) измеряемого сигнала; t_2 – координата времени по заднему или переднему фронту импульса ОГ.

Исходя из формул (1) и (3), для разности фаз получим выражение

$$\phi = \frac{360^\circ \cdot (t_1 - t_2)}{T}. \quad (4)$$

С учетом формулы (4) формула (2) видоизменится, и для вычисления погрешности измерения фазового сдвига получим уже несколько иную формулу:

$$\begin{aligned} \Delta\phi &= \sqrt{\left(\frac{d\phi}{dt_1} \cdot \Delta t_1\right)^2 + \left(-\frac{d\phi}{dt_2} \cdot \Delta t_2\right)^2 + \left(\frac{d\phi}{dT} \cdot \Delta T\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{360^\circ \cdot \Delta t_1}{T}\right)^2 + \left(\frac{360^\circ \cdot \Delta t_2}{T}\right)^2 + \left(\frac{360^\circ \cdot t_\phi \cdot \Delta T}{T^2}\right)^2}, \quad (5) \end{aligned}$$

где Δt_1 – абсолютная погрешность координаты перехода через ноль измеряемого сигнала; Δt_2 – абсолютная погрешность координаты времени по заднему или переднему фронту импульса опорного генератора.

Величины Δt_1 , ΔT зависят от построения модели и в данном случае определяются периодом дискретизации, так как АЦП и блок измерения периода тактируются одним высокостабильным кварцевым генератором. Величина Δt_2 определяется периодом сигнала и абсолютной нестабильностью частоты Δf опорного генератора.

Реально достижимые величины частот дискретизации АЦП, выпускаемых компанией Analog Devices Inc для высокоскоростных АЦП, лежат в пределах до 1–2 ГГц [8]. Выбор частоты дискретизации определяется частотой входного сигнала. Для грубого определения разности фаз необходимо, чтобы частота дискретизации превышала частоту сигнала в 500 раз и более [1]. Абсолютная нестабильность частоты высокостабильных генераторов фирмы Epson может достигать 20–30 Гц при синтезируемых частотах порядка десятков МГц [9].

Для построения графиков зависимости погрешности измерения разности фаз от возможных источников погрешностей по умолчанию были выбраны:

- 1) измеряемая задержка $t_\phi = 1$ нс;
- 2) период дискретизации, определяющий величины Δt_1 , ΔT , равный 500 МГц;
- 3) нестабильность частоты опорного генератора, определяющая величину Δt_2 , равную $\Delta f = 20$ Гц;
- 4) частота сигнала, заданная на уровне 1 МГц, что в 500 раз ниже частоты дискретизации.

Кроме того, при моделировании не учитывались шумы и использовался один период колебания для измерения.

В результате расчетов в системе MATLAB были построены графики зависимости погрешности измерения разности фаз от значений абсолютных отклонений величин, входящих в формулу (5).

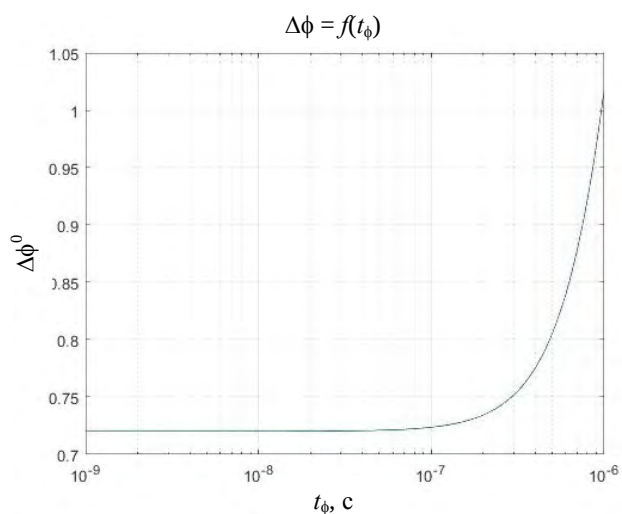


Рис. 2. График зависимости погрешности измерения разности фаз от величины измеряемой задержки

Анализ данного графика (рис. 2) четко показывает, что при выбранных константных параметрах, описанных выше, величина измеряемой задержки начинает вносить заметный вклад при приближении её к величине порядка 100 нс. То есть при величинах измеряемой задержки, меньших 100 нс, величина погрешности, вносимая компонентой t_ϕ , почти не влияет на результирующую погрешность.

Существенное влияние, во многом определяющее погрешность измерения разности фаз, вносит выбор частоты дискретизации и частоты сигнала. Зависимость погрешности измерения разности фаз от выбора периода сигнала при частоте дискретизации 500 МГц показана на рис. 3. График зависимости погрешности измерения разности фаз от величины, обратной частоте дискретизации при частоте сигнала 1 МГц, приведен на рис. 4. На графиках видно, что при увеличении периода сигнала при постоянном значении частоты дискретизации погрешность измерения разности фаз падает. При уменьшении же частоты дискретизации погрешность измерения разности фаз падает.

Рассматривая график, показанный на рис. 5, можно сделать вывод о том, что помимо выбора частоты сигнала и частоты дискретизации следует соблюдать необходимую точность при измерении периода сигнала, так как при точности измерения менее семи знаков после запятой наблюдается заметный рост результирующей погрешности (при прочих константных параметрах).

В целях большей информативности построим график $\Delta\phi = g(\Delta f)$ при условии того, что $\Delta t_2 = h(\Delta f)$. Погрешность измерения разности фаз при увеличении абсолютной нестабильности частоты опорного генератора растет, но для того,

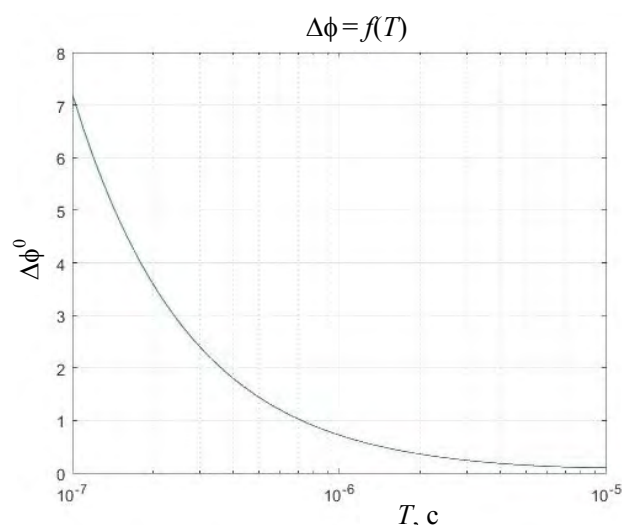


Рис. 3. График зависимости погрешности измерения фазы от периода сигнала

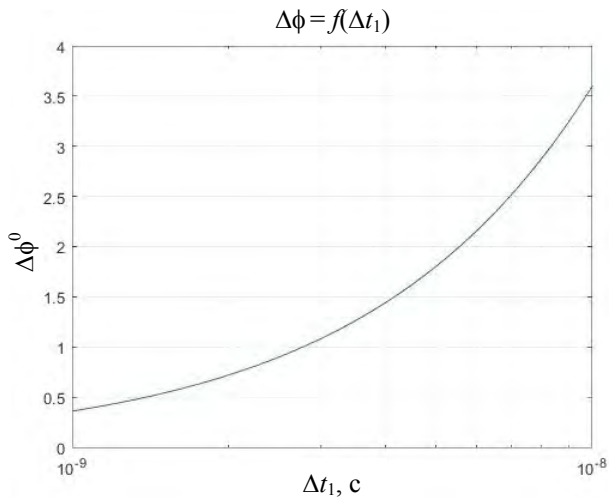


Рис. 4. График зависимости погрешности измерения фазы от погрешности координаты перехода через ноль измеряемого сигнала

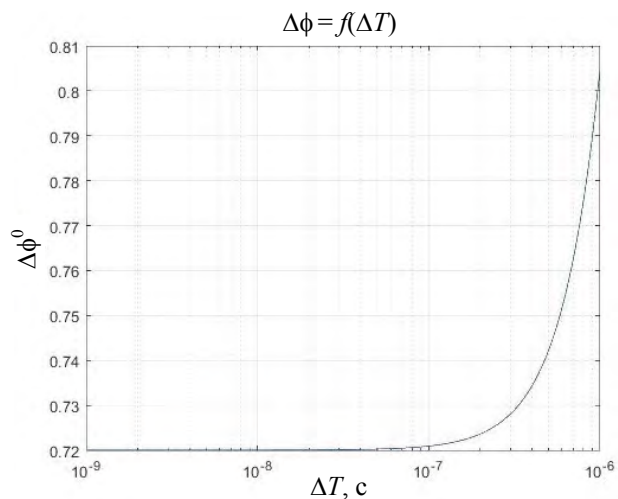


Рис. 5. График зависимости погрешности измерения фазы от погрешности измерения периода сигнала

чтобы она сравнивалась с погрешностью, вносимой выбором частоты сигнала или частоты дискретизации, необходимо, чтобы нестабильность частоты опорного генератора достигала 1000 Гц. При абсолютной нестабильности частоты 1000 Гц и частоте сигнала 1 МГц относительная нестабильность частоты такого генератора будет равняться 0,1 %, в то время как относительная нестабильность частоты генераторов прилично ниже и измеряется 10^{-4} – 10^{-5} %.

Исследуя полученные графики зависимости погрешности измерения разности фаз от различных параметров, входящих в формулу (5), можно сказать, что определяющее влияние на погрешность измерения ФС в данной модели оказывает выбор частоты дискретизации и периода измеряемого сигнала. Влияние величины измеряемой задержки t_{ϕ} несущественно при измерении времени задержки менее 100 нс. Влияние погрешности измерения периода T пренебрежимо мало при измерении периода с точностью более семи цифр после запятой. Нестабильность частоты опорного генератора вносит незначительный вклад в погрешность измерения разности фаз, если ее порядок 10^{-6} – 10^{-7} .

Рассмотрим описанный выше измеритель разности фаз применительно к ситуации, когда опорный сигнал и сигнал с измеряемой фазой поступают на вход измерителя одновременно. На практике данную задачу необходимо решать при определении координат земной спутниковой станции, используя при этом только один геостационарный спутник [4, 6, 9]. Опорный и измеряемый сигналы в данном случае принимаются одновременно и в течение определенного заданного промежутка времени.

При такой реализации измерения разности фаз функциональная схема будет выглядеть согласно рис. 7.

Сигнал, пришедший в момент времени t' , оцифровывается и запоминается в памяти. Далее, когда в момент времени t'' на вход фазометра поступает сигнал от того же источника с неизвестной частотой и фазой, отсчеты сигнала, оцифрованного ранее, выступают в роли опорного сигнала. Измерение разности фаз в данном случае происходит в цифровой форме. Сдвиг сигнала по фазе осуществляется в аналоговой форме перед оцифровкой. Фазовый сдвиг будет определяться похожим с (4) выражением

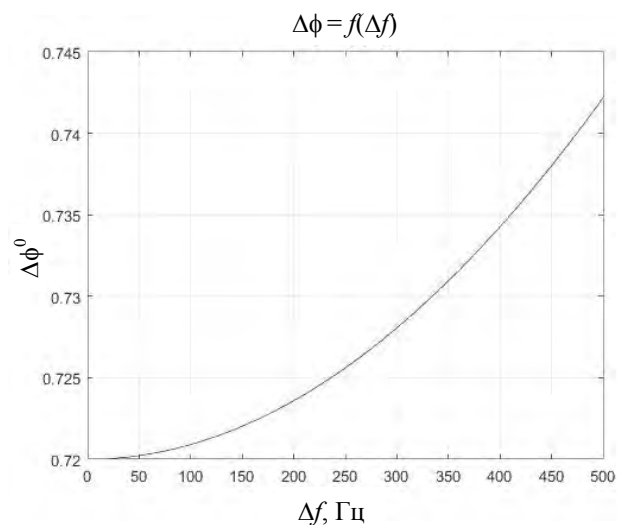


Рис. 6. График зависимости результирующей погрешности измерения разности фаз от нестабильности частоты опорного генератора

$$\phi = \frac{360^\circ \cdot (t_1' - t_2'')}{T_1} = \frac{360^\circ \cdot t_1'}{T_1} - \frac{360^\circ \cdot t_2''}{T_2}, \quad (6)$$

где T_1 – период сигнала, принятого в момент времени t_1' ; T_2 – период сигнала, принятого в момент времени t_2'' ; t_1' – координата перехода через ноль сигнала, принятого в момент времени t_1' ; t_2'' – координата перехода через ноль сигнала, принятого в момент времени t_2'' . Однако погрешность в данном случае будет иметь уже несколько другое выражение в связи с разновременным приемом сигналов:

$$\Delta\phi = \sqrt{\left(\frac{d\phi}{dt_1} \cdot \Delta t_1'\right)^2 + \left(-\frac{d\phi}{dt_2} \cdot \Delta t_2''\right)^2 + \left(\frac{d\phi}{dT_1} \cdot \Delta T_1\right)^2 + \left(\frac{d\phi}{dT_2} \cdot \Delta T_2\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{360^\circ \cdot \Delta t_1'}{T_1}\right)^2 + \left(\frac{360^\circ \cdot \Delta t_2''}{T_2}\right)^2 + \left(\frac{360^\circ \cdot t_1' \cdot \Delta T_1}{T_1^2}\right)^2 + \left(\frac{360^\circ \cdot t_2'' \cdot \Delta T_2}{T_2^2}\right)^2}. \quad (7)$$

В данном случае величины $\Delta t_1'$ и $\Delta t_2''$ являются абсолютными погрешностями измерения времени перехода через ноль первого и второго сигналов, принятых разновременно.

В формуле 7 появляются величины t_1' и t_2'' вместо величины t_0 , которые определяются согласно выражениям (8) и (9):

$$t_1' = t' + t_{31} + \frac{T_1}{2}, \quad (8)$$

$$t_2'' = t' + t_{\text{сп}} + t_{32} + \frac{T_2}{2}, \quad (9)$$

где $t_{\text{сп}}$ – время передвижения спутника, t_{31} и t_{32} – время распространения сигналов от спутника к станции.

В рамках проведения измерений можно будет искусственно занулить t_1' , исключая все известные задержки (время движения спутника, аппаратные задержки и др.), и, полагая, что периоды обоих сигналов равны $T_1 = T_2 = T$, по аналогии с (4) t_1' будет равно времени t_2'' , т.е. времени смещения одного сигнала относительно другого из-за прохождения сигналами разных расстояний ввиду смещения спутника на орбите. В связи с таким подходом формула (7) примет следующий вид:

$$\Delta\phi = \sqrt{\left(\frac{360^\circ \cdot \Delta t_1'}{T}\right)^2 + \left(\frac{360^\circ \cdot \Delta t_2''}{T}\right)^2 + \left(\frac{360^\circ \cdot t_2'' \cdot \Delta T_2}{T^2}\right)^2}. \quad (10)$$

Отличие данной формулы (10) от формулы (5) состоит в том, что величина $\Delta t_2''$ в отличие от величины Δt_2 из формулы (5) зависит от периода дискретизации t_0 , т.е. ошибка измерения времени перехода через ноль опорного сигнала становится намного больше, нежели для схемы с опорным генератором (рис. 1).

Для данной схемы построим графики зависимостей погрешности измерения разности фаз от величин, входящих в формулу (10), при выборе тех же константных параметров частоты дискретизации, периода сигнала и измеряемой задержки.



Рис. 7. Цифровой измеритель разности фаз при разновременном приеме сигналов

По результатам исследования можно сделать следующие выводы: при применении современных радиотехнических средств возможно измерять разность фаз сигналов, принятых разновременно в фиксированные промежутки времени от одного источника радиоизлучения с определенными ограничениями. При реализации данного способа измерения разности фаз сигналов следует обращать пристальное внимание на выбор частоты дискретизации, превышающей частоту сигнала в 500 раз и более. Помимо этого необходимо предъявлять особые требования к точности измерения периодов принимаемых сигналов (точность измерения должна достигать 7 и более знаков после запятой). Также весомое влияние на погрешность измерения разности фаз оказывают большие измеряемые времена задержки. Минимизация погрешности, вносимой дан-

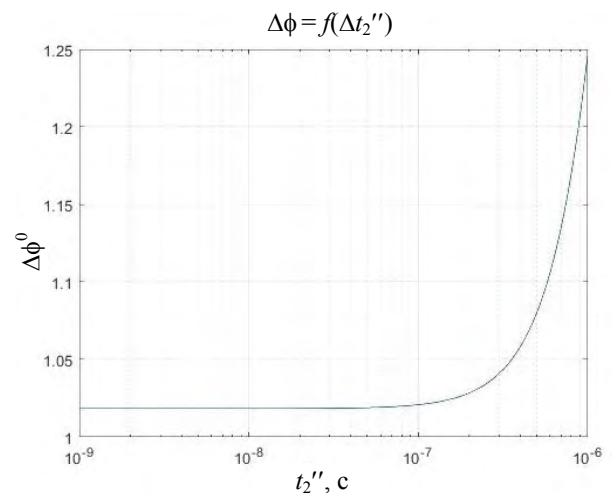


Рис. 8. График зависимости погрешности измерения разности фаз от измеряемой задержки при разновременном приеме сигналов

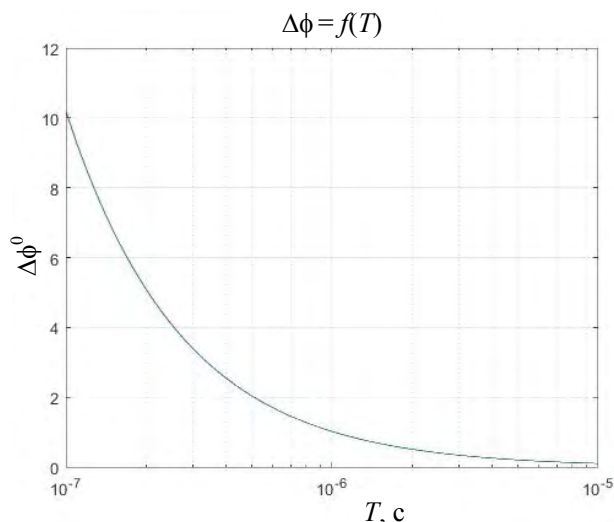


Рис. 9. График зависимости погрешности измерения разности фаз от периода сигнала при разновременном приеме сигналов

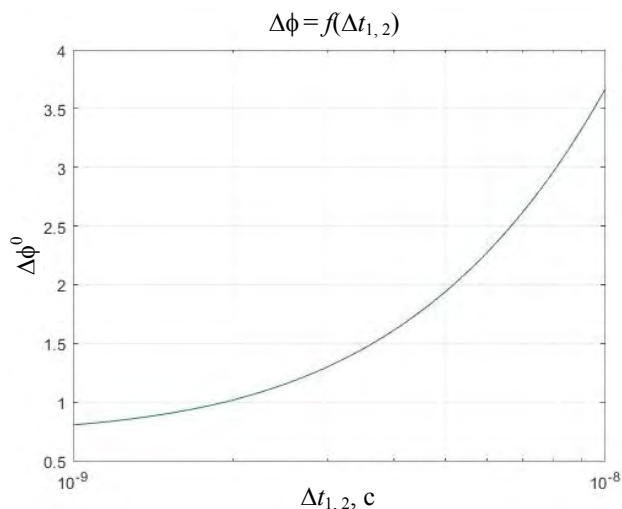


Рис. 11. График зависимости погрешности измерения разности фаз от погрешности измерения перехода сигнала через нулевой уровень при разновременном приеме сигналов

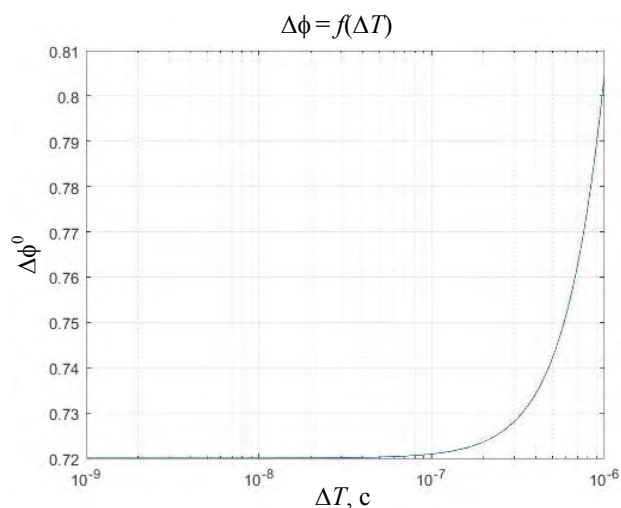


Рис. 10. График зависимости погрешности измерения разности фаз от погрешности измерения периода сигнала при разновременном приеме сигналов

ным компонентом, реализуется при измерении задержек, меньших 100 нс. При условии минимизации погрешностей, вносимых величинами измеряемой задержки и погрешностью измерения периода сигнала, суммарная погрешность будет приблизительно

в $\sqrt{2}$ раз больше, чем при классической реализации цифрового измерителя разности фаз, когда на входы измерителя подаются опорный сигнал и сигнал с измеряемой фазой. Однако если абсолютное отклонение частоты опорного генератора велико, то возможна ситуация, когда $f_0 \approx \frac{1}{T^2 \cdot \Delta f}$, тогда обе схемы будут давать близкую по значению результирующую погрешность измерения разности фаз.

Продолжением работ является измерение разности фаз сигнала с присутствием шумов, усреднением по нескольким периодам с целью повышения точности, а также учетом траектории движения спутника.

Исследование выполнено при поддержке краевого государственного автономного учреждения «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках реализации проекта «Подготовка к внедрению программно-аппаратного комплекса для автоматизации испытаний бортовой аппаратуры командно-измерительной системы в АО "ИСС"».

Список литературы

1. Камышникова А. С., Зубов Т. А., Сухотин В. В. Измерение разности фаз при радиопеленгации в системах спутниковой связи // Сборник трудов конференции «Современные проблемы радиоэлектроники», 2016.
2. Калашникова А. С., Сухотин В. В., Адмаев О. В., Смольников Е. О. Метод определения координат радиопередатчика с использованием геостационарного ИСЗ // Успехи современной радиоэлектроники. М. : Радиотехника, 2015. № 10.

3. Савин А. А., Тисленко В. И. Оптимальная фильтрация координат наземного источника излучения в однопозиционной космической системе при неоднозначных фазовых измерениях // Инновации в радиотехнических информационно-телекоммуникационных технологиях : сб. докл. юбил. НТК, посв. 60-летию ОАО «РТИ им. ак. А. Л. Минца» и факультета радиоэлектроники летательных аппаратов. Ч. 2. М. : МАИ, 2006. С. 70–81.
4. Чмых М. К. Цифровая фазометрия. М. : Радио и связь, 1993.
5. Христофоров А. В., Сайкин К. С. Методы измерения разности фаз электрических колебаний : учеб.-метод. пособие к спец. лабораторному практикуму для студентов старших курсов и магистрантов кафедр радиофизического направления. Казань : Изд-во Казан. гос. ун-та, 2006. 26 с.
6. Квочкин А. И., Никитин А. В., Игнатьев В. К. Параметрический метод измерения разности фаз квазигармонических сигналов // Инженерный вестник Дона. 2013. Т. 26, № 3 (26).
7. Попов Е. А., Успенская Г. И. Статистическая обработка результатов измерений в лабораторном практикуме. Н. Новгород, 2015.
8. Analog Devices [Электронный ресурс]. URL: <http://www.analog.com> (дата обращения: 19.04.2017).
9. Epson [Электронный ресурс]. URL: <http://www5.epsondevice.com/en/> (дата обращения: 19.04.2017).

История статьи

Поступила в редакцию 20 апреля 2017 г.

Принята к публикации 10 мая 2017 г.

MEASUREMENT OF A DIFFERENCE PHASES OF SIGNALS IN SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS WITH USE OF ONE GEOSTATIONARY ARTIFICIAL EARTH SATELLITE

F. V. Ovchinnikov, V. V. Sukhotin

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

In radio systems, such locations, navigation, direction finding and radio measurements, the phase difference of signals is widely used as the primary source of information about the object. In this connection, the great numbers of the researchers working in these areas are in search of new high-precision methods of measurement of a difference phases of signals on an extent more than 20 years. The possibility of measurement of a difference phases of the signals received in various time points from one source of a radio emission in relation to a problem of radio direction finding with use of satellite communication systems is considered. Two function charts digital the phases measuring of devices are investigated. The description of each functional block entering the studied model is given. Dependences of an error of measurement of a difference phases when using digital methods of measurement phase shift from possible sources of errors are investigated. Results of modeling on the computer taking into account the features and errors brought by each functional block are given. The research on relevance of application of the chosen way of digital measurement of a difference phases, taking into account application of modern radio engineering means is conducted. Conclusions about the possibility of measuring the phase difference of signals received at different instants of time are drawn. It is told about continuation of the works connected with measurement of a difference phases of signals with presence of noise, averaging on several periods for the purpose of increase in accuracy and also the accounting of a trajectory of the movement of the satellite.

Keywords: phase shift, radio direction finding, digital measuring instrument of a difference phases, error of indirect measurements, program modeling, satellite communication system, geostationary satellite.

References

1. Kamyshnikova A. S., Zubov T. A., Sukhotin V. V. *Izmerenie raznosti faz pri radiopelengacii v sistemah sputnikovoj svyazi* [Measurement of a difference phases at radio direction finding in satellite communication systems] [Proceedings of the Modern Problems of Radio Electronics conference]. Moscow, 2016. (In Russian).
2. Kalashnikova A. S., Sukhotin V. V., Admayev O. V., Smolnikov E. O. *Metod opredeleniya koordinat radiopredatchika s ispol'zovaniem geostacionarnogo ISZ* [Method of determination coordinates of a radio transmitter with use of the geostationary satellite] / Achievements of modern radio electronics. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2015, no. 10. (In Russian).
3. Savin A. A., Tislenko V. I. An optimum filtration of coordinates of a land-based source of radiation in one-position space system at ambiguous phase measurements. *Innovations in radio engineering information and telecommunication*

- technologies: [proceedings NTK to the 60 anniversary of JSC RTI im. ak. A.L. Mintsa and faculty of radio electronics of aircraft. (Part 2)].* Moscow, MAI Publ., 2006, pp. 70–81. (In Russian).
4. Chmykh M. K. *Cifrovaya fazometriya* [Digital phaseometry]. Moscow, Radio and communication Publ., 1993. (In Russian).
 5. Hristoforov A. V., Saykin K. S. *Metody izmereniya raznosti faz ehlektricheskikh kolebanij* [Methods of measurement of a difference phases of electric fluctuations]. An educational and methodical grant to a special laboratory practical work for students of older years and undergraduates of departments of the radio physical direction. Kazan, Kazan state university, 2006, 26 p. (In Russian).
 6. Kvochkin A. I., Nikitin A. V., Ignatyev V. K. *Parametricheskij metod izmereniya raznosti faz kvazigarmonicheskikh signalov* [The parametrical method of measurement of a difference phases of quasiharmonious signals] / The Engineering bulletin of Don, 2013, vol. 26, no. 3(26). (In Russian).
 7. Popov E. A., Uspenskaya G. I. *Statisticheskaya obrabotka rezul'tatov izmerenij v laboratornom praktikume* [Statistical processing results of measurements in a laboratory practical work]. Nizhny Novgorod, 2015. (In Russian).
 8. Analog Devices. URL: <http://www.analog.com>
 9. Epson. URL: <http://www5.epsondevice.com/en/>

Article history

Received 20 April 2017

Accepted 10 May 2017

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ: ВОПРОСЫ ВЫЯВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

**Е. А. Морозов¹, Ю. В. Вилков¹, А. Н. Киселёва¹,
В. В. Двирный¹, Г. Г. Крушенко^{2, 3}**

¹АО «Информационные спутниковые системы» им. академика М. Ф. Решетнёва»,
г. Железногорск, Красноярский край, Российская Федерация

²Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск, Российская Федерация

³Сибирский государственный университет науки и технологий
им. академика М. Ф. Решетнёва, г. Красноярск, Российская Федерация

Проведение научно-исследовательских работ, которые являются локомотивом деятельности наукоёмких предприятий, невозможно без анализа научно-технической информации. Производство современной конкурентоспособной продукции основано на постоянных научных исследованиях, ориентированных на долгосрочную перспективу. Поэтому так важно использовать системный подход к анализу научно-технической информации, который позволяет не только выявить научно-технический задел, созданный в заданной области научно-технического и инженерного поиска, но и обозначить контуры предполагаемых решений, определить технические решения, способные к последующей защите в виде объектов интеллектуальной собственности. В статье обозначены проблемы сохранения и развития интеллектуальной базы предприятий космической отрасли. Предложен путь решения – разработка комплекса эффективных мер, направленных на повышение системы информационно-аналитического обеспечения. Рассмотрена одна из задач, помогающих решить вышеуказанную проблему, – отбор перспективных технических решений, и предложено решение данной задачи методом кластеризации, относящимся к интеллектуальному анализу данных. Научная новизна заключается в использовании кластеризации в новой для данного метода сфере – в космической отрасли при отборе перспективных технических решений. Перечислены основные этапы реализации метода кластеризации на примере акционерного общества «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва». Разработанный и апробированный на практике метод кластеризации для отбора перспективных технических решений позволит решить одну из задач глобальной цели, стоящей перед предприятиями космической отрасли, – разработка комплекса эффективных мер, направленных на повышение системы информационно-аналитического обеспечения.

Ключевые слова: научно-исследовательская работа, научно-техническая информация, интеллектуальный анализ данных, отбор перспективных технических решений, технико-экономическая полезность, кластерный анализ.

Проведение научно-исследовательских работ, которые являются локомотивом деятельности таких наукоёмких предприятий, как акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» (АО «ИСС»), невозможно без анализа научно-технической информации (НТИ). Производство современной кон-

курентоспособной продукции основано на постоянных, ориентированных на долгосрочную перспективу научных исследованиях [1; 2]. Поэтому так важно использовать системный подход к анализу НТИ, который позволяет не только выявить научно-технический задел, созданный в заданной области научно-технического и инженерного поиска, но и обозначить контуры предполагаемых решений, определить технические решения,

способные к последующей защите в виде объектов интеллектуальной собственности (ОИС).

На сегодняшний день в России вопросы защиты интеллектуальной собственности предприятий приоритетных отраслей промышленности являются актуальными и контролируются на государственном уровне. В государственных контрактах на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) в обязательном порядке присутствует раздел об интеллектуальной собственности. Он предусматривает, в частности, сохранение каждой стороной «всех прав интеллектуальной собственности, иных прав, а также интересов на все результаты интеллектуального труда, впервые полученные или специально использованные (полученные до заключения Государственного контракта) каждой из Сторон при исполнении Государственного контракта. В случаях, предусмотренных Государственным контрактом, Стороны предоставляют друг другу право использовать результаты интеллектуального труда исключительно для целей Государственного контракта, при условии, что они не подлежат раскрытию и не будут предоставлены полностью или частично в распоряжение любой третьей стороне без получения предварительного письменного согласия передающей Стороны».

Однако, как показывает практика, к исполнению данной статьи в России относятся формально [3]. Коллегия Счетной палаты при рассмотрении результатов плановой проверки «законности и эффективности использования федерального имущества, определяющего конкурентоспособность российских технологий в приоритетных секторах промышленности» делает выводы о том, что:

- 1) многие НИОКР, проводимые предприятиями космической отрасли, «имеют низкую научную и практическую ценность и, соответственно, бесперспективны с точки зрения их возможного освоения в производстве»;
- 2) на многих предприятиях по итогам НИОКР «не создается результатов интеллектуальной деятельности». Следовательно, Россия несет убытки в виде упущенной выгоды от возможного использования передовых технологий, не закрепленных своевременно за государством;
- 3) «в нарушение действующего законодательства в Реестре федерального имущества и на балансе предприятий практически полностью отсутствуют сведения о таком объекте учета, как нематериальные активы». Нематериальными активами называются ценности, не являющиеся физическими объектами, но имеющие стоимостную, денежную оценку благодаря возможности использования и получения от них дохода (лицензия, патент, технические и технологические новшества, программный продукт, проекты, другие ОИС, арендные и другие права, привилегии, товарные знаки).

В ходе контрольного мероприятия Счетная палата установила, что, несмотря на суммарный многомиллиардный оборот зарубежных компаний, созданных при участии российских космических предприятий, государство практически не получает дивидендов от их деятельности. В результате, говорится в пресс-релизе Счетной палаты, «вся космическая отрасль РФ выступает лишь в качестве мирового донора технологий».

Таким образом, проблемы защиты интеллектуальной собственности существуют не только в масштабах отрасли, но и всей страны. В этой ситуации перед предприятиями стоит задача разработать комплекс эффективных мер, направленных на повышение научной и практической ценности НИОКР, активизацию инновационной деятельности и учёт нематериальных активов. В настоящее время имеется выраженная тенденция увеличения количества и качества разработок, при этом главный курс взят на повышение эффективности использования инновационных разработок при создании перспективной и конкурентоспособной ракетно-космической техники. Проблем в области выявления и защиты интеллектуальной собственности на сегодняшний день огромное количество: разница в подходах, оценках, даже в постановке принципиальных задач – «Зачем?», «Кому?», «Для чего?». Существуют разные подходы к оценке эффективности системы защиты интеллектуальной собственности – и с точки зрения того, чтобы это максимально приносило прибыль, и с точки зрения того, чтобы это максимально защищало интересы предприятия от претензий третьих лиц. Одной из составных частей, направленных на практическую реализацию поставленных задач, является разработка комплекса мер, направленных на повышение эффективности системы информационно-аналитического обеспечения в целях наиболее полного выявления новационных технических решений. Для ее решения, в том числе предприятиями и организациями ракетно-космической отрасли, проводится системная работа по выявлению результатов научно-технической деятельности.

В данной статье более подробно остановимся на одной из задач для достижения вышеуказанной цели – отборе перспективных технических решений. Применительно к АО «ИСС» одним из путей решения данной задачи является разработка эффективной системы анализа НТИ, подразумевающая порядковую классификацию нововведений в зависимости от их потенциала, то есть совокупности изменений, которую способно осуществить то или иное нововведение в течение своего полного жизненного цикла [4].

АО «ИСС» – предприятие с более чем полувековой историей. Здесь накоплен богатый опыт прикладной космической деятельности и огром-

ный научно-технический потенциал, который является одним из основных активов компании. Поэтому защита и сохранение объектов интеллектуальной собственности является важнейшим направлением развития решётневской фирмы.

В АО «ИСС» создается несколько видов интеллектуальной собственности. Это объекты авторского права, к которым относятся статьи, диссертации, отчёты по НИР, программы для электронно-вычислительных машин и т. д., и объекты промышленной собственности, в том числе изобретения, полезные модели, промышленные образцы, «ноу-хау», рационализаторские предложения. Опыт работы с интеллектуальной собственностью на предприятии насчитывает более 40 лет. В отличие от многих предприятий отрасли здесь сохранена патентно-информационная служба в виде управления информационного обеспечения (УИО), которая обеспечивает получение нескольких десятков патентов в год. На предприятии работает немало людей, занимающихся изобретательской деятельностью. Новейшие разработки сибирских спутникостроителей неоднократно удостоивались высших наград международных салонов в Швейцарии, Бельгии и других странах [5; 6].

Необходимо отметить, что сегодня АО «ИСС» широко известно в мире не только своими изобретениями в области создания всех систем космических аппаратов [7–9], но и холодильных установок и их агрегатов, тепловых труб, фитоионизаторов, термосвай – то есть технических решений, направленных на решение сугубо «земных» задач.

В процессе коммерциализации объектов интеллектуальной собственности перед специалистами УИО стоит задача выбора из массива данных возможных инновационных технологий наиболее эффективного технического решения для разработки новой или улучшения выпускаемой продукции. Необходимость изучения большого объема неструктурированной информации об изобретениях делает трудоемким анализ данных на умозрительном уровне. Целесообразно применение метода интеллектуального анализа данных – кластеризации, специально предназначенного для сжатия информации о качественных и количественных характеристиках анализируемых объектов.

Первые публикации по кластерному анализу появились в конце 30-х гг. прошлого столетия, но активное развитие этих методов и их широкое использование началось в конце 60-х – начале 70-х гг. В дальнейшем это направление многомерного анализа интенсивно развивалось. Появились новые методы, модификации уже известных алгоритмов, существенно расширилась область применения кластерного анализа. Если первоначально методы многомерной классификации исполь-

зовались в психологии, археологии, биологии, то сейчас они стали активно применяться в социологии, экономике, статистике, в исторических исследованиях [10]. Авторы предлагают использовать кластеризацию в новой для данного метода сфере – при отборе перспективных технических решений в космической отрасли.

Кластерный анализ позволяет решить следующие задачи:

- проведение классификации объектов с учетом признаков, отражающих сущность и природу объектов;
- проверка выдвигаемых предположений о наличии некоторой структуры в изучаемой совокупности объектов, то есть поиск существующей структуры;
- построение классификаций для слабоизученных явлений, когда необходимо установить наличие связей внутри совокупности и попытаться привести в нее структуру [11–13].

Основные этапы построения систематики исследуемых технических объектов заключаются в следующем [14].

Этап 1. Сбор информации о технических системах прототипов-аналогов и отбор репрезентативной выборки анализируемых объектов, который будет осуществляться с помощью:

- контактов с активно работающими учеными и инженерами, имеющих первостепенное значение при поиске технологий. Участие в различных семинарах и конференциях позволяет получить ценную информацию и найти интересную разработку;
- баз данных патентов РФ, базы переводов зарубежных патентов АО «ИСС». В общем случае глубина патентного поиска должна составлять не менее 10 лет;
- Internet-ресурсов (официальный сайт ФГБУ «ФИПС»).

Этап 2. Выделение патентно-функциональных признаков и составление реферата на каждое отобранное изобретение. После отбора и копирования полного описания изобретения требуется первичная систематизация информации и приведение в унифицированную форму представления данных об изобретениях для дальнейшей обработки. Для этого по результатам анализа каждого из отобранных описаний изобретений составляется реферат.

Этап 3. Экспертом определяется множество функционально-конструктивных признаков и их значений для систематизации отобранных технических объектов. Во множество рассматриваемых функционально-конструктивных признаков должны включаться признаки, наиболее полно характеризующие анализируемые объекты в смысле заданной цели оценки, и исключаться признаки, имеющие слабые разделительные свойства.

Этап 4. Построение и анализ структурной схемы систематики, в которой связи между элементами соответствуют мере сходства. Для отобранных технических объектов строится матрица образов, в которой принадлежность значения признака объекту отображается 1, а отсутствие – 0.

Этап 5. Для систематизации и классификации технических объектов необходимо определить отношения сходства технических объектов.

Этап 6. Отбор перспективного технического решения для коммерциализации проводится исходя из оценки уровня технико-экономической полезности изобретений, которые включены в выделенный на предыдущем этапе класс технических систем, удовлетворяющий функционально-конструктивным требованиям, предъявляемым к продукции, с целью повышения ее конкурентоспособности.

Последовательное применение методов кластерного анализа и экспертной оценки технических решений позволит проводить более точный, узконаправленный отбор перспективных изобретений для коммерциализации. На первом этапе используется метод кластерного анализа с целью усечения исходного множества объектов. На втором этапе проводят более тонкое исследование,

применяя экспертные методы оценки технико-экономической полезности объектов и отбора наиболее перспективных изобретений для коммерциализации. Однако экспертные методы требуют привлечения высококвалифицированных специалистов, что не всегда бывает возможным, а также существенно повышают время предварительного анализа технических объектов. Оптимизация трудоемких вычислений и анализа количественной и качественной информации должна быть произведена за счет применения информационных аналитических систем.

Разработанный и апробированный на практике метод кластеризации для отбора перспективных технических решений для коммерциализации ОИС позволит решить одну из задач глобальной цели, стоящей перед предприятиями космической отрасли, – разработка комплекса эффективных мер, направленных на повышение системы информационно-аналитического обеспечения. Разработка решений для остальных задач, необходимых для выполнения глобальной цели: создание баз данных по разным видам научного материала – обзорам, дайджестам, статьям, монографиям; объединение баз данных в единую базу знаний, выбор программных инструментов для создания баз данных и базы знаний и т.д. требует отдельного рассмотрения.

Список литературы

1. Тестоедов Н. А., Крушенко Г. Г., Морозов Е. А., Двирный В. В., Катык К. В. Реализация инновационных разработок на ряде аэрокосмических предприятий // Вестник СибГАУ, 2015. Т. 16, № 4. С. 1078–1081.
2. Тестоедов Н. А., Двирный В. В., Крушенко Г. Г., Катык К. В. Инновационная политика на ряде предприятий аэрокосмической отрасли // Проблемы разработки, изготовления и эксплуатации ракетно-космической техники и подготовки инженерных кадров для авиакосмической отрасли : материалы X Всерос. науч.-техн. конф. Омск : Изд-во ОмГТУ, 2016. С. 48–53.
3. Двирный В. В. На страже объектов интеллектуальной собственности // Информационные спутниковые системы. 2008. № 5. С. 22–25.
4. Вилков Ю. В., Туркенич Р. П., Морозов Е. А., Летунов Е. Д. Разработка системы отбора нововведений из мирового информационного ресурса // Решетнёвские чтения : материалы XX междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Красноярск : СибГАУ, 2016. Ч. 2. С. 161–163.
5. Чикунова В., Балясина А. Лавры Женева // Газета НПО ПМ. 2005. № 4. С. 9.
6. Золото Сеула // Газета НПО ПМ. 2003. № 1. С. 1.
7. Патент РФ № 2541598 С2 МПК В64G1/22 В64G1/50 Способ компоновки космического аппарата. Заявка № 2013117474/11 от 16.04.2013 / К. Л. Кувакин, А. В. Анкудинов, О. В. Шилкин, Ю. В. Вилков и др. Бюл., 2015. № 5.
8. Патент РФ № 2542797 С2 МПК В64G1/50 Способ компоновки космического аппарата. Заявка № 2013117778/11 от 17.04.2013 / А. Ю. Кузнецов, А. В. Анкудинов, Е. В. Юртаев, Ю. В. Вилков и др. Бюл., 2015. № 5.
9. Патент РФ № 89927 U1 МПК А24F47/00 А61M15/06 Аппарат космический. Заявка № 2009128071/22 от 22.07.2009 / А. В. Яковлев, М. И. Барков, В. В. Попов, Ю. В. Вилков и др. Бюл., 2014. № 9.
10. Анализ данных и процессов : учеб. пособие / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, И. И. Холод, М. Д. Тесс, С. И. Елизаров. 3-е изд., перераб. и доп. СПб. : БХВ-Петербург, 2009. 512 с.
11. Дюран Б., Оделл П. Кластерный анализ : пер. с англ. М. : Статистика, 1977. 128 с.
12. Everitt B. S., Landau S., Leese M., Stahl D. Cluster Analysis. 5th Edition. Wiley, 2011. 346 p.
13. Jelen B., Alexander M. Excel 2016 Pivot Table Data Crunching. Indianapolis, Indiana 46240 USA: Que Publishing. 432 p.

14. Нейро-нечеткие методы в интеллектуальных системах обработки и анализа многомерной информации / Т. В. Абрамова, Е. В. Ваганова, С. В. Горбачев, В. И. Сырякин, М. В. Сырякин. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2014. 442 с.

История статьи

Поступила в редакцию 20 января 2017 г.

Принята к публикации 14 марта 2017 г.

IMPROVING THE SYSTEM'S EFFICIENCY OF INFORMATION AND ANALYSIS SUPPORT IN THE DEVELOPMENT OF SATELLITES: QUESTIONS OF IDENTIFYING AND PROTECTION OF INTELLECTUAL PROPERTY

E. A. Morozov¹, Yu. V. Vilkov¹, A. N. Kiseleva¹,

V. V. Dvirnyy¹, G. G. Krushenko^{2,3}

¹JSC «Academician M. F. Reshetnev» Information Satellite Systems», Zheleznogorsk, Russian Federation

²Institute Computational Modeling SB RAS, Krasnoyarsk, Russian Federation

³Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,
Krasnoyarsk, Russian Federation

Conducting science and research work, which are the engine of activity of high technology enterprises, it is impossible without an analysis of the scientific and technical information. Production of modern competitive products based on regular, focused on long-term perspective scientific research. Therefore, it is so important to use a systematic approach to the analysis of scientific and technical information that makes it possible not only to identify the technological advance, created in a given field of scientific, technical and engineering research, but also to shape the circuit of the supposed solutions, to identify technical solutions, capable of subsequent protection in the form of intellectual property. In the article indicated problems of preservation and development of the intellectual base of enterprises of space industry. The way of solving problems is develop a set of effective measures, aimed to improving the system of information and analytical support. It is considered one of the tasks, helping to solve the above problem – the selection of promising technical solutions and provides a solution to this problem by clustering method, related on data mining. Scientific novelty consists in using of clustering method in the new field for this method – in the space industry for selecting of promising technical solutions. List the main stages of the clustering method by the example of JSC «Information Satellite Systems» academician M.F. Reshetnev». Developed and tested in practice, clustering method for the selection of promising technical solutions will solve only one of the tasks of the global target of the space industry enterprises – development of effective measures aimed at improving information and analytical support systems.

Keywords: science and research work, scientific and technical information, data mining, selection of perspective technical decisions, technical and economic utility, cluster analysis.

References

1. Testoedov N. A., Krushenko G. G., Morozov E. A., Dvirnyy V. V., Katyk K. V. *Realizaciya innovacionnyh razrabotok na ryade aehrokosmicheskikh predpriyatij* [Implementation of innovations in a number of aerospace companies]. Vestnik SibGAU. Krasnoyarsk, 2015, vol. 16, no. 4, pp. 1078–1081. (In Russian).
2. Testoedov N. A., Dvirnyy V. V., Krushenko G. G., Katyk K. V. *Innovacionnaya politika na ryade predpriyatij aehrokosmicheskoy otrasli* [Innovation policy in a number of aerospace companies]. *Problemy razrabotki, izgotovleniya i ekspluatatsii raketno-kosmicheskoy tekhniki i podgotovki inzhenernykh kadrov dlya aviakosmicheskoy otrasli: materialy X Vseros. nauchno-tekhnich. konf.* [Problems of develop, manufacture and operation of rocket and space technology and training of engineers for the aerospace industry : X All-Russian materials scientific and tech. Conf.]. Omsk, 2016, pp. 48–53. (In Russian).
3. Dvirnyy V. V. *Na strazhe ob"ektov intellektual'noj sobstvennosti* [On guard of intellectual property] / Informatsionnye sputnikovyie sistemy. 2008, no. 5, pp. 22–25. (In Russian).
4. Vilkov Yu. V., Turkenich R. P., Morozov E. A., Letunov E. D. *Razrabotka sistemy otbora novovvedenij iz mirovogo informacionnogo resursa* [The development of system for selection of innovation from the world's information resources]. *Reshetnevskie chteniya: Materialy XX mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Reshetnev Readings: Materials 10 Intern. scientific-practical. Conf.]. Krasnoyarsk, Siberian State Aerospace University, 2016. At 2 part, Part 2, pp. 161–163. (In Russian).

5. Chikunova V., Balyasina A. *Lavry ZHenevy* [Laurels of Geneva]. Gazeta NPO PM. 2005, no. 4, p. 9. (In Russian).
6. *Zoloto Seula* [Gold of Seoul]. Gazeta NPO PM. 2003, no. 1, p. 1. (In Russian).
7. Kuvakin K. L., Ankudinov A. V., Shilkin O. V., Vilkov Yu. V., e.a. *Sposob komponovki kosmicheskogo apparata* [Method of spacecraft's arrangement]. Patent RF, no. 2541598, 2015. (In Russian).
8. Kuznetsov A. Yu., Ankudinov A. V., Yurtaev E. V., Vilkov Yu. V., e.a. *Sposob komponovki kosmicheskogo apparata* [Method of spacecraft's arrangement]. Patent RF, no. 2542797, 2015.
9. Yakovlev A. V., Barkov M. I., Popov V. V., Vilkov Yu. V., e.a. *Apparat kosmicheskiiy* [Spacecraft]. Patent RF, no. 89927, 2014.
10. Barsegyan A. A., Kupriyanov M. S., Kholod I. I., Tess M. D., Elizarov S. I. *Analiz dannykh i protsessov: ucheb. posobie* [Analysis of data and processes: tutorial]. St. Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2009, 512 p. (In Russian).
11. Dyuran B., Odell P. *Klasternyy analiz. Per. s angl.* [Cluster analysis]. Moscow, Statistika Publ., 1977, 128 p. (In Russian).
12. Everitt B. S., Landau S., Leese M., Stahl D. *Cluster Analysis*. 5th Edition. Wiley, 2011, 346 p.
13. Jelen B., Alexander M. *Excel 2016 Pivot Table Data Crunching*. Indianapolis, Indiana 46240 USA, Que Publishing, 432 p.
14. Abramova T. V., Vaganova E. V., Gorbachev S. V., Syryamkin V. I., Syryamkin M. V. *Neyro-nechetkie metody v intellektual'nykh sistemakh obrabotki i analiza mnogomernoy informatsii*. [Neuro-fuzzy techniques in intelligent systems of processing and analysis of multidimensional information]. Tomsk, Tomsk St. Univ. Publ., 2014, 442 p. (In Russian).

Article history

Received 20 January 2017

Accepted 14 March 2017

Сведения об авторах

Алексиев Николай Любенов – ассистент. Место работы: Институт металловедения, сооружений и технологий с центром гидроаэродинамики им. акад. А. Балеvского – Болгарской академии наук.

E-mail: naleksiev@abv.bg

Вилков Юрий Вячеславович – заместитель генерального директора – заместитель генерального конструктора по развитию и инновациям АО «Информационные спутниковые системы» им. академика М. Ф. Решетнёва». Окончил завод-ВТУЗ Красноярский политехнический институт в 1989 году. Область научных интересов: системы автоматического управления космическими аппаратами, планирование и организация работ в области создания перспективных космических аппаратов, инновационная деятельность.

E-mail: yuri_vilkov@iss-reshetnev.ru

Дvirный Валерий Васильевич – главный специалист по выявлению и защите интеллектуальной собственности АО «Информационные спутниковые системы» им. академика М. Ф. Решетнёва», доктор технических наук, профессор. Окончил Московский авиационный институт в 1969 году. Область научных интересов: агрегаты космических систем и аппаратов, защита интеллектуальной собственности.

E-mail: dvirnyi@iss-reshetnev.ru

Киселёва Анастасия Николаевна – специалист АО «Информационные спутниковые системы» им. академика М. Ф. Решетнёва». Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М. Ф. Решетнёва в 2014 году. Область научных интересов: интеллектуальный анализ данных, меры сходства, способы их представления и анализа.

E-mail: kiselyovaa@iss-reshetnev.ru

Крушенко Генрих Гаврилович – главный научный сотрудник Института вычислительного моделирования СО РАН, доктор технических наук, профессор. Окончил Омский машиностроительный институт в 1995 году. Область научных интересов: нанотехнологии, литейные производства и инновации в машиностроении.

E-mail: genry@icm.krasn.ru

Кузовников Александр Витальевич – кандидат технических наук, доцент, начальник управления разработок систем связи и ретрансляции информации. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М. Ф. Решетнёва в 2007 году. Область научных интересов: методы организации связи, моделирования работы спутниковых систем связи. Место работы:

АО «Информационные спутниковые системы» им. академика М. Ф. Решетнёва».

E-mail: ujub@list.ru

Манолов Валентин Кирилов – технолог, доктор наук. Место работы: Институт металловедения, сооружений и технологий с центром гидроаэродинамики им. акад. А. Балеvского – Болгарской академии наук.

E-mail: v.man.1943@abv.bg

Мишууров Андрей Валерьевич – старший преподаватель кафедры РЭС Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2009 году. Область научных интересов: биомедицинская электроника, командно-измерительные системы.

E-mail: mav137@yandex.ru

Морозов Егор Александрович – начальник управления информационного обеспечения АО «Информационные спутниковые системы» им. академика М. Ф. Решетнёва», кандидат технических наук. Окончил Красноярский государственный технический университет в 1995 году. Область научных интересов: конструирование бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов, интеллектуальная собственность.

E-mail: morozov@iss-reshetnev.ru

Непомнящий Олег Владимирович – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Вычислительная техника» Института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1992 году. Область научных интересов: микропроцессорные системы, встраиваемые системы ответственного применения, высокоуровневый анализ и синтез сложных однокристалльных систем.

E-mail: olegn_68@mail.ru

Овчинников Федор Владимирович – студент 3 курса Института инженерной физики и радиоэлектроники СФУ специальности «Радиоэлектронные системы и комплексы». Область научных интересов: программирование, системы связи и навигация.

E-mail: approximation.sample@gmail.com

Панько Сергей Петрович – доктор технических наук, профессор Военной кафедры Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1965 году. Область научных интересов: биомедицинская электроника, командно-измерительные системы.

E-mail: psp410@mail.ru

Сухотин Виталий Владимирович – кандидат технических наук, доцент Военно-инженерного института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 1999 году. Область научных интересов: фазовые измерения, командно-измерительные системы, безопасность спутниковых информационных систем.

E-mail: vsuhotin@sfu-kras.ru

Ташев Пламен Чавдаров – профессор, доктор наук. Место работы: Институт металловедения, сооружений и технологий с центром гидроаэродинамики им. акад. А. Балевого – Болгарской академии наук.

E-mail: weld@abv.bg

Тестоедов Николай Алексеевич – член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, генеральный директор АО «Информационные спутниковые системы» им. академика М. Ф. Решетнёва».

Черепанов Анатолий Николаевич – главный научный сотрудник, доктор физико-математических наук, профессор. Место работы: Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН.

E-mail: ancher@itam.nsc.ru

Требования к оформлению статей для опубликования в журнале «Исследования наукограда»

Редакция принимает в журнал статьи, соответствующие следующим темам:

- ◀ ракетно-космическая техника
- ◀ новые материалы и технологии в космической технике
- ◀ космическое приборостроение
- ◀ космические услуги
- ◀ инновации и экономика космической отрасли

Статья должна быть подготовлена в формате Документ Word 97–2003 и направлена на электронную почту редакции isercit@gmail.com.

Вместе со статьёй необходимо предоставить акт экспертного заключения с печатью и заключение комиссии экспортного контроля (КЭК) о возможности опубликования или, в случае отсутствия КЭК в организации, письмо за подписью руководителя организации с печатью, что данные сведения не подлежат экспортному контролю.

После принятия материалов автору будет выслан лицензионный договор и акт на право использования редакцией научной статьи при размещении в журнале и электронных базах данных.

Подписанный автором лицензионный договор и акт, а также оригиналы акта экспертного заключения и заключение КЭК должны быть высланы почтой на адрес редакции: 662972, Красноярский край, ЗАТО г. Железногорск, ул. Ленина 52, Охоткину Кириллу Германовичу.

При подготовке статьи авторы должны следовать этическим принципам, принятым в научном сообществе и редакцией журнала.

Авторы должны руководствоваться приведёнными ниже правилами. Статьи, оформленные без соблюдения этих правил, могут быть возвращены авторам на доработку.

Требования к составу и расположению элементов оформления научной статьи:

- ◀ Индекс УДК располагают отдельной строкой слева.
- ◀ На следующей строке размещается заголовок, который центрируют и набирают строчными буквами (как в предложении, начиная с прописной). Шрифт Times New Roman, 14 кегль, начертание – полужирное. Перенос слов в заголовке недопустим.
- ◀ Под заголовком по центру указываются фамилия и инициалы автора(ов). Шрифт Times New Roman, 14 кегль, по центру, полуторный интервал.
- ◀ Под ФИО автора(ов) по центру указываются: полное название учреждения (место работы), в котором выполнена работа (в именительном падеже), затем город (населённый пункт), область (край), страна. Шрифт Times New Roman, 14 кегль, по центру, полуторный интервал.
- ◀ Аннотация к статье.
- ◀ Ключевые слова (4–7 слов или словосочетаний).
- ◀ Текст, оформленный в соответствии с нижеприведенными требованиями.
- ◀ Пристатейный библиографический список, оформленный в соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008.
- ◀ Следом необходимо привести заголовок, ФИО автора(ов), организацию, аннотацию, ключевые слова и библиографический список на английском языке.
- ◀ В конце документа необходимо привести сведения о каждом авторе (должность и место работы, научные степень и звание, что и когда окончил, область научных интересов, e-mail).

Требования к представляемому тексту, иллюстрациям и пристатейному библиографическому списку:

- ▶ Объем статьи, включая иллюстрации и список литературы, 8–20 страниц формата А4 (210 x 297 мм).
- ▶ Поля – 2,5 см.
- ▶ Шрифт Times New Roman, 14 кегль, полуторный интервал, красная строка 1,27 см.
- ▶ Заголовок и аннотация статьи не должны содержать нерасшифрованных сокращений (аббревиатур) и ссылок на литературу. Объем аннотации: 200–250 слов (равнение на английский вариант аннотации).
- ▶ При использовании в тексте сокращённых названий необходимо давать их расшифровку, следует ограничиваться общепринятыми сокращениями и избегать новых без достаточных на то оснований.
- ▶ Для использования переносов в словах необходимо пользоваться командой «автоматическая расстановка переносов». Для форматирования текста не использовать пробелы (нигде в тексте не должно быть рядом стоящих двух пробелов).
- ▶ Для набора сложных математических формул и выражений используется MathType, дробные выражения в формулах рекомендуется по возможности заменять выражениями с отрицательными степенями либо использовать косую черту. Размер шрифта в формулах установить по умолчанию (12).
- ▶ Допускаются рисунки и таблицы без заголовков, подписей и слов «Таблица» и «Рис.» в случае одной таблицы/рисунка. Если имеется несколько рисунков или таблиц, используются слова «Таблица» или «Рис.» с указанием номера таблицы или рисунка. Не рекомендуется загромождать рисунок ненужными деталями: надписи должны быть вынесены в подпись к рисунку, а на рисунке заменены цифрами или буквами. Желательно не перегружать текст графическим материалом. Размер шрифта в таблицах 12 кегль. Межстрочный интервал – одинарный. Схемы, рисунки и другие графические элементы должны быть представлены дополнительно отдельным файлом в графическом формате.
- ▶ В тексте ссылки на цитируемую литературу даются в квадратных скобках в конце предложения перед точкой (например: [1], [1, 2] или [1–3] и т.д.). Библиографический список следует оформлять в порядке ссылок на неё по тексту, в списке должны быть только те источники, на которые есть ссылки в тексте. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Для книг: фамилия и инициалы автора, полное название книги, место издания, издательство, год, том или выпуск, общее количество страниц. Для периодических изданий: фамилия и инициалы автора, название статьи, название журнала, год издания, том, номер, первая и последняя страницы статьи. Литература нумеруется арабскими цифрами без использования автоматической нумерации. Рекомендуется использование не менее 15 источников не старше 5 лет.

634050
г. Томск
пр. Ленина, 40
(3822) 51-05-30
(3822) 51-32-62
52-63-65
tusur.ru



- Перспективные разработки для космоса
- Умные технологии для ЖКХ
- Создание высокотехнологичного оборудования
- Отечественная элементная база для передового производства
- Отечественные технологии адаптивного пирингового телевидения
- Светотехника

РЕКЛАМА

НАДЕЖНОЕ ПАРТНЕРСТВО, УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

