

ВЕСТНИК

ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОБОРОНЫ

Научно-технический рецензируемый журнал

Выпуск № 2(18), 2018 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

П.А. Созинов, д-р техн. наук, профессор

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

В.М. Алдошин, д-р техн. наук, профессор

А.С. Сумин, д-р техн. наук, профессор

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ:

Д.А. Леманский, канд. техн. наук, доцент

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

М.А. Горбачёв, д-р техн. наук

Б.Н. Горевич, д-р техн. наук, профессор

Н.С. Губонин, д-р техн. наук, профессор

А.И. Даниленко, д-р техн. наук

М.В. Жестев, канд. техн. наук

Г.В. Зайцев, д-р техн. наук

А.Б. Игнатъев, д-р техн. наук, профессор

В.А. Кашин, д-р техн. наук, профессор

С.К. Колганов, д-р техн. наук, профессор

В.И. Колесниченко, д-р техн. наук, профессор

Ю.Н. Кофанов, д-р техн. наук, профессор

В.С. Оконешников, д-р техн. наук

А.А. Парамонов, д-р техн. наук, профессор

Н.В. Радчук, д-р техн. наук, профессор

С.П. Соколов, д-р техн. наук

П.И. Стариковский, д-р техн. наук

А.Ф. Страхов, д-р техн. наук, профессор

А.А. Трухачев, д-р техн. наук

Ю.Г. Шатраков, д-р техн. наук, профессор

Н.С. Щербаков, д-р техн. наук, профессор

Технический редактор: М.А. Лайков

Корректор: А.Н. Борзова

Компьютерная верстка: О.А. Пыхонина

☎ редакции (499) 940-02-22

доб. 79-06, 14-99, 17-23, 16-00

E-mail: aspirantura@gskb.ru

izd.group@gskb.ru

Вестник воздушно-космической обороны:

► **Проблемные вопросы построения систем и средств ВКО**

П.А. Кохно, С.В. Голубчиков

Ракетно-космическая техника России на рынке мировых космических услуг.... 7

А.А. Потапов

Текстурные и фрактально-скейлинговые методы обнаружения, обработки и распознавания слабых радиолокационных сигналов и малоконтрастных изображений на фоне интенсивных помех 15

► **Применение сил и средств ВКО**

Г.И. Андреев, Ю.А. Спиридонов, Н.Г. Бодрихин, В.М. Пахомов

Системы защиты баллистических ракет и космических аппаратов..... 27

В.Г. Слугин, А.А. Зубарев, О.Ю. Шевцов, А.Я. Мехтиев, В.А. Ковешников

Решение задачи целераспределения между боевыми машинами зенитных ракетно-пушечных комплексов 34

► **Исследования в сфере проектно-конструкторских и технологических работ**

А.А. Арешкин, И.Б. Аверин, И.В. Бойцов, А.Д. Елисеев

Электронагреватели на основе углеволокнистых материалов в системах обеспечения теплового режима аппаратуры РЛС 43

Ю.С. Атопшев, А.В. Воронков, Т.А. Корниенко, А.М. Лосев

Программно-аппаратный комплекс для измерения и анализа динамических характеристик трактов аналого-цифрового преобразования 48

А.В. Галев, С.С. Юдачёв

Помехоустойчивость некогерентного приёма широкополосных сигналов при структурных помехах 55

А.П. Минеев, С.М. Нефедов, П.П. Пашинин, П.А. Гончаров, В.В. Киселев, П.А. Дроздов

Экспериментальные исследования работы планарного СО-лазера с ВЧ-накачкой при комнатной температуре..... 61

А.В. Новиков, В.А. Хлусов

Применение способа аподизации SVA для уменьшения уровня боковых лепестков диаграммы направленности приёмной антенной решётки без увеличения ширины основного лепестка 69

Научно-технический журнал/
ПАО «НПО «Алмаз», 2018 г.
№ 2(18). С. 1–132

Подписано в печать 19.06.2018 г.
Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 7,2. Тираж 1000 экз.
Заказ № 124082

Отпечатано в ООО «Издательство Юлис»
392010, г. Тамбов, ул. Монтажников, д. 9

Свидетельство о регистрации:
ПИ № ФС77-63487

Учредитель: Публичное акционерное общество
«Научно-производственное объединение
«Алмаз» имени академика А.А. Расплетина»

125190, г. Москва,
Ленинградский проспект, дом 80, корп. 16.
Тел./факс (499)940-02-22/(499)940-09-99

Статьи рецензируются.

Незаконное тиражирование и перевод статей,
включенных в журнал, в электронном
и любом другом виде запрещено и карается
административной и уголовной
ответственностью по закону РФ
«Об авторском праве и смежных правах»

© ПАО «НПО «Алмаз», 2018

ISSN 2311-830X

Цена за 1 экз. – 600 руб.

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС: 70576
в каталоге агентства
«РОСПЕЧАТЬ»:
ГАЗЕТЫ И ЖУРНАЛЫ

В.С. Оконешников, В.Н. Завалий, А.В. Иванов, В.В. Иванов
Сигнал с обратной синусоидальной частотной модуляцией 74

В.А. Пчелин, И.П. Корчагин, В.Б. Трегубов, Л.В. Манченко
СВЧ-усилители мощности для спецаппаратуры и АФАР 81

А.Д. Филин, В.П. Рачков, Ю.Г. Шатраков
Метод объективной оценки эффективности использования
тренажно-моделирующих комплексов лётных экипажей
и специалистов управления авиацией 84

А.О. Яшенков, В.Ф. Андреев
Метод формирования провалов в парциальных диаграммах
направленности излучателей приёмных конформных АФАР 92

► Прикладные задачи применения информационных технологий

С.К. Колганов, Э.Г. Лазаревич
Управление жизненным циклом радиоэлектронной аппаратуры вооружения,
военной и специальной техники на основе виртуальной
электронной компонентной базы 97

Б.И. Крыжановский
Метод оптимизации выбора режимов кодирования информации
для повышения скорости её воспроизведения 116

► Аналитические исследования зарубежного опыта

С.В. Аксёнов, В.А. Васильев, С.В. Голубчиков, Г.Б. Гуров,
М.В. Жестев, В.К. Новиков
Современное состояние и перспективы развития
противоракетной обороны США 125

► Научные рецензии и отзывы 132

CONTENTS

► Topical issues on Aerospace defense system and elements arrangement

P.A. Kohno, S.V. Golubchikov

Russian space and missile technology in world space services market 7

A.A. Potapov

Textural and fractal-scaling methods of detection, processing and identification of weak radar signals and soft images in the background of high-intensity noises 15

► Aerospace defense systems and components application

G.I. Andreev, Y.A. Spiridonov, N.G. Bodrihin, V.M. Pahomov

Ballistic missiles and space vehicles protection systems 27

V.G. Slugin, A.A. Zubarev, O.U. Shevtsov, A.Ya. Mekhtiev, V.A. Koveshnikov

Solution of target distribution problem between combat vehicles of air defense missile and gun systems 34

► Design-engineering and technological research works

A.A. Areshkin, I.B. Averin, I.V. Boitcov, A.D. Eliseev

Carbon-fiber electrical heaters in thermal control systems of radar equipment 43

U.S. Atopshev, A.V. Voronkov, T.A. Kornienko, A.M. Losev

Software and hardware complex for measuring and analysis of ADC path dynamic characteristics 48

A.V. Galev, S.S. Iudachev

Noise immunity of wideband signals non-coherent receiving at adjacent-channel interference 55

A.P. Mineev, S.M. Nefedov, P.P. Pashinin, P.A. Goncharov, V.V. Kiselev, P.A. Drozdov

Experimental research of RF-excited planar co-laser operation at room temperature 61

A.V. Novikov, V.A. Hlusov

Application of spatially variant apodization method to reduce Side-Lobe Level of receiving antenna array without main lobe width increase 69

V.S. Okoneshnikov, V.N. Zavaliy, A.V. Ivanov, V.V. Ivanov

Signal with reverse sine frequency modulation 74

V.A. Pchelin, I.P. Korchagin, V.B. Tregubov, L.V. Manchenko

Power microwave amplifiers for special-purpose equipment and active phased antenna array 81

A.D. Filin, V.P. Rachkov, U.G. Shatrakov

Objective evaluation method of simulator-training complexes efficiency of flight crews and air combat control specialists 84

A.O. Yashenkov, V.F. Andreev

Nulling method in partial detection patterns of radiators in receiving conformal active phased antenna arrays 92

IT applied application tasks

S.K. Kolganov, E.G. Lazarevich

*Electronics life cycle management of armament, military and special-purpose equipment based on virtual electronic component base.....*97

B.I. Kryzhanovskiy

*Optimization method of information coding modes selection to increase its reproduction rate.....*116

► Foreign experience analytic research

S.V. Aksenov, V.A. Vasiliev, S.V. Golubchikov, G.B. Gurov, M.V. Zhestev, V.K. Novikov

*Current state and development prospects of US missile defense system.....*125

► Scientific reviews and reference.....132

*Полный список опубликованных номеров журнала Вы можете увидеть на сайте
<http://www.raspletin.com/notes>*

Журнал «**Вестник воздушно-космической обороны**» включён в сформированный Министерством образования и науки Российской Федерации перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук (письмо Минобрнауки России от 01.12.2015 года № 13-6518. URL: <http://www.vak.ed.gov.ru/87.html>).

Включён в перечень ВАК по группам научных специальностей:

05.12.00 – Радиотехника и связь;

05.27.00 – Электроника.

К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ПЕРВОГО ГЛАВНОГО КОНСТРУКТОРА СИСТЕМЫ ПРОТИВОРАКЕТНОЙ ОБОРОНЫ ОТ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ РАКЕТ

20 июля 2018 года исполняется 100 лет со дня рождения *Кисунько Григория Васильевича* – основоположника создания противоракетной обороны Москвы от баллистических ракет, первого главного конструктора экспериментальной системы ПРО – Системы «А», Героя социалистического труда, генерал-лейтенанта, члена-корреспондента АН СССР, лауреата Ленинской премии, доктора технических наук, профессора.

Кисунько Григорий Васильевич родился в крестьянской семье в селе Бельманка на Украине. В 1930 году семья переехала в Мариуполь, где родители будущего конструктора устроились работать на завод им. Ильича.

После окончания школы Григорий Васильевич поступил на физико-математический факультет Луганского пединститута, который окончил в 1938 году с отличием по специальности «Физика». Осенью 1938 года продолжил своё обучение в аспирантуре по кафедре теоретической физики Ленинградского государственного пединститута им. А.И. Герцена. Аспирантуру закончил успешно, защитив диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук 17 июня 1941 года.

Великую Отечественную войну Кисунько встретил добровольцем в Ленинградской Армии Народного ополчения, в ряды которой вступил 4 июля 1941 года, был рядовым 2-го СП 5, оттуда был откомандирован в распоряжение РВК Куйбышевского района г. Ленинграда, а из РВК курсантом был направлен в Военное училище ВНОС Красной Армии. В феврале 1942 года молодой лейтенант был направлен в 337-й Отдельный радиотехнический батальон ВНОС Особой Московской армии ПВО, где нёс службу до декабря 1944 года.

В декабре 1944 года Кисунько назначен преподавателем в Военную Краснознамённую академию связи им. С.М. Будённого.

Кадровый офицер Советской армии, в октябре 1950 года Григорий Васильевич был прикомандирован к Министерству вооружения СССР для работы в КБ-1, где участвовал в создании первых отечественных зенитных ракетных комплексов (ЗРК) С-25 и С-75. За участие в разработке системы С-25 Кисунько Григорию Васильевичу было присвоено звание Героя Социалистического труда (1956).

Когда в Советском Союзе возникла настоятельная необходимость защиты страны от баллистических ракет с ядерным оружием, в КБ-1 решением правительства было сформировано подразделение СБ-30 по ПРО. Начальником и главным конструктором СБ-30 был назначен Кисунько Григорий Васильевич, который проявил себя как талантливый учёный, организатор и вдохновитель большого количества коллективов на реализацию одного из величайших проектов второй половины XX века. Кисунько – основоположник создания ПРО СССР, автор фундаментальных работ по проблемам прикладной радиофизики, электродинамики и системным вопросам радиолокации, теоретически обосновавший возможность обнаружения, сопровождения и поражения головной части баллистической ракеты (ГЧ БР).



По его предложению на специально построенном новом полигоне в районе озера Балхаш был создан экспериментальный полигонный комплекс ПРО – Система «А», назначением которого являлось подтверждение перехвата ГЧ БР.

Системой «А» решались совершенно новые для того времени задачи:

- обнаружение, сопровождение и измерение координат целей, имеющих эффективные поверхности рассеяния на 2–3 порядка меньше и скорости на 1–2 порядка больше, чем у самолётов;
- организация их перехвата с точностями, обеспечивающими поражение осколочной боевой частью малоуязвимого боевого блока.

4 марта 1961 года Система «А» впервые в мире осуществила перехват и поражение на высоте 25 км ГЧ БР Р-12, летевшей со скоростью более 3 км/сек. При дальнейших натурных испытаниях прямое поражение ГЧ БР было зафиксировано ещё в двух пусках ПР по БР Р-5 и в трёх пусках по БР Р-12. На основании анализа хода работ по Системе «А» в 1958 году было принято постановление ЦК КПСС и Совмина СССР № 389–185 о создании боевой системы А-35 и назначении Кисунько Григория Васильевича Генеральным конструктором этой системы.

В 1966 году за работы по созданию Системы «А» и связанные с ними исследования Кисунько Григорию Васильевичу в составе группы разработчиков Системы «А» была присуждена Ленинская премия. Постановлением ЦК КПСС и Совмина СССР ОКБ-30 было выделено из КБ-1 в самостоятельную головную научно-конструкторскую организацию, которую было поручено возглавить Григорию Васильевичу в качестве начальника – Генерального конструктора ОКБ. Под его руководством система «А-35» была разработана, создана, испытана, модернизирована и была принята на вооружение в 1977 году.

Следующим этапом карьеры (1970–1975) стала для Кисунько работа в ЦНПО «Вымпел» в должности заместителя Генерального директора по научной работе и начальника НИО по системе А-35 и её модернизации (А-35М) как Генерального конструктора этой системы. С 1975 по 1979 год в ЦНИРТИ Кисунько занимает должность заместителя директора по научной работе, а с 1979 по 1987 год – в 45 ЦНИИ МО – должность научного консультанта. В 1987 году Григорий Васильевич уволился из рядов Советской армии и работал заведующим лабораторией отдела теоретических проблем АН СССР.

Григорий Васильевич награждён двумя советскими орденами Ленина, орденом Отечественной войны I степени, орденом Трудового Красного Знамени, орденом Красной Звезды и российским орденом «За заслуги перед Отечеством» IV степени (16.11.1998, посмертно), а также многими медалями.

Григория Васильевича Кисунько не стало 11 октября 1998 года. Он похоронен на Троекуровском кладбище в Москве.

Генеральный директор
ПАО «НПО «Алмаз»
имени академика А.А. Расплетина
доктор технических наук, профессор

Г.П. Бендерский

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ И СРЕДСТВ ВКО

УДК 338

РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА РОССИИ НА РЫНКЕ МИРОВЫХ КОСМИЧЕСКИХ УСЛУГ

© Авторы, 2018

П.А. Кохно доктор экономических наук, профессор,
профессор аспирантуры, ФГУП «ЦНИИ судостроительной промышленности «ЦЕНТР», г. Москва
E-mail: pavelkohno@mail.ru

С.В. Голубчиков кандидат технических наук,
начальник отдела, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: gsv_64@list.ru

В статье исследуются перспективы развития ракетно-космической отрасли в части производства космических транспортных систем.

Ключевые слова: ракетно-космическая отрасль, космические транспортные системы, издержки производства, конкурентный рынок, целевые индикаторы.

The article examines development prospects of space-rocket industry sector regarding production of space transport systems.

Keywords: space-rocket branch, space transport systems, manufacturing cost, competitive market, benchmark.

Несмотря на позитивные тенденции в области снижения стоимости пусков на международном рынке, существующие проблемы с качеством отечественной продукции привели к снижению рыночной доли российских носителей на рынке запусков. Состав и структура мирового рынка наглядно свидетельствует о том, что Россия практически не участвует в работе на наиболее объёмных и высококонкурентных сегментах потребительских услуг и поставок наземного оборудования. Данная особенность состояния отечественной промышленности обуславливает необходимость диверсификации продуктовой линейки предприятий отрасли для обеспечения повышения экономической эффективности компаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Вейко А.В., Кохно П.А.** Экономика ракетно-космической отрасли: монография. – Saarbrücken, Deutschland / Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing RU. – 244 с.
2. **Кохно П.А., Вейко А.В.** Управление конкурентоспособностью космических транспортных систем // Общество и экономика. – 2016, №4. – С.64–85.

3. **Кохно П.А., Вейко А.В.** Экономический механизм развития ракетно-космической отрасли // Общество и экономика. – 2016, №9. – С.75–104.
4. **Кохно П.А., Вейко А.В.** Синтез программных мероприятий рынка ракетно-космической продукции // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. – 2016, №2. – С.3–17.
5. **Кохно П.А., Вейко А.В.** Финансовая оптимизация российского рынка ракетно-космической продукции // Финансовый бизнес. – 2016, №4. – С.30–42.
6. **Кохно П.А.** Оборонно-промышленный комплекс России и перспективные технологии // Военная мысль. – 2012, №9. – С.3–10.
7. **Кохно П.А.** Модель гармоничной экономики труда // Человек и труд. – 2012, №12. – С.46–49.
8. **Кохно П.А., Костин А.Л.** Союзное государство. Книга 9. Военно-экономическая стратегия / отв. ред. П.А. Кохно. – М.: Граница, 2008. – 568 с.
9. **Булыга Р.П., Кохно П.А.** Экономическая стратегия России на основе теории прибавочной стоимости К. Маркса // Проблемы современной экономики. – 2008, №1. – С.105–113.
10. **Кохно П.А.** Оборонно-промышленный комплекс и перспективные технологии // Военная мысль. – 2012, №9. – С.3–10.

RUSSIAN SPACE AND MISSILE TECHNOLOGY IN WORLD SPACE SERVICES MARKET

P.A. Kohno, S.V. Golubchikov

Despite positive trends in launching costs decrease in the international market, the existing problems with quality of indigenous products has led to decreasing of market share of the Russian launch vehicles in the rocket launching market. The composition and structure of the world market obviously testifies that the Russian Federation is almost not participating in the work on the most comprehensive and highly competitive segments of consumer services and delivery of ground facilities. This particular of indigenous industry state stipulates the diversification need of product line of space-rocket branch enterprises to provide improvement of companies' economic efficiency.

Поступила 9 ноября 2017 года.

ТЕКСТУРНЫЕ И ФРАКТАЛЬНО-СКЕЙЛИНГОВЫЕ МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ, ОБРАБОТКИ И РАСПОЗНАВАНИЯ СЛАБЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ И МАЛОКОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ФОНЕ ИНТЕНСИВНЫХ ПОМЕХ

© Автор, 2018

А.А. Потапов доктор физико-математических наук, профессор,
академик Российской академии инженерных наук им. А.М. Прохорова,
главный научный сотрудник, ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, г. Москва
E-mail: potapov@cplire.ru

При обнаружении малоаметных и малококонтрастных целей, использование традиционных энергетических обнаружителей (когда отношение правдоподобия определяется исключительно и только энергией принимаемого сигнала) становится затруднительным или практически невозможным. Разработаны и обоснованы новые топологические (текстурные и фрактальные) признаки и устойчивые методы обнаружения таких объектов. Предложен новый вид и новый метод современной радиолокации, а именно, фрактально-скейлинговая или масштабно-инвариантная радиолокация. Это влечёт за собой коренные изменения в самой структуре теоретической радиолокации, а также в её математическом аппарате.

Ключевые слова: радиолокация, малоаметные цели, текстура, фрактал, фрактальная размерность, обработка сигналов и изображений.

The use of traditional energy detectors (when likelihood ratio is determined solely and only by the energy of received signal) becoming difficult and practically impossible during detection of low-observable and low-contrast targets. The new topological (textural and fractal) criteria and stable detection methods of such objects were developed and validated. The new form and new method of present day radio detection and ranging were proposed, precisely – the fractal-scaling and scale-invariant radio detection and ranging. This leads to drastic changes in structure itself of the fundamental radio detection and ranging, and in its mathematical apparatus as well.

Keywords: radio detection and ranging (radiolocation), low-observable targets, texture, fractal, fractal dimension, images and signals processing.

Разработаны и обоснованы новые топологические (текстурные и фрактальные) признаки и методы обнаружения малококонтрастных объектов на фоне интенсивных шумов и помех. При обнаружении малоаметных и малококонтрастных целей, использование традиционных энергетических обнаружителей (когда отношение правдоподобия определяется исключительно и только энергией принимаемого сигнала) становится затруднительным или практически невозможным. Обнаружение таких объектов на фоне интенсивных помех неизбежно требует, чтобы предложить, а затем и вычислить принципиально новые характеристики и новый функционал, которые отличаются от функционалов, связанных с помехами и энергией сигнала, а определяется исключительно топологией и размерностью принятого сигнала.

Предложен новый вид и новый метод современной радиолокации, а именно, фрактально-скейлинговая или масштабно-инвариантная радиолокация. Это влечет за собой коренные изменения в самой структуре теоретической радиолокации, а также в ее математическом аппарате. Теория топологического (текстурного и фрактального) обнаружения необходима для целей переосмысления прежней теории и получения на этой основе новых результатов, не доступных для традиционных представлений классической радиолокации. Таким образом, топологическое обнаружение открывает двери в совершенно новую область теории статистических решений и

статистической радиотехники, а также позволяет скорректировать бытующие в этой области представления и методы, и создать новые, что имеет важное теоретическое и практическое значение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бункин Б.В., Реутов А.П., Потапов А.А. и др. Вопросы перспективной радиолокации (Коллективная монография) / под ред. А.В. Соколова. – М.: Радиотехника, 2003. – 512 с.
2. Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации. – М.: Логос, 2002. – 664 с.
3. Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации: Топология выборки. – М.: Университетская книга, 2005. – 848 с.
4. Потапов А. А. Фракталы и хаос как основа новых прорывных технологий в современных радиосистемах. – Дополнение к кн.: Кроновер Р. Фракталы и хаос в динамических системах. Пер. с англ. / под ред. Т.Э. Кренкеля. – М.: Техносфера, 2006. – С.374–479.
5. Потапов А.А., Гуляев Ю.В., Никитов С.А., Пахомов А.А., Герман В.А. Новейшие методы обработки изображений / под ред. А.А. Потапова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
6. Подосенов С.А., Потапов А.А., Фоукзон Дж., Менькова Е.Р. Неголономные, фрактальные и связанные структуры в релятивистских сплошных средах, электродинамике, квантовой механике и космологии: В 3-х томах / под ред. А.А. Потапова. – М.: ЛЕНАНД, 2015. – 1128 с.
7. Rogers C.A. Hausdorff Measures. – London: Cambridge University Press, 1970. – 179 p.
8. Oldham K.B., Spanier J. The Fractional Calculus. – N.Y.: Academic Press, 1974. – 234 p.
9. Потапов А.А., Черных В.А. Дробное исчисление А.В. Летникова в физике фракталов. – Saarbrücken: LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 688 с.
10. Haralick R.M., Shanmugan K., Dinstein I. Textural Features for Image Classification // IEEE Trans. – 1973, V. SMC – 3, №6. – P.610–621.
11. Потапов А.А. Радиофизические эффекты при взаимодействии электромагнитного излучения миллиметрового диапазона волн с окружающей средой // Зарубежная радиоэлектроника. – 1992, №8. – С.36–76; №9. – С.4–28; №11. – С.23–48; – 1993, №3. – С.36–48; №7–9. – С.32–49; – 1994, №7/8. – С.11–30; – 1995, №1. – С.27–36 (монография в журнале).
12. Потапов А.А. Синтез изображений земных покровов в оптическом и миллиметровом диапазонах волн: дис... д-р физ.-мат. наук: (01.04.03). – М.: ИРЭ РАН, 1994. – 436 с.
13. Potapov A.A. The Textures, Fractal, Scaling Effects and Fractional Operators as a Basis of New Methods of Information Processing and Fractal Radio Systems Designing // Proc. SPIE. – 2009, V.7374. – P.73740E-1–73740E-14.
14. Потапов А.А. Новые информационные технологии на основе вероятностных текстурных и фрактальных признаков в радиолокационном обнаружении малоконтрастных целей // Радиотехника и электроника. – 2003, Т.48, № 9. – С.1101–1119.
15. Гнеденко Б.В. Колмогоров А.Н. Предельные распределения для сумм независимых случайных величин. – М.-Л.: Гостехиздат, 1949. – 264 с.
16. Потапов А.А. К теории функционалов стохастических полей обратного рассеяния // Радиотехника и электроника. – 2007, Т.52, №3. – С.261–310.
17. Potapov A.A., German V.A. Detection of Artificial Objects with Fractal Signatures // Pattern Recognition and Image Analysis. – 1998, V.8, №2. – P.226–229.
18. Потапов А.А., Герман В.А. Применение фрактальных методов для обработки оптических и радиолокационных изображений земной поверхности // Радиотехника и электроника. – 2000, Т.45, №8. – С.946–953.
19. Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации. Фрактальный анализ сигналов // Радиотехника и электроника. – 2001, Т.46, №3. – С.261–270.
20. Потапов А.А., Герман В.А. О методах измерения фрактальной размерности и фрактальных сигнатур многомерных стохастических сигналов // Радиотехника и электроника. – 2004, Т.49, №12. – С.1468–1491.
21. Гуляев Ю.В., Никитов С.А., Потапов А.А., Герман В.А. Идеи скейлинга и дробной размерности в схеме фрактального обнаружителя радиосигналов // Радиотехника и электроника. – 2006, Т.51, №8. – С.968–975.
22. Potapov A.A. Fractals and Scaling in the Radar: A Look from 2015 // Book of Abstracts 8th Int. Conf. (CHAOS' 2015) on Chaotic Modeling, Simulation and Applications (26–29 May 2015, Paris, France). – Paris: Henri Poincaré Institute, 2015. – P.102.
23. Потапов А.А. У истоков фрактально-скейлинговой или масштабно-инвариантной радиолокации (1980 – 2015) // Радиотехника. – 2015, №8. – С.95–108.
24. Потапов А.А. Обработка фрактально-скейлинговыми и интегральными методами нечетких изображений, полученных с беспилотных летательных аппаратов в режиме пролета над неоднородной местностью // Радиотехника. – 2016, №7. – С.119–124.
25. Потапов А.А. Фрактально-скейлинговая или масштабно-инвариантная радиолокация: открытие, обоснование и пути развития // Сборник научных статей по материалам II Всероссийской НПК «Авионика». – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2017. – С.143–152.
26. Potapov Alexander A. Chaos Theory, Fractals and Scaling in the Radar: A Look from 2015. – Глава 12 в книге: The Foundations of Chaos Revisited: From Poincaré to Recent Advancements / Ed. C. Skiadas. – Switzerland, Basel: Springer Int. Publ, 2016. – P.195–218.
27. Potapov Alexander A. On the Indicatrixes of Waves Scattering from the Random Fractal Anisotropic Surface. – Глава 9 в книге: Fractal Analysis – Applications in Physics, Engineering and Technology / Ed. Fernando Brambila. – Rijeka: InTech, 2017. – P.187–248.
28. Potapov Alexander A. Postulate «The Topology Maximum at the Energy Minimum» for Textural and Fractal-and-Scaling Processing of Multidimensional Super Weak Signals against a Background of Noises. – Глава 3 в книге: Nonlinearity: Problems, Solutions and Applications. – Vol. 2. – New York: Nova Science Publ, 2017. – P.35–94.

TEXTURAL AND FRACTAL-SCALING METHODS OF DETECTION, PROCESSING AND IDENTIFICATION OF WEAK RADAR SIGNALS AND SOFT IMAGES IN THE BACKGROUND OF HIGH-INTENSITY NOISES

A.A. Potapov

The new topological (textural and fractal) criteria and stable detection methods in the background of high-intensity noises and clutters were developed and validated. The use of traditional energy detectors (when likelihood ratio is determined solely and only by the energy of received signal) becoming difficult and practically impossible during detection of low-observable and low-contrast targets.

The detection of such objects in the background of high-intensity noises inevitably requires that to propose and then calculate the principally new characteristics and new functional, which differs from functional, connected with noises and signal energy, and is determined solely by the topology and length of received signal.

The new form and new method of present day radio detection and ranging were proposed, precisely – the fractal-scaling and scale-invariant radio detection and ranging. This leads to drastic changes in the structure itself of fundamental radio detection and ranging, and in its mathematical apparatus as well.

The topological (textural and fractal) detection theory is necessary for re-thinking of the previous theory and obtaining on this base the new results, inaccessible for traditional representations of the classical radio detection and ranging. Therefore, the topological detection opens a door to a completely new area of statistical decision theory and statistical radio technology, and permits to correct an existing in this area methods and perceptions, and set up new ones, that of high theoretical and practical importance.

Поступила 14 ноября 2017 года.

ПРИМЕНЕНИЕ СИЛ И СРЕДСТВ ВКО

УДК 623.465.732

СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ РАКЕТ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

© Авторы, 2018

Г.И. Андреев доктор технических наук, профессор,
генеральный директор, АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга», г. Москва
E-mail: post@cniti.ru

Ю.А. Спиридонов кандидат технических наук, лауреат Государственной премии СССР,
специалист, АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга», г. Москва

Н.Г. Бодрихин кандидат технических наук, лауреат премии им. И.М. Губкина,
специалист, АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга», г. Москва

В.М. Пахомов кандидат технических наук,
ведущий инженер, АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга», г. Москва

Представлена история создания отечественных комплексов средств противодействия ПРО, рассказано о применяемых средствах защиты баллистических ракет и космических аппаратов, об их совершенствовании, о работе США в этом направлении.

Ключевые слова: ракеты, перехват, средства противодействия ПРО, снижение радиолокационной заметности, ложные цели, активные помехи, противоракетная оборона.

The article states the development history of indigenous ABM defense countermeasures complexes, including existing protection means of ballistic missiles and space vehicles, its improvement, and US activity in this area.

Keywords: missiles, interception, antiballistic missile (ABM) defense/countermeasures, radar signature degradation, decoys, active jamming, missile defense.

В статье рассказана история создания отечественных комплексов средств преодоления ПРО, созданных как для баллистических ракет, так и для космических аппаратов. Показаны различные пути из разработки, зависящие как от научно-технических возможностей страны, так и от международной обстановки. Отдельное внимание в статье посвящено формированию и возможностям имитации так называемого «плазменного следа», формирующегося в атмосфере Земли при пролёте через неё боевых блоков с гиперзвуковыми скоростями. В статье прослежено создание аналогичных систем американцами, с указанием их планов создания систем и достигнутыми возможностями. Кратко рассказана история отношений соответствующего подразделения ЦНИРТИ – института, где создавались системы КСП ПРО с главными разработчиками баллистических ракет и космических аппаратов: королёвским КБ-1, институтом теплотехники, НПО машиностроения, Южмашем. Создание систем КСП ПРО стало одной из научных школ, созданных в ЦНИРТИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Кисунько Г.В.** Секретная зона: исповедь генерального конструктора. – М.: Современник, 1996.
2. ЦНИРТИ – 70 лет / под ред. Б.С. Лобанова и Ю.С. Бондарева. – М.: ФГУП «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга», 2013.

BALLISTIC MISSILES AND SPACE VEHICLES PROTECTION SYSTEMS

G.I. Andreev, Y.A. Spiridonov, N.G. Bodrihin, V.M. Pahomov

The article considers the development history of indigenous missile penetration aids complexes, engineered as for ballistic missiles and space vehicles. Various approaches of its development are demonstrated, depending both on scientific and technical country capabilities and on international situation. Another attention is paid to forming and imitation possibilities of the so called «plasma wake», formed in the atmosphere during fly-through it of warheads at hypersonic velocities. The article traces the analog US systems, specifying the research and development plans and achieved capabilities. The article briefly describes the history of corresponding department of the A.I. Berg Central scientific research radio-engineering institute (CNIRTI), where missile penetration aids systems had been developed along with chief design engineers of ballistic missiles and space vehicles from the following establishments: S.P. Korolev Design bureau №1 (KB-1), Thermal engineering institute, JSC Machinery engineering Research and Manufacturing Corporation («NPO «Mashinostroeniya»), Manufacturing Corporation «South machinery factory («Uzhmash»)). The development of missile penetration aids systems was carried out by one of the scientific schools, established in CNIRTI.

Поступила 12 сентября 2017 года.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ЦЕЛЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖДУ БОЕВЫМИ МАШИНАМИ ЗЕНИТНЫХ РАКЕТНО-ПУШЕЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ

© Авторы, 2018

В.Г. Слугин

главный конструктор по комплексам противовоздушной обороны,
АО «КБ приборостроения им. академика А.Г. Шипунова», г. Тула
E-mail: kbkedr@tula.net

А.А. Зубарев

зам. гл. конструктора по комплексам противовоздушной обороны,
начальник отделения, АО «КБ приборостроения им. академика А.Г. Шипунова», г. Тула

О.Ю. Шевцов

зам. гл. конструктора по комплексам противовоздушной обороны,
АО «КБ приборостроения им. академика А.Г. Шипунова», г. Тула

А.Я. Мехтиев

начальник отделения, АО «КБ приборостроения им. академика А.Г. Шипунова», г. Тула

В.А. Ковешников кандидат технических наук,

ведущий инженер, АО «КБ приборостроения им. академика А.Г. Шипунова», г. Тула

Задача распределения целей между боевыми машинами (БМ) батареи является одной из задач организационного типа, к её решению можно подойти по-разному, начиная с самой простой интуитивной логики целераспределения, вплоть до многокритериального направленного поиска решения. На основе оценок для каждой цели соответствующих значений критерия (времени подлёта), использования двухуровневой процедуры ранжирования, а также специальной схемы привязки БМ к целям разработан декомпозиционный метод решения, который за сотые доли секунды позволяет сформировать оптимальное решение для большого количества целей в условиях полного либо частичного наличия боекомплекта. Разработанный метод применим для различных систем вооружения с множеством целей и несколькими единицами однотипных боевых машин.

Ключевые слова: боевые действия, целераспределение, эффективность, моделирование, оптимизация, декомпозиция.

The problem of target distribution between battery combat vehicles (CV) is one of the organizational-type problems and the solution to such problem can be approached in different ways, starting from intuitive logic of target distribution up to multi-criteria directed search for solution. Based on the estimation for each target of corresponding criterion values (approach time), on implementation of two-level rating system as well as the special layout of CVs assignment to targets the decomposing solution method was developed, which within centiseconds enables to shape the optimal solution for a large amount of targets under the conditions of full or partial ammo load availability. The designed method is applicable for different weapon systems with multiple targets engagement capability and consisting of several single-type combat vehicles.

Keywords: combat operations, target distribution, efficiency, modelling, optimization, decomposition.

Решение задачи целераспределения затрагивает анализ состояния двух подсистем: боевые машины батареи (БМ) и набор целей. Наиболее ценной информацией в контексте рассматриваемой задачи является местоположение цели и скорость её перемещения. Среди нескольких дополнительных факторов следует отметить количественные (число ракет) и качественные характеристики (типы ракет) систем вооружения БМ, а также динамические индикаторы активации целей относительно каждой БМ, фиксирующие отказ работы БМ с некоторой целью как результат работы любой подсистемы этой боевой машины. Логика указывает на перспективу поиска для каждой цели (Ц_i) наиболее близко расположенной машины (БМ_j), так как в этом случае вероятность своевременного поражения цели наиболее высока. Однако, если типы целей разные, то и скорости перемещения могут существенно различаться, в этом случае в качестве критерия значимости цели должно выступать подлётное время до БМ, то есть $t_{ij} = r_{ij}/v_{ij} = t_{ij}$. Именно такая гипотеза положена в основу решения рассматриваемой задачи.

С формальной точки зрения задача сводится к поиску варианта распределения набора целей между БМ батареи, при котором значение критерия будет минимальным с учётом ограничений по наличию ракет на каждой БМ и их типам (не допустимая взаимосвязь по вооружению), а также требований (ограничений) других подсистем БМ по реализации конкретного распределения (не допустимая взаимосвязь). Если неопределённость оценивать количеством возможных решений (N), то для десяти целей и шести БМ неопределённость целераспределения составит $6^{10}=60466176$ вариантов, при ста целях $N=6^{100}\approx 10^{78}$. Реализация такого количества вариантов невозможна, поэтому требуется некоторое упрощение, декомпозиция задачи, позволяющие разрешить эту ситуацию, уменьшить объем вычислительных работ, значительно сократить время. В стандартной постановке задача целераспределения схожа с транспортной задачей и задачей о назначениях. Если количество целей превышает объем вооружения, то ситуация меняется принципиально как в боевом отношении так и в плане управления ею. Задача усложняется так же и с формальной точки зрения, переходит в разряд нестандартных нелинейных дискретных задач с нарушенным балансом ресурсов и точного решения не имеет.

На основе оценок для каждой цели соответствующих значений критерия (времени подлёта либо расстояния), двухуровневой схемы ранжирования (сначала по «горизонтали» – в результате для каждой цели выстраивается ранжированный список указателей приоритета БМ, начиная от самой эффективной вплоть до минимально привлекательной в этом плане, а затем по «вертикали» – в результате определяется список ранжированных целей и соответствующих БМ), а также специальной привязки БМ к целям по логики «наиболее важным целям выделять лучшие ресурсы» разработан декомпозиционный метод решения, который за тысячные доли секунды позволяет сформировать оптимальное решение (точнее субоптимальное) для большого количества целей вплоть до 1000. Качество решений сравнивалось с результатами, получаемыми методом полного перебора и случайно-генетическим алгоритмом.

Метод применим для различных систем вооружения с множеством целей и несколькими единицами однотипных БМ в состояниях полного либо частичного наличия боекомплекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гэри М., Джонсон Д.** Вычислительные машины и трудно решаемые задачи. – М.: Мир, 1982. – 416 с.
2. **Моисеев Н.Н.** Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 448 с.
3. **Гиг ван Дж.** Прикладная общая теория систем. – М.: Мир, 1981. – 336 с.

SOLUTION OF TARGET DISTRIBUTION PROBLEM BETWEEN COMBAT VEHICLES OF AIR DEFENSE MISSILE AND GUN SYSTEMS

V.G. Slugin, A.A. Zubarev, O.U. Shvetsov, A.Ya. Mekhtiev, V.A. Koveshnikov

The solution of the target distribution problem touches upon the analysis of two subsystems: battery combat vehicles (CV) and set of targets. The most valuable information in this regard is the location of the target and its velocity. Among several additional factors the following are to be mentioned: quantitative (amount of missiles) and qualitative specifications (missile type) of the CV weaponry, as well as dynamic indicators of targets activation relative to each CV, indicating the failure in CV operation with some target as a result of any subsystem operation of this CV. Logically it seems prospectus to search each target (T_i) by a CV which is most closely located (CV_j), since in this case the probability of timely target engagement is the highest. Nevertheless, if the target types are different, its flight velocities can significantly vary, and in this case the approaching time to a CV should be the main criterion, thus $f_{ij} = r_{ij} / v_{ij} = t_{ij}$. This hypothesis is the basis to resolve the examined problem.

Formally the task is reduced to only searching the options of targets set distribution between battery CVs, at which the value of this criterion will be minimal, taking into account the limitation of the missiles on each CV and its type (unacceptable correlation in terms of weaponry), as well as requirements (limitations) of other CV subsystems in terms of realization of each specific target distribution (unacceptable correlation). Should

the uncertainty be evaluated by the number of possible solutions (N), for ten targets and six CVs the uncertainty of target distribution will be $6^{10} = 60466176$ options, in case there are 100 targets $N = 6^{100} \approx 10^{78}$. The realization of such amount of options is impossible, that is why a definite simplification, task decomposition is required, permitting to resolve this problem, reduce the amount of calculations, significantly reducing the time required. In standard situation, the target distribution problem is similar to routing problem or assignment problem. If the amount of targets exceeds the weaponry volume, the situation changes drastically both in combat terms and in terms of its control. The problem becomes even more formally sophisticated, it turns into a non-standard nonlinear discrete problems category with disrupted balance of resources and has no exact solution.

Based on each-target evaluation of respective criterion values (approach time or range), two-level rating system (first «horizontally» – as a result for each target a ranged list of CV priority indicators will be generated, starting with the most efficient to the least efficient in these terms, and then «vertically» – as a result the list of rated targets and corresponding CVs will be defined), as well as special assignment of CVs to targets in compliance with the «best resources for priority targets» logic, the decomposed solution method was developed, which within the thousandths of split second allows to shape an optimal decision (suboptimal to be more exact) for a large number of targets up to 1000. The quality of solutions was compared to the results achieved by the exhaustive method and the random-genetic algorithm. The method is applicable for various weapon systems with multiple targets engagement capability and several single-type CVs in the condition of complete or partial availability of the ammunition load.

Поступила 26 июня 2017 года.

ИССЛЕДОВАНИЯ В СФЕРЕ ПРОЕКТНО- КОНСТРУКТОРСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ

УДК 621.36

ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛИ НА ОСНОВЕ УГЛЕВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В СИСТЕМАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА АППАРАТУРЫ РЛС

© Авторы, 2018

А.А. Арешкин, доктор технических наук,
ведущий инженер КТК, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: info@raspletin.com

И.Б. Аверин кандидат технических наук,
начальник КТК, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

И.В. Бойцов
ведущий инженер КТК, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
А.Д. Елисеев кандидат технических наук,
начальник отдела КТК, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

Проведены исследования, разработка и внедрение широкого спектра электронагревательных устройств на основе углеволоконных материалов в аппаратуре РЛС. Определена максимальная допустимая температура нагревателей. Приведены примеры конструкций электронагревательных элементов.

Ключевые слова: электронагреватель, углеволокно, радиоэлектронная аппаратура, система обеспечения теплового режима.

The research, development and implementation of wide variety of electrical heaters based on carbon-fiber material in radar equipment were carried out. The maximum withstand temperature of electrical heaters was defined. The electrical heaters design examples were listed.

Keywords: electrical heater, carbon fiber, electronic equipment, thermal control system.

Проведены исследования, разработка и внедрение широкого спектра электронагревательных устройств на основе углеволоконных материалов в аппаратуре РЛС. Определена максимальная допустимая температура нагревателей. Приведены примеры конструкций электронагревательных элементов. Нагревательные элементы из углеволоконных материалов являются стабильными при длительной эксплуатации. Например, испытание нагревательного элемента модуля ФАР в течение более 12000 часов на протяжении 7 лет показало изменение его сопротивления менее 3%. Таким образом, проведенные исследования и разработка широкого спектра электронагревательных устройств на основе углеволоконных материалов показали их перспективность для использования в системах обеспечения тепловых режимов аппаратуры РЛС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технические условия ТУ 3558-013-18070047-00. Провод нагревательный с углеволокнистой токопроводящей жилой.

***CARBON-FIBER ELECTRICAL HEATERS
IN THERMAL CONTROL SYSTEMS OF RADAR EQUIPMENT***

A.A. Areshkin, I.B. Averin, I.V. Boitcov, A.D. Eliseev

The research, development works and implementation of wide variety of electrical heaters based on carbon-fiber material in radar equipment were carried out. The maximum withstand temperature of electrical heaters was defined. The electrical heaters design examples were listed. The carbon-fiber heating elements are stable at continuous operation. For example, the heating element test of phased antenna array (PAA) module within more than 12 000 hours during 7 years showed its resistance variation in less than 3%. Therefore, the fulfilled research and development works on wide variety of electrical heaters based on carbon-fiber material have demonstrated its potential for using in thermal control systems of radar equipment.

Поступила 14 ноября 2017 года.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И АНАЛИЗА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАКТОВ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

© Авторы, 2018

Ю.С. Атопшев

начальник сектора, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

E-mail: info@raspletin.com

А.В. Воронков

инженер 1 категории, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

Т.А. Корниенко

инженер 1 категории, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

А.М. Посев

начальник сектора, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

В настоящей статье представлен программно-аппаратный комплекс для измерения и анализа динамических характеристик трактов аналого-цифрового преобразования (АЦП) УСД-1. Этот комплекс позволяет принимать и передавать для дальнейшей обработки данные тракта АЦП в управляющую программу DataAcq, разработанную в рамках программы импортозамещения, в которой производится оценка динамических и шумовых характеристик собственно АЦП, функциональных ячеек с АЦП и блока преобразования сигналов в составе многофункционального радиолокатора. Разработанный комплекс позволяет измерять динамические характеристики тракта в диапазоне 100 дБ, работать с частотой дискретизации АЦП до 100 МГц. Максимальная скорость передачи данных по USB-интерфейсу составляет 12 Мбит/с. Максимальный размер обрабатываемого массива данных АЦП составляет 262144 16-разрядных значений.

***Ключевые слова:** сбор данных, программа, буферизация, интерфейс, обработка сигналов, данные, динамические характеристики, сигнал, спектр сигнала, АЦП.*

In this paper, we present a software and hardware complex for measuring and analyzing the dynamic characteristics of the ADCs, USD-1. This complex allows to receive and transmit for further processing the data of the ADC path to the DataAcq control program developed within the import substitution program in which the dynamic and noise characteristics of the ADC itself, the functional PCBs with the ADC and the signal conversion unit in the multifunctional radar are estimated. The developed complex allows to measure the dynamic characteristics of the path in the range of 100dB, to work with the sampling frequency of the ADC up to 100MHz. The maximum data transfer rate via the USB interface is 12 Mbit/s. The maximum size of the processed array of ADC data is 262144 16-bit words.

***Keywords:** data collection, program, buffering, interface, signal processing, dynamic characteristics, signal, signal spectrum, ADC.*

Для анализа динамических характеристик каналов аналого-цифрового преобразования (АЦП) в функциональных ячейках, входящих в состав блока преобразования сигналов, до последнего времени применялись программа анализа динамических характеристик тракта АЦП *PScope* и зарубежная плата сбора (США). Использование данной программы и платы сбора связано с рядом проблем. Авторами статьи был создан программно-аппаратный комплекс для измерения и анализа динамических характеристик трактов аналого-цифрового преобразования (АЦП) УСД-1. Этот комплекс позволяет принимать и передавать для дальнейшей обработки данные тракта АЦП в управляющую программу *DataAcq*, разработанную в рамках программы импортозамещения, в которой производится оценка динамических и шумовых характеристик

собственно АЦП, функциональных ячеек с АЦП и блока преобразования сигналов в составе многофункционального радиолокатора. Разработанный комплекс позволяет измерять динамические характеристики тракта в диапазоне 100 дБ, работать с частотой дискретизации АЦП до 100 МГц. Максимальная скорость передачи данных по USB-интерфейсу составляет 12 Мбит/с. Максимальный размер обрабатываемого массива данных АЦП составляет 262144 16-разрядных значений. Программно-аппаратный комплекс состоит из двух основных узлов: узел буферизации и узел интерфейса *USB*. Помимо сдачи аппаратуры, разработанный комплекс применяется для решения более широкого круга задач: измерение характеристик сигналов произвольной формы, исследование и изменение алгоритмов их обработки, исследование различных типов АЦП, в том числе отечественного производства. Это даёт возможность разрабатывать и исследовать тракты АЦП любой степени сложности, улучшать их динамические и шумовые характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Воронков А.В., Атопшев Ю.С., Игнатов Н.А., Лосев А.М.** Программа анализа динамических характеристик тракта аналого-цифрового преобразования // Сборник докладов VII НТК молодых учёных и специалистов «Актуальные вопросы развития систем и средств воздушно-космической обороны». – М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2017. – С.420–429.
2. **Ревич Ю.В.** Практическое программирование микроконтроллеров Atmel AVR на языке ассемблера. – 3-е изд., испр. // Электроника. – СПб.: БХВ – Петербург, 2014. – 368 с.: ил.
3. **Воробьева Г.С., Юрченков В.А., Мартемьянов С.М.** Проектирование CDC – устройств на микроконтроллерах со встроенным USB – модулем: учебно-методическое пособие. – Томск, 2010. – 72 с.
4. URL: www.ic.milandr.ru/products/atsp_i_tsap/5101nv015/?tab=DOCS.

SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX FOR MEASURING AND ANALYSIS OF ADC PATH DYNAMIC CHARACTERISTICS

U.S. Atopshev, A.V. Voronkov, T.A. Kornienko, A.M. Losev

To analyze the dynamic characteristics of the analog-to-digital (ADC) channels in functional cells included in the signal conversion unit, the program for analyzing the dynamic characteristics of the ADC path, PScope and the foreign collection board (USA) was used until recently. The use of this program is associated with a number of problems. The authors of the article created a software and hardware complex for measuring and analyzing the dynamic characteristics of ADCs, USD-1. This complex allows to receive and transmit for further processing the data of the ADC path to the DataAcq control program developed within the import substitution program in which the dynamic and noise characteristics of the ADC itself, the functional cells from the ADC and the signal conversion unit in the multifunctional radar. The developed complex allows to measure the dynamic characteristics of the path in the range of 100 dB, to work with the sampling frequency of the ADC to 100 MHz. The maximum data transfer speed via USB-interface is 12 Mbit/s. The maximum size of the processed array of ADC data is 262144 16-bit values. The hardware and software complex consists of two main nodes: a buffering node and a USB-interface node. In addition to delivery of equipment, the developed complex is used to solve a wider range of tasks: measuring the characteristics of arbitrary waveforms, researching and changing algorithms for their processing, researching various types of ADC's, including domestic production. This makes it possible to develop and explore ADC tracks of any complexity, to improve their dynamic and noise characteristics.

Поступила 27 марта 2018 года.

УДК 621.375.1

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ НЕКОГЕРЕНТНОГО ПРИЁМА ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ СТРУКТУРНЫХ ПОМЕХАХ

© Авторы, 2018

А.В. Галев кандидат технических наук,
доцент кафедры «Радиоэлектронные системы и устройства», МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва
E-mail: agalev2@yandex.ru

С.С. Юдачев кандидат технических наук,
доцент кафедры «Радиоэлектронные системы и устройства», МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва
E-mail: judachev@gmail.com

Рассмотрена помехоустойчивость некогерентного приёма широкополосных сигналов при структурных помехах и гауссовском шуме. Предполагается, что замирания сигнала и структурной помехи отсутствуют. Получено выражение для вероятности ошибки приёма элемента сигнала в зависимости от отношений «сигнал/шум», «помеха/сигнал» и взаимной корреляции между сигналом и помехой.

Ключевые слова: помехоустойчивость, некогерентный приём, широкополосный сигнал, структурная помеха, вероятность ошибки, отношение «сигнал/шум», взаимная корреляция.

Noise immunity of wideband signals non-coherent receiving at adjacent-channel interference and Gaussian noise is considered. It is assumed that signal fading and adjacent-channel interference do not exist. Bit error rate of receiving wideband signal was obtained as a function of signal-to-noise ratio, signal-to-interference ratio and cross correlation between signal and interference.

Key words: noise immunity, non-coherent receiving, wideband signal, adjacent-channel interference, bit error rate, signal-to-noise ratio, cross correlation.

В статье рассматривается помехоустойчивость широкополосных систем при действии структурных помех и шума в канале. Объектами исследования являются широкополосные системы некогерентного приема с ортогональными сигналами.

Предполагается, что коэффициенты передачи и начальные фазы сигнала и структурной помехи, заданные своими законами распределения, статистически независимы, а также отсутствуют замирания сигнала и структурной помехи. Исследуется действие сначала одной структурной помехи, а затем нескольких. Вводятся коэффициенты корреляции по огибающим и производятся некоторые упрощения.

Итогами исследования стали выражения для определения вероятности ошибки при приеме сигналов в зависимости от степени взаимной корреляции помехи и полезного сигнала, соотношения их мощностей и уровня шума в канале. Результаты исследования могут быть использованы для анализа помехоустойчивости широкополосных систем с шумоподобными сигналами при наличии шумов и структурных помех.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Калмыков В.В., Федоров И.Б., Юдачев С.С.** Системы сотовой и спутниковой связи. – Изд-во «Рудомино», 2010. – 280 с.
2. **Скляр Бернанд.** Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр. Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
3. **Proakis J.G.** *Digital Communications*, 4th ed. – New York: McGraw, Hill, 2000.
4. **Варакин Л.Е.** Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.

5. **Нахмансон Г.С., Стародубцева Е.А.** Эффективность приёма фазоманипулированного широкополосного сигнала с квадратурной фазовой модуляцией в условиях взаимных помех и внутренних шумов аппаратуры // Известия вузов России, Серия «Радиоэлектроника». – 2015, Выпуск №2. – С.10.
6. **Галев А.В., Косолапов А.С.** Исследование влияния структурных помех на помехоустойчивость систем с широкополосными шумоподобными сигналами при когерентном приёме. Наука и образование: электронное научно-техническое издание. Эл. № ФС 77-30569/400050.04, 2012.
7. **Тихонов В.И.** Статистическая радиотехника. – М.: Радио и связь, 1982. – 624 с.

NOISE IMMUNITY OF WIDEBAND SIGNALS NON-COHERENT RECEIVING AT ADJACENT-CHANNEL INTERFERENCE

A.V. Galev, S.S. Iudachev

The article considers noise immunity of wideband systems under adjacent-channel interference and noise in channel. The objects of research are wideband systems of non-coherent receiving with orthogonal signals. It is assumed that the transfer coefficients and initial phases of signal and adjacent-channel interference, determined by its distribution laws, are statistically independent and there is no fading of signal and adjacent-channel interference. At first the effect of one adjacent-channel interference is examined, then of several. Correlation coefficients for envelopes are introduced and some simplifications are made. The results of the research were expressions for determining bit error rate at signals receiving depending on degree of mutual correlation of adjacent-channel interference and friendly signal, ratio of its powers and noise level in channel. The research results can be used for noise immunity analysis of wideband systems with noise-like signals in presence of noises and adjacent-channel interference.

Поступила 24 июля 2017 года.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ПЛАНАРНОГО СО-ЛАЗЕРА С ВЧ-НАКАЧКОЙ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

© Авторы, 2018

А.П. Минеев кандидат физико-математических наук, доцент,
зам. директора – зав. лабораторией, ФГБУН ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва
E-mail: Mineev@kapella.gpi.ru

С.М. Нефедов

старший научный сотрудник, ФГБУН ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва

П.П. Пашинин доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН,
главный научный сотрудник, ФГБУН ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва

П.А. Гончаров кандидат технических наук,
старший научный сотрудник, ФГБУН ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва

В.В. Киселев кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник, ФГБУН ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва

П.А. Дроздов кандидат технических наук,
зам. начальника СКБ, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

Приводятся результаты исследований характеристик излучения отпаянного газоразрядного планарного СО-лазера с ВЧ накачкой (40.68 МГц) и диффузионным охлаждением активной среды. Охлаждение электродов разряда проводилось проточной водой при комнатных температурах от 7 до 16 °С. В экспериментах использовались устойчивый и неустойчивый оптические резонаторы, на которых достигнута выходная мощность излучения 41 и 21 Вт соответственно. Проведена оптимизация коэффициента связи неустойчивого резонатора путем введения в его схему дополнительного зеркала, что позволило увеличить выходную мощность лазера на 60 – 80% и значительно скомпенсировать различие в расходимости лазерного излучения по пространственным осям. Исследована зависимость выходной мощности СО-лазера от парциального содержания азота. Показано, что СО-лазеры при комнатной температуре работают более эффективно, когда в рабочей смеси газов содержание азота больше окиси углерода в 3, ..., 5 раз.

Ключевые слова: планарный СО-лазер, ВЧ-разряд, устойчивый и неустойчивый оптические резонаторы.

The research results of radiation characteristics of sealed-off gas-discharge planar RF-excited CO-laser (40, 68 MHz) and diffusion cooling of active medium are provided. Discharge electrode cooling was performed with flowing water at temperature from +7 up to + 16 °C. The stable and unstable optical resonators were used during research works, which achieved beam output power of 41 and 21 W correspondingly. Coupling coefficient optimization of unstable resonator was done via introducing the additional mirror into its circuit that permitted to increase laser output power in 60 – 80% and significantly balance the difference in laser radiation divergence along solid axes. The CO-laser output power dependence on partial nitrogen content was examined. It was demonstrated that CO-lasers operate more effectively at room temperature, when in gas mixture the nitrogen content is more than carbonic oxide in 3, ..., 5 times.

Keywords: planar CO-laser, radio frequency discharge, stable and unstable optical resonators.

Исследованы характеристики излучения отпаянного газоразрядного планарного СО-лазера с ВЧ накачкой (40.68 МГц) и диффузионным охлаждением плазмы разряда без прокачки рабочей смеси газов СО:N₂:He:Хе:О₂=1:4:11:4:0.2. Исследования проводились на образцах СО-лазеров, созданных на основе двух электродно-волноводных планарных структур с размером плазмы разряда: 2.7x38x485 мм и 2,7x40x375 мм. Электроды ВЧ-разряда охлаждались проточной водой с температурой от +7 до +16 °С.

В экспериментах использовались устойчивый и неустойчивый оптические резонаторы, на которых достигнута выходная мощность излучения 41 и 21 Вт соответственно. Устойчивый оп-

тический резонатор образован глухим зеркалом, имеющим радиус кривизны 3 м, отражение ~99%, и выходным диэлектрическим плоским зеркалом с пропусканием 8%. Конфокальная схема неустойчивого оптического резонатора отрицательной ветви диаграммы устойчивости была образована сферическими многослойными диэлектрическими зеркалами с коэффициентами отражения ~99% и радиусами кривизны зеркал 379,3 мм и 431,1 мм.

В лазере с устойчивым резонатором исследована зависимость выходной мощности СО-лазера от парциального содержания азота в рабочей смеси газов. Показано, что СО-лазеры при комнатной температуре работают более эффективно, когда в рабочей смеси газов содержание азота больше окиси углерода в 3 ...5 раз.

Проведена оптимизация коэффициента связи неустойчивого резонатора путем введения в его схему дополнительного зеркала, что позволило увеличить выходную мощность лазера на 60 – 80% и значительно скомпенсировать различие в расходимости лазерного излучения по пространственным осям. Увеличение выходной мощности лазера связано, как с оптимизацией коэффициента пропускания, так и с увеличением объема выходной моды и расходимости лазерного излучения по оси y – от 3.27 до 5.43 мрад. Отражённое от дополнительного зеркала лазерное излучение, по-видимому, эффективно усиливается на периферийных (удалённых от центра) участках активной среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Zhao H., Baker H.J., Hall D.R.** Area scaling in slab RF excited carbon monoxide lasers // *App. Phys Lett.* 59. – 1994. – P.1281–1283.
2. **Mineev A.P., Nefedov S.M., Pashinin P.P.** RF Excited Planar CO₂-Laser with Hybrid Waveguide-Unstable Resonator Cavities. – *Proceeding SPIE*, 1999, V.3686. – P.35–42.
3. **Минеев А.П., Нефедов С.М., Пашинин П.П.** Высокочастотный планарный СО₂-лазер с полностью металлической электродно-волноводной структурой и неустойчивым резонатором // «Квантовая электроника». – 2006, Т.36, №7. – С.656–663.
4. **Mineev A.P., Nefedov S.M., Pashinin P.P., Goncharov P.A., Kiselev V.V.** Radio frequency excited planar CO₂- and CO-lasers. – *Proc. SPIE*, 2011, V.7994, 799402.
5. **Минеев А.П., Нефедов С.М., Пашинин П.П., Гончаров П.А., Киселев В.В., Дроздов А.П.** Применение СВЧ-разряда для накачки планарных СО₂ – и СО-лазеров // Вестник Казанского ГТУ. – 2011, №15. – С.40–43.
6. **Минеев А.П., Нефедов С.М., Пашинин П.П., Гончаров П.А., Дроздов А.П., Киселев В.В.** Планарный Хе-лазер с непрерывной высокочастотной накачкой // Квантовая электроника. – 2012, 42(7). – С.575–579.
7. **Минеев А.П., Нефедов С.М., Пашинин П.П., Гончаров П.А., Киселев В.В., Дроздов А.П.** Планарный газоразрядный СО-лазер с ВЧ-накачкой // Журнал Вестник воздушно-космической обороны. – М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2015, №3(7). – С.47–51.
8. **Meitland A., Dunn M.** Introduction to the physics of lasers. – М., Science, 1978. – P.206.
9. **Звелто О.** Принципы лазеров: Пер. с англ. – 3-е перераб. и доп. изд. – М.: Мир, 1990.
10. **Алейников В.С., Масычев В.И.** Лазеры на окиси углерода. – М.: Радио и связь, 1990.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF RF-EXCITED PLANAR CO-LASER OPERATION AT ROOM TEMPERATURE

A.P. Mineev, S.M. Nefedov, P.P. Pashinin, P.A. Goncharov, V.V. Kiselev, P.A. Drozdov

The characteristics of sealed-off gas-discharge planar RF-excited CO-laser (40, 68 MHz) and diffusion cooling of discharge plasma without pumping of gas mixture CO:N₂:He:Xe:O₂=1:4:11:4:0.2. The research works were carried out on CO-lasers prototypes developed on the base of two electrode-waveguide planar structures with discharge plasma size: 2.7x38x485 mm and 2,7x40x375 mm. Electrodes of high-frequency discharge was cooled by flowing water at temperature from +7 up to + 16 °C.

The stable and unstable optical resonators were used during research works, which achieved beam output power of 41 and 21 W correspondingly. The stable optical resonator comprises of nontransmitting mirror with 3 meters of curvature radius, reflection ~99%, and output dielectric plane mirror with 8% of transmission. Confocal circuit of unstable optical resonator of stability diagram negative leg was formed by spherical multilayered dielectric mirrors with ~99% reflection coefficients and curvature mirrors radius of 379.3 mm and 431.1 mm.

For CO-laser with stable resonator the dependence of output power on partial nitrogen content in gas mixture was examined. It was demonstrated that CO-lasers operate more effectively at room temperature, when in gas mixture the nitrogen content is more than carbonic oxide in 3...5 times.

Coupling coefficient optimization of unstable resonator was done via introducing an additional mirror into its circuit that permitted to increase laser output power in 60–80 % and significantly balance the difference in laser radiation divergence along solid axes. Increasing of the laser output power in connected both with transmission coefficient optimization and with increasing of output mode volume and laser radiation divergence in y axis – from 3.27 up to 5.43 mR. The reflected from an additional mirror laser radiation apparently is effectively intensified at peripheral (remoted from the center) areas of an active medium.

Поступила 12 сентября 2017 года.

ПРИМЕНЕНИЕ СПОСОБА АПОДИЗАЦИИ SVA ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ УРОВНЯ БОКОВЫХ ЛЕПЕСТКОВ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ПРИЁМНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ БЕЗ УВЕЛИЧЕНИЯ ШИРИНЫ ОСНОВНОГО ЛЕПЕСТКА

© Авторы, 2018

А.В. Новиков кандидат технических наук,
доцент кафедры радиотехнических систем, ФГБОУ ВО «ТУСУР», г. Томск
E-mail: novikov@micran.ru

В.А. Хлусов доктор технических наук,
ведущий специалист, АО НПФ «Микран», г. Томск

Предложено применение известной [1, 2] процедуры аподизации SVA (spatial variant apodization), позволяющей снизить уровень боковых лепестков (УБЛ) диаграммы направленности (ДН) антенной решётки без увеличения ширины основного лепестка ДН, как это имеет место при введении неравномерного амплитудного распределения по апертуре решётки [3]. УБЛ определяется точностью калибровки каналов антенной решётки по амплитуде и фазе. Платой за уменьшение УБЛ является введение вычислителя, осуществляющего трёхточечную параметрическую фильтрацию.

Ключевые слова: аподизация, антенная решётка, параметрическая фильтрация, диаграмма направленности, калибровка, апертура, амплитудное распределение, цифровая обработка.

The application of spatially variant apodization (SVA) known procedure [1, 2] is proposed in the article, which permits to reduce side-lobe level (SLL) of antenna array directional pattern (DP) without main DP lobe width increase, as it stands during introducing of nonuniform amplitude distribution (AD) over antenna array aperture [3]. The SLL is determined by calibration accuracy of antenna array channels in amplitude and phase. The SLL decrease is done due to evaluator introduction providing a three-point parametric filtering.

Keywords: apodization, antenna array, parametric filtering, directional pattern, calibration, aperture, amplitude distribution, digital processing.

В статье рассматривается применение способа адаптивного спектрального оценивания (*Spatially Variant Apodization, SVA*) для снижения уровня боковых лепестков (УБЛ) приёмной антенной решётки. Предлагаемый способ по своей сути является способом формирования диаграммы направленности решетки на прием и позволяет снизить УБЛ, допустим, 128-элементной решётки, до -30 дБ в присутствии случайных ошибок калибровки антенных элементов, допустим 5.8 градусов по фазе и 0.5 дБ по амплитуде. Вычислительная стоимость предлагаемого способа (при его цифровой реализации) составляет около $3N$ операций вместо N операций при обычном суммировании сигналов с N элементов решётки.

Предлагаемый способ может быть реализован только на приём. Нелинейность метода SVA не позволяет воспользоваться достоинствами SVA на передачу, потому что при использовании SVA нарушается связь между диаграммой направленности и распределением поля по апертуре решётки (нарушается принцип взаимности «передача-приём»).

Исследования метода SVA для плоских областей [2] показывают возможность применения этого метода для плоских антенных решёток.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Russell J. Iannuzzelli.** Adaptive windowing of FFT data for increased resolution and sidelobe rejection. – Patent 6 298 363 US, 02 October 2001.
2. **Stankwitz H.C., Dallaire R.J., Fienup J.R.** Nonlinear Apodization for Sidelobe Control in SAR Imagery // *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems.* – 1995, January, Vol.31, №1. – P.267–279.
3. Справочник по радиолокации // под ред. М. Скольника. – Нью-Йорк, 1970. Пер. с англ. (в четырёх томах) / под общей ред. К.Н. Трофимова. Том 2. Радиолокационные антенные устройства / под ред. П.И. Дудника. – М.: Сов. Радио, 1977. – 408 с.
4. **Jung Ah Choi Lee, David C. Jr. Munson.** Spatially variant apodization for image reconstruction from partial Fourier data // *IEEE Transactions on Image Processing.* – 2000, November, Vol.9, Issue 11. – P.1914–1925.
5. **Jung Ah Choi Lee, David C. Jr. Munson.** Effectiveness of spatially-variant apodization // *Proceedings 1995 International Conference on Image Processing, Washington D.C.* – 1995, October 23-26, Vol.1. – P.147–150.
6. **Петров В.П.** Алгоритмы оценки пространственного спектра в адаптивных цифровых антенных решётках // *Вестник СибГУТИ.* – 2014, №4. – С.60–70.
7. **Harris F.J.** On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform // *Proc. IEEE.* – 1978, January, Vol.66. – P.51–83.

APPLICATION OF SPATIALLY VARIANT APODIZATION METHOD TO REDUCE SIDE-LOBE LEVEL OF RECEIVING ANTENNA ARRAY WITHOUT MAIN LOBE WIDTH INCREASE

A.V. Novikov, V.A. Hlусov

The article considers an adaptive spectral estimation technique (Spatially Variant Apodization, SVA), a novel beamformer, to reduce side-lobe level (SLL) of receiving linear array. The proposed technique reduces the SLL compared with the uniform linear array at the same time saving the main lobe width. For example, the SLL of 128-element linear array can be reduced up to 30 dB in the presence of the phase and amplitude errors (5.8 degrees r.m.s. and 0.5 dB r.m.s. respectively). The computational cost of proposed technique (at its digital realization) is about $3N$ operations instead of N operations at common signal integration with N -elements of an array.

The proposed SVA beam former can be realized for the receiving only. Nonlinearity of the SVA technique does not allow using SVA advantages for transmission, because in case of SVA use the relation between directional pattern (DP) and array aperture illumination is broken («transmission-receiving» reciprocity principle is broken). The total radiation pattern of the SVA linear array and amplitude field distribution are not related by the Fourier transform.

The research works of SVA technique for two-dimensional case [2] demonstrate application possibility of the proposed method for planar antenna arrays.

Поступила 14 ноября 2017 года.

СИГНАЛ С ОБРАТНОЙ СИНУСОИДАЛЬНОЙ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

© Авторы, 2018

В.С. Оконешников доктор технических наук,
советник генерального конструктора по ПРО, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: info@raspletin.com

В.Н. Завалий доктор технических наук,
советник генерального директора, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

А.В. Иванов
начальник отдела, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

В.В. Иванов
ведущий инженер, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

Рассматривается радиолокационный сигнал с прямоугольной огибающей и нелинейной частотной модуляцией, задаваемый модулем спектра в форме косинуса. Получена аналитическая зависимость изменения частоты от времени в виде арксинусной частотной модуляции. Представлены результаты моделирования по вычислению сигнала на выходе согласованного фильтра при обработке полной и ограниченной ширины спектра. Показана целесообразность использования усеченной арксинусной ЧМ для сосредоточения ширины спектра в допустимой полосе частот.

Ключевые слова: сигналы с линейной и нелинейной частотной модуляцией (ЧМ), аналитическая зависимость изменения частоты от времени, арксинусная ЧМ, полоса спектра, сжатый сигнал, согласованный фильтр, уровень боковых лепестков (УБЛ), усеченная арксинусная ЧМ, сосредоточение спектра.

The radar impulse with square envelope and nonlinear frequency modulation (NFM), defined by spectrum modulus in form of cosine, is examined. The analytic dependence of frequency to time change was obtained in form of arcsine FM. The modeling results in computing of signal at output of matched filter at processing of full and limited spectrum width were provided. The utility of compressed arcsine FM use for spectrum width concentration in admissible frequency bandwidth was demonstrated.

Keywords: linear (chirp) and nonlinear frequency modulation (FM) signals, analytic dependence of frequency to time change, arcsine FM, spectral band, compressed signal, matched filter, side-lobe level (SLL), compressed arcsine FM, spectrum concentration.

Из класса НЧМ-сигналов с прямоугольной огибающей и спектром косинус в n степени рассматривается сигнал при $n=1$. Получена аналитическая зависимость частоты от времени как арксинус в пределах главных значений. Показано, что спектр этого сигнала имеет форму гладкой неограниченной функции, что позволяет получить низкий уровень боковых лепестков (УБЛ) сжатого сигнала, порядка -60 дБ при согласованной фильтрации. Ограничение полосы фильтра сжатия (несогласованная фильтрация, потери) до величины равной девиации частоты увеличивает УБЛ до -30 дБ. Рассмотрена возможность сосредоточения спектра в более узкой полосе частот путем усечения, ограничения пределов арксинуса меньше главных значений, что позволяет получить УБЛ -30 дБ при согласованной фильтрации.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Оконешников В.С., Павлов И.К., Пантелеев Б.М., Столетова О.Е.** Опыт внедрения нелинейной ЧМ в радиолокаторе высокой мощности. Радиотехнические технологии и приборостроение // Сборник материалов IV НТК (г. Туапсе, 2006). – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – С.22–27.
2. **Кук Ч., Берфельд М.** Радиолокационные сигналы. Пер. с англ. / под ред. В.С. Кельзона – М.: Сов. Радио, 1971. – 568 с.

3. **Кочемасов В.Н., Белов Л.А., Оконешников В.С.** Формирование сигналов с линейной частотной модуляцией. – М.: Радио и связь, 1983 – 192 с.

SIGNAL WITH REVERSE SINE FREQUENCY MODULATION

V.S. Okoneshnikov, V.N. Zavaliy, A.V. Ivanov, V.V. Ivanov

For the class of nonlinear frequency modulation (NFM) signals with square envelope and spectrum, the cosine in n-power is examined as signal at $n = 1$. The analytic dependence of frequency to time change was obtained as arcsine within principal values. It was demonstrated that spectrum of this signal has a form of continuously differentiable unbounded function that permits to obtain a low side-lobe level (SLL) of compressed signal, about -60 dB at matched filtering. The limitation of compression filter band (mismatched filtering, losses) up to value equals to frequency deviation increases the SLL up to -30 dB. The spectrum concentration possibility was examined in a more narrow frequency band through compression, arcsine limits constraining lower than principal values that permits obtaining SLL -30 dB at matched filtering.

Поступила 27 марта 2018 года.

СВЧ-УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ ДЛЯ СПЕЦАППАРАТУРЫ И АФАР

© Авторы, 2018

В.А. Пчелин кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник, АО «НПП «Исток» им. А.И. Шокина», г. Фрязино, Московская обл.
E-mail: keysightkalitadv@gmail.com

И.П. Корчагин
начальник лаборатории, АО «НПП «Исток» им. А.И. Шокина», г. Фрязино, Московская обл.

В.Б. Трегубов
начальник НПК, АО «НПП «Исток» им. А.И. Шокина», г. Фрязино, Московская обл.

Л.В. Манченко кандидат технических наук,
начальник сектора, АО «НПП «Исток» им. А.И. Шокина», г. Фрязино, Московская обл.

Представлены результаты разработок АО «НПП «Исток» им. А.И. Шокина» по созданию твердотельных усилителей мощности (УМ) для ОАО ГСКБ «Алмаз-Антей» (ныне ПАО «НПО «Алмаз»). Приведены принципы конструирования, технологические особенности УМ и электрические характеристики.

Ключевые слова: СВЧ-усилители мощности, согласующие цепи, АФАР, GaAs транзисторы.

The development results of the A.I. Shohin «Istok» JSC Research and Production Enterprise («NPP «Istok») were performed in development of solid state power amplifiers (PA) for the JSC GSKB «Almaz-Antey» research and manufacturing association (now PJSC (NPO «Almaz»). The principles of design, PA technological features and electrical characteristics are provided.

Keywords: power microwave amplifiers, matching circuits, active phased antenna array (APAA), Ga-As transistors.

В статье представлены результаты разработок АО «НПП «Исток» им. Шокина» по созданию твердотельных усилителей мощности (УМ) для ОАО ГСКБ «Алмаз-Антей» (ныне ПАО «НПО «Алмаз»). Приведены принципы конструирования, технологические особенности, электрические характеристики УМ S- и X-диапазонов.

Традиционное согласование кристаллов с помощью распределённых микрополосковых цепей в S-диапазоне исключалось из-за больших размеров согласующих элементов. С целью уменьшения габаритов усилительных каскадов применено согласование транзисторов с помощью сосредоточенных элементов (чип-конденсаторов и индуктивностей). С использованием указанной в работе методики определения параметров мощных СВЧ-транзисторов и построения на этой основе согласующих цепей (СЦ) для S-диапазона разработан в рамках ОКР «Самолёт-МФ» УМ с выходной мощностью не менее 9 Вт для изделия 15Г6М. В усилителе просуммирована мощность восьми СВЧ-транзисторов в ограниченных габаритах корпуса. Натурные испытания изделия 15Г6М успешно проведены в конце 2017 года.

В ОКР «Аналог» была выполнена работа по созданию submodule приёмопередающего (СПП) X-диапазона с выходной импульсной мощностью не менее 15 Вт, коэффициентом шума не более 3.5 дБ и КПД не менее 25% для системы АФАР. Полоса частот submodule 10%. В конструкцию СПП входят усилитель мощности, МШУ, X-циркулятор и цепи питания.

Первоначально предполагалось использование в СПП мощных МИС, однако, к началу разработки отечественных МИС с необходимыми электрическими параметрами не было. В связи с этим принято решение создания усилителя мощности, входящего в СПП, в ГИС исполнении. Применение керамики с высоким ϵ из барий-самарий-титановой композиции в цепях согласования транзисторов позволило разместить усилительные каскады в заданных габаритах корпу-

са. В статье указана методика расчёта согласующих цепей. В представленных УМ применялась комплектация только АО «НПП «Исток» им. А.И. Шокина». Параметры изделия соответствуют современному мировому уровню для усилителей на GaAs-транзисторах.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Пчелин В.А.** СВЧ-усилители мощности на сосредоточенных элементах // Электронная техника. Серия СВЧ-техника. – 2000, Выпуск №1(475).
2. **Галдецкий А.В., Климова А.В., Манченко Л.В., Пашковский А.Б., Пчелин В.А., Силин Р.А., Чепурных И.П.** Моделирование согласующих цепей мощных полевых транзисторов на керамике с высокой диэлектрической проницаемостью // Материалы конференции, Севастополь, 11-15 сентября 2006. – Севастополь: «Вебер». – С.169–170.

POWER MICROWAVE AMPLIFIERS FOR SPECIAL-PURPOSE EQUIPMENT AND ACTIVE PHASED ANTENNA ARRAY

V.A. Pchelin, I.P. Korchagin, V.B. Tregubov, L.V. Manchenko

The development results of the A.I. Shohin «Istok» JSC Research and Production Enterprise («NPP «Istok») were performed in development of solid state power amplifiers (PA) for the JSC GSKB «Almaz-Antey» research and manufacturing association (now PJSC (NPO «Almaz»). The principles of design, technological features and electrical characteristics of S- and X-band power amplifiers are provided.

The traditional crystals matching using S-band distributed microstrip circuits excluded due to large size of matching elements. To reduce the size of amplifying stages the transistors matching was applied using lumped elements (capacitors and inductors chip). Using the mentioned technique of powerful microwave amplifiers parameters determination and capture on its base the matching circuits (MC), the PA «Aircraft-MF» was developed for S-band within the design and development works with output power of not less than 9 W for the 15G6M item. The power of 8 microwave transistors was summarized in amplifier with limited body dimensions. The full-scale tests of the 15G6M item were successfully conducted in the late 2017.

Under «Analog» R&D works the X-band transmit-receive submodule (TRS) was developed, with output pulsed power of not less than 15 W, 3.5 dB of noise coefficient and 25% of performance coefficient for active phased antenna array (APAA) system. The submodule frequency band is 10%. The TRS structure includes the power amplifier, low-noise amplifier (LNA), X-circulator and power-supply circuits.

Originally the use of powerful small-scale integrated circuits (IC) in TRS was assumed; however, by the beginning of development stage the indigenous ICs with necessary electrical parameters were not available. Hence, it was decided to develop a power amplifier embedded in TRS in hybrid IC version. Na application of ceramics with high ϵ from barium-samarium-titanium composition in transistors matching circuits have permitted to arrange amplifying stages in specified body dimensions. The article states the analysis procedure of matching circuits. For the performed PAs the kitting of A.I. Shohin «Istok» enterprise was only used. The item parameters correspond to the world up-to-date level for GaAs-transistors amplifiers.

Поступила 12 сентября 2017 года.

МЕТОД ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРЕНАЖНО-МОДЕЛИРУЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ ЛЁТНЫХ ЭКИПАЖЕЙ И СПЕЦИАЛИСТОВ УПРАВЛЕНИЯ АВИАЦИЕЙ

© Авторы, 2018

А.Д. Филин доктор технических наук,
зам. генерального конструктора, АО «ВНИИРА», г. Санкт-Петербург
E-mail: facladf@rambler.ru

В.П. Рачков кандидат технических наук,
инженер-исследователь, 4 ГЦ подготовки авиационного персонала и войсковых испытаний, г. Липецк
E-mail: vprevp@yandex.ru

Ю.Г. Шатраков доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ,
учёный секретарь, АО «ВНИИРА», г. Санкт-Петербург
E-mail: aspirantura@vniira.ru

В статье представлены материалы по методике оценки учебно-методической эффективности создания и использования тренажно-моделирующих комплексов специалистов боевого управления авиацией. Предложено направление развития тренажёров индивидуальной и групповой подготовки лётных экипажей и лиц боевого управления. Исследования проведены на основе экспертных оценок курсов боевой подготовки, и направлены на дальнейшее совершенствование функциональных возможностей перспективных тренажёров.

Ключевые слова: тренажно-моделирующий комплекс, боевая подготовка, характеристики тренажного комплекса, управление авиацией, кабина тренажёра самолёта, эффективность.

The article states materials on evaluation procedure of training-methodological efficiency of development and utilization of simulator-training complexes for flight crews and air combat control specialists. The development directions for individual and group training simulators of flight crews and air combat control specialists were proposed. The performed analysis was based on expert estimation of combat training courses with regard to further functional capabilities improvement of advanced simulators.

Keywords: simulator-training complex, combat training, simulator complex characteristics, air fleet control, aircraft simulator cockpit/mockab, efficiency.

В статье представлены материалы по методике оценки учебно-методической эффективности создания и использования тренажно-моделирующих комплексов специалистов боевого управления авиацией. Предложено направление развития тренажёров индивидуальной и групповой подготовки лётных экипажей и лиц боевого управления. Исследования проведены на основе экспертных оценок курсов боевой подготовки, и направлены на дальнейшее совершенствование функциональных возможностей перспективных тренажёров.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Филин А.Д., Шатраков А.Ю.** Тренажёрные комплексы радиолокационного контроля воздушного пространства. – СПб.: ГУАП, 2013. – 221 с.
2. **Шатраков В.П., Бестугин Ю.Г., Рачков А.Р.** Развитие системы подготовки лётных экипажей и специалистов боевого управления авиационных частей // «Научный Вестник воздушно-космической обороны». – М.: ГСКБ ОАО «Концерн ПВО «Алмаз – Антей», 2013, №1. – С.12.
3. **Бестугин А.Р., Киршина И.А., Санников В.А., Филин А.Д., Шатраков Ю.Г.** Безопасность полётов и направления развития тренажёров специалистов управления авиацией. Монография. – СПб.: ГУАП, 2015. – 516 с.

4. **Филин А.Д.** Эффективность использования тренажёрных комплексов радиолокационного контроля воздушного пространства // «Научный Вестник воздушно-космической обороны». – М.: ГСКБ ОАО «Концерн ПВО «Алмаз – Антей», 2013, №1. – С.135–140.
5. **Филин А.Д.** Перспективные учебно-тренировочные комплексы для организации оперативно-тактической подготовки в военно-воздушных силах // Сборник научных трудов «Новые технологии». – М.: РАН, 2013. – С.177–183.

OBJECTIVE EVALUATION METHOD OF SIMULATOR-TRAINING COMPLEXES EFFICIENCY OF FLIGHT CREWS AND AIR COMBAT CONTROL SPECIALISTS

A.D. Filin, V.P. Rachkov, U.G. Shatrakov

The article presents materials on the evaluation of teaching and methodical assessment of efficiency of creation and use of the training – simulator complexes specialists command and control aircraft. Shows the development trend of trainers individual and group training of flight crews and persons of command and control. Investigations were carried out on the basis of expert assessments of courses and training aimed at further improving the functionality of the prospective trainers.

Поступила 30 апреля 2017 года.

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ПРОВАЛОВ В ПАРЦИАЛЬНЫХ ДИАГРАММАХ НАПРАВЛЕННОСТИ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ПРИЁМНЫХ КОНФОРМНЫХ АФАР

© Авторы, 2018

А.О. Яшенков

инженер 2 категории, АО «ВНИИРТ», г. Москва

E-mail: yashenkov_a@yahoo.com

В.Ф. Андреев

начальник отдела, АО «ВНИИРТ», г. Москва

Описан метод формирования провалов в парциальных диаграммах направленности (ПДН) излучателей приёмных конформных активных фазированных антенных решёток (АФАР) в направлениях на источники мешающих сигналов. Предлагаемый способ распространяется на аналоговые АФАР, схема которых является алгоритмом реализации адаптивных цифровых АФАР. Процедура формирования провалов в результирующей диаграмме направленности АФАР не зависит от направления электронического сканирования лучом.

Ключевые слова: конформная АФАР, адаптивная АФАР, диаграмма направленности.

The nulling method in radiators partial direction pattern (PDP) of receiving conformal active phased antenna arrays (APAA) in directions to interfering signals sources was described. The proposed method is satisfied with analog APAA and is an algorithm for realization of adaptive digital APAA. The nulling procedure in APAA resulting pattern does not depend on direction of beam electronical scanning.

Keywords: conformal active phased antenna array (APAA), adaptive APAA, directional pattern.

Приёмные активные фазированные решётки уязвимы в присутствии источников помех. Для решения этой проблемы предлагается создавать управляемые провалы в диаграмме направленности антенной решетки в направлении на мешающие сигналы. Нули формируются в парциальных диаграммах направленности каждого излучателя. Описанный метод может применяться как к аналоговым антенным решёткам, так и к цифровым, алгоритм не требует обрабатывать корреляционные матрицы, что значительно сокращает время вычислений. Преимущество метода заключается в том, что процедура получения нулей не зависит от процедуры электронического сканирования, поэтому упрощается формирование луча и стабилизируется подавление. Предполагается, что этот метод найдёт применение в радиосистемах, где необходимо подавлять мешающие сигналы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Минкович Б.М., Яковлев В.П. Теория синтеза антенн. – М.: Советское радио, 1969.
2. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решётки. – М.: Радио и связь, 1986.
3. Андреев В.Ф., Воронов Р.Х. Метод формирования провалов в парциальных диаграммах направленности излучателей приемных АФАР // Сборник трудов 18-й Международной конференции «Цифровая обработка сигналов и её применение». – Москва, DSPA-2016.
4. Воскресенский Д.И., Степаненко В.И. и др. Проектирование фазированных антенных решёток / под ред. Д.И. Воскресенского. – М.: Радиотехника, 2012.

NULLING METHOD IN PARTIAL DETECTION PATTERNS OF RADIATORS IN RECEIVING CONFORMAL ACTIVE PHASED ANTENNA ARRAYS

A.O. Yashenkov, V.F. Andreev

Receiving active phased antenna arrays are vulnerable in presence of jamming and interfering sources. To solve this problem it's proposed to form controlled nulls in antenna array directional pattern in direction to disturbing signals. Nulls are formed in partial directional patterns of each radiating element. The described method can be applied both for analog antenna arrays and digital arrays; the algorithm does not anticipate inverse of correlation matrix that significantly reduces the computing time. The method advantages are in that the nulls producing procedure does not dependent on electronical beam scanning, therefore beam forming is greatly simplified and suppression is stabilized. It's assumed that this method can be applied in radio systems, where disturbing signals are to be suppressed.

Поступила 27 марта 2018 года.

ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 621.382

УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ВООРУЖЕНИЯ, ВОЕННОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ ВИРТУАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

© Авторы, 2018

С.К. Колганов доктор технических наук, профессор,
зам. директора, ФГБУ «Центральная аэрологическая обсерватория», г. Долгопрудный, Московская обл.
E-mail: ksk47@mail.ru

Э.Г. Лазаревич доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Информационно-вычислительные системы»,
учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь», г. Минск
E-mail: lazarevich.eduard@yandex.by

В статье рассматриваются пути эволюционного продления жизненного цикла радиоэлектронной аппаратуры образцов вооружения и военной техники на основе концепции виртуальной электронной компонентной базы, обеспечивающей методическое и программно-аппаратное единство процесса проектирования радиоэлектронной аппаратуры.

Ключевые слова: радиоэлектронная аппаратура, компонентная база, виртуальные компоненты, образцы вооружения, военной и специальной техники, жизненный цикл, живучесть, надёжность.

The article examines routes of evolutionary life cycle extension of electronic equipment of armament and military equipment items based on virtual digital component base concept, providing the methodological and software-hardware unity of design process of electronics.

Keywords: radio-electronic equipment, component base, virtual components, armament, military and special-purpose equipment items, life cycle, survivability, reliability.

Статья является продолжением цикла статей, ранее опубликованных в журнале «Вестник воздушно-космической обороны»:

«Концепция «латентной модернизации» радиоэлектронной аппаратуры для образцов вооружения, военной и специальной техники на базе технологии «свёртки», № 1 (9), 2016 г. с. 53-62;

«Реализация инновационного развития вооружения, военной и специальной техники на базе использования виртуальных компонентов», № 2 (10), 2016 г. с. 75-86;

«Основные положения концепции обеспечения эксплуатации, модернизации и продления жизненного цикла образцов вооружения, военной и специальной техники», № 4 (12), 2016 г. с. 53-63.

В ней рассмотрены пути обеспечения эволюционного продления жизненного цикла радиоэлектронной аппаратуры образцов вооружения, военной и специальной техники на основе концепции виртуальной электронной компонентной базы, обеспечивающей методическое и программно-аппаратное единство процесса проектирования радиоэлектронной аппаратуры и учитывающей интеллектуальный вклад разработчиков при создании такой аппаратуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Авдонин Б.Н.** Стратегические аспекты развития радиоэлектронного комплекса // ИнВестРегион. – 2006, №4.
2. **Борисов Ю.И.** Обеспечение качества – стратегия развития радиоэлектронного комплекса // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2004, №7.
3. **Буренок В.М.** Теория и практика планирования и управления развитием вооружения. – М.: Вооружение. Политика. Конверсия, 2005.
4. **Вентцель Е.С.** Исследование операций. Задачи, принципы, методология. Учеб. пособие, 2-е изд. – М.: Высшая школа, 2004.
5. **Колганов С.К., Алдошин В.М., Лазаревич Э.Г.** Виртуальная элементная база – технологическая основа для обеспечения эксплуатации, модернизации и продления жизненного цикла образцов вооружения и военной техники // Вопросы оборонной техники. – М., 2006, серия 3, выпуск 6(337).
6. **Лазаревич Э.Г., Колганов С.К., Алдошин В.М.** Продление жизненного цикла сложных радиоэлектронных систем за счет внедрения технологии «свертка» // Вопросы оборонной техники. – М., 2006, серия 3, выпуск 2(333). – С.8–11.
7. **Лазаревич Э.Г., Колганов С.К., Семак Ю.И.** Продление жизненного цикла радиоэлектронной аппаратуры вооружения и военной техники на основе концепции виртуальной электронной компонентной базы // Вопросы оборонной техники. – 2009, серия 3, выпуск 5(354). – М., 2009. – С.46–58.
8. **Лазаревич Э.Г., Колганов С.К., Семак Ю.И.** Концепция виртуальной электронной компонентной базы – основа реализации спиралевидной модели развития систем вооружения // Наука и военная безопасность (Республика Беларусь). – 2010, №1. – С.30–35.
9. **Лазаревич Э.Г., Колганов С.К., Семак Ю.И.** Виртуальная составляющая развития вооружения и военной техники // Вопросы оборонной техники. – М., 2012, серия 3, выпуск 2(369). – С.20–25.
10. **Поспелов Д.А.** Ситуационное управление: теория и практика. – М.: Наука, 1986.
11. Отчёт о НИР «Жимолость». Разработка методов и информационных технологий управления эксплуатационными этапами жизненного цикла вооружения и военной техники радиотехнического профиля // Этап 3. «Разработка методов и информационных технологий управления эксплуатационными этапами жизненного цикла вооружения и военной техники радиотехнического профиля». – Москва, ОАО «Конструкторское бюро-1», 2007.

ELECTRONICS LIFE CYCLE MANAGEMENT OF ARMAMENT, MILITARY AND SPECIAL-PURPOSE EQUIPMENT BASED ON VIRTUAL ELECTRONIC COMPONENT BASE

S.K. Kolganov, E.G. Lazarevich

The article continues a series of articles which were earlier published in the «Aerospace defense» herald:
– «Latent upgrading» concept of radio-electronic equipment for armament, military and special equipment items on the base of «convolution» technology, № 1(9), 2016, p.53–62;
– Armament, military and special equipment innovative development realization based on virtual components utilization, № 2(10), 2016, p.75–86;
– Conception principal provisions of support, maintenance, upgrading and life-cycle extension of armament, military and special equipment, № 4(12), 2016, p.53–63.

The article examines routes of evolutionary life cycle extension of electronic equipment of armament and military equipment items based on virtual digital component base concept, providing the methodological and software-hardware unity of design process of electronics, and considers intellectual contribution of engineers to such equipment development as well.

Поступила 20 октября 2017 года.

МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ВЫБОРА РЕЖИМОВ КОДИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТИ ЕЁ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

© Автор, 2018

Б.И. Крыжановский кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
ведущий специалист, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: info@raspletin.com

Предложен метод кодирования информации на основе циклических кодов, позволяющий существенно ускорить процесс кодирования, что является важным для многих прикладных задач, например, для повышения скорости при передаче информации с использованием циклических кодов.

Ключевые слова: информация, генерация, циклический код, пункт передачи, пункт приёма, канал связи, обработка информации, служебный сигнал, воспроизведение информации, скорость обработки информации.

The information coding method is proposed based on cyclic codes permitting to increase the coding process that is important for the many applied problems, for example, to increase rate of information transmission using the cyclic codes.

Keywords: information, generation, cyclic code, transmission node, receiving node, communication channel, data processing, service signal, information reproduction, information processing rate.

Предложен метод кодирования информации на основе циклических кодов, позволяющий существенно ускорить процесс кодирования, что является важным для многих прикладных задач, например, для повышения скорости при передаче информации с использованием циклических кодов.

Рассматриваемый ниже метод базируется на важных свойствах циклических кодов, позволяющих, изменяя режим кодирования информации (изменяя режим работы кодировщика путем изменения образующего полинома циклического кода), получать различные генерации кодовых цепочек, из которых выбирают для использования ту генерацию, которая наиболее полно соответствует искомой генерации.

Поставленная задача решается при использовании в качестве кодировщика электронного колеса (ЭК), представляющего собой последовательно связанные n – разрядный сдвиговый регистр (СР) и сумматор по модулю два (См2), охваченные управляемыми вариантами обратных связей (ВОС). Кроме того, в ЭК имеется возможность управления при кодировании информации сдвигами её в СР влево или вправо, а также чётным или не чётным суммированием в См2.

Суть метода состоит в том, что любую произвольную информацию разбивают на части (в простейшем случае – равные), каждая из которых обрабатывается на кодировщике по очереди. При этом для каждого возможного кода информации в рамках разрядности используемых порций заранее определяют наилучший режим работы (РР) кодировщика и формируют соответствующий справочник взаимосвязанных пар: КОД \leftrightarrow РР. В процессе порционной обработки конкретной информации перед обработкой каждой её порции, обращаясь в справочник, считывают из него соответствующий РР, устанавливают его на кодировщике и обрабатывают данную порцию информации. Аналогично обрабатывают все очередные порции данной и последующей информации. Приведён пример обработки с ускорением на 32%.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Крыжановский Б.И.** Методы обработки информации для её передачи без трансляции по каналу связи // Журнал «Вестник воздушно-космической обороны». – М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2017, Вып. №1(13). – С.5–10.
2. **Крыжановский Б.И.** Электронное колесо // Знание, сер. «Радиоэлектроника и связь». – М., 1991, № 5.
3. **Крыжановский Б.И.** Заявка №20171108464 в Роспатент на выдачу патента на изобретение «Способ синхронной передачи информации без её трансляции», 15.03.2017.

**OPTIMIZATION METHOD
OF INFORMATION CODING MODES SELECTION
TO INCREASE ITS REPRODUCTION RATE**

B.I. Kryzhanovskiy

The information coding method is proposed based on cyclic codes permitting to increase the coding process that is important for the many applied problems, for example, to increase rate of information transmission using the cyclic codes.

The examined method is based on important properties of cyclic codes permitting by changing the information coding mode (by changing the encoder operation mode via change of cyclic code generator polynomial) to obtain different code chains generation from which it's possible to select the generation which is to the fullest correspond to desired generation.

The assigned problem is solved through use of electronic wheel (EW) as an encoder, representing the consequently-connected n-stage shift register (SR) and mod-2 adder (M2A), enveloped by controlled feed-back variants (FBV). Besides, it's possible during information coding in EW to control its shifts in SR to the right or left, and control even and odd summation in M2A.

The principle of the method is in that any arbitrary information is divided into parts (in simplest case – equal parts) each of which is processed on encoder in sequence. Herewith, for each possible information code within digit capacity of used information batches, the best encoder operation mode (OM) is determined beforehand and corresponding interconnected pairs reference guide is formed: CODE \leftrightarrow OM. During partial processing of certain information, before processing of its each batch, addressing the reference guide, the corresponding OM is read out from it, set it on encoder and this information batch is processed. Similarly all next batches of the current and follow-on information are processed. The processing example with rate increase up to 32% is performed.

Поступила 11 июля 2017 года.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА

УДК 623.764

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОТИВОРАКЕТНОЙ ОБОРОНЫ США

© Авторы, 2018

С.В. Аксёнов доктор военных наук, профессор,
начальник кафедры, ВА РВСН им. Петра Великого, г. Балашиха, Московская обл.

В.А. Васильев кандидат технических наук, доцент,
старший научный сотрудник, ВА РВСН им. Петра Великого, г. Балашиха, Московская обл.

С.В. Голубчиков кандидат технических наук,
начальник отдела, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: gsv_64@list.ru

Г.Б. Гуров кандидат технических наук,
начальник ОКБ, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

М.В. Жестев кандидат технических наук,
первый зам. начальника ОКБ, НПО «Алмаз», г. Москва

В.К. Новиков кандидат военных наук, доцент,
доцент кафедры, ВА РВСН им. Петра Великого, г. Балашиха, Московская обл.

Рассматриваются вопросы назначения, состава, современного состояния и перспектив развития противоракетной обороны США на североамериканском, на европейском континентах, в Азиатско-Тихоокеанском регионе. Раскрывается состав сил и средств боевых ракетных комплексов противоракетной обороны, радиолокационных станций, их возможности.

Ключевые слова: *противоракетная оборона, боевые блоки, межконтинентальные баллистические ракеты, боевой ракетный комплекс, ракета-перехватчик, радиолокационная станция.*

The purpose, composition, current state and progress of the US missile defense system in North American and European and Asia-Pacific regions are examined. The strength and capabilities composition of missile defense complexes, radars and its capabilities are stated.

Keywords: *missile defense, warheads, Intercontinental Ballistic Missile (ICBM), combat missile complex, interception missile, radar station.*

«Стратегия национальной обороны США» 2018 года подчёркивает необходимость модернизации как ракетно-ядерных сил, так и противоракетной инфраструктуры. Дальнейшее развитие должна приобрести эшелонированная система ПРО. ПРО США разрабатывается применительно к перехвату баллистических ракет различной дальности: короткой, промежуточной, средней и межконтинентальной.

Боевые ракетные комплексы ПРО США разделяются на два класса. Самый малочисленный – дальнего действия и сверхдальнего перехвата, состоящий из РЛС GBR и двухступенчатых ракет-перехватчиков GBI. Основное назначение – отражение ограниченного ракетно-ядерного удара КНДР и КНР со стороны Тихоокеанского побережья США. Другая, самая крупная группа БРК ПРО включает в себя комплексы средней и малой дальности, предназначенные для пере-

хвата боевых блоков на терминальном (конечном) участке их полёта: комплексы Patriot PAC-2 и PAC-3, THAAD, MEADS – все наземного базирования, а также система ПРО AEGIS – комбинированного корабельного и берегового (сухопутного) базирования.

На протяжении последних 30 лет США активно внедряют в Европе комплексы ПВО/ПРО: Patriot, морской и наземный AEGIS, РЛС AN/FPS-126, AN/FPS-132 и др.

США планируют перенести центр тяжести работ по дальнейшему наращиванию своего противоракетного потенциала в Европу, расширяя ареал своего присутствия и в Азиатско-Тихоокеанском регионе. В основу архитектуры европейской ПРО будет положен системы ПРО AEGIS морского и берегового базирования. На создание европейской ПРО отводится 9 лет – с 2011 по 2020 годы.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Васильев В.А., Голубчиков С.В., Новиков В.К.** Основы противодействия перспективным системам противоракетной обороны противника. – М.: РВСН, 2000. – 348 с.
2. *Missile Defense Agency. Defense Wide Justification Book. Military Construction, Defense-Wide // Department of Defense Fiscal Year 2018 President's Budget Submission.* – 2017.
3. **Голубчиков С.В.** Перспективы развития системы ПРО морского базирования AEGIS // Морской сборник. – 2015, №2. – С.67–76.
4. **Голубчиков С.В., Гуров Г.Б., Жестев М.В., Колесниченко В.И.** Система ПРО морского базирования AEGIS как элемент глобальной системы противоракетной обороны США // Журнал «Вестник воздушно-космической обороны». – М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2017, Выпуск №1(13). – С.118–131.
5. **Аксенов С.В., Голубчиков С.В., Новиков В.К.** Развитие систем противоракетной обороны США и безопасность России // Вестник Академии Военных Наук. – 2015, №1(50). – С.51–61.
6. **Васильев В.А., Голубчиков С.В.** Создание и развертывание противоракетной обороны США и перспективы её развития до 2020 года // Вестник Академии Военных Наук. – 2015, № 4(53). – С.136–144.
7. *The Proposed US Missile Defense in Europe: Technological Issues Relevant to policy. By Theodor A. Postol and George N. Lewis // American Association for the Advancement of Science. Washington, D.C. August 28, 2007.* – 80 p.
8. *Airborne Boost-Phase Ballistic Missile Defense. By Dean A. Wilkening // Science and Global Security.* – 2004, №12. – P.1–67.
9. *Multi-Object Kill Vehicle Industry Day. Missile Defense Agency. Advanced Technology (MDA/DV), Redstone Arsenal, AL 35898.* – 11 February 2015. – 21 p.
10. *System and Method for Dispensing of Multiple Kill Vehicles using integrated Multiple Kill Vehicle Payload. United States Patent № US 8, 575, 526 B1 November 5, 2013.*
11. **Голубчиков С.В., Новиков В.К., Жестев М.В., Колесниченко В.И.** Противоракетная оборона Японии, Южной Кореи, Австралии как составные элементы глобальной противоракетной обороны // Вестник Академии Военных Наук. – 2016, №2(55). – С.94–103.
12. Стратегия национальной безопасности NSS (*National Security Strategy*). – URL: <https://www.ft.com> (дата обращения 24.04.2018).

CURRENT STATE AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF US MISSILE DEFENSE SYSTEM

S.V. Aksenov, V.A. Vasiliev, S.V. Golubchikov, G.B. Gurov, M.V. Zhestev, V.K. Novikov

The US National defense strategy 2018 underlines the modernization necessity of missile nuclear forces and missile defense infrastructure. The further development should be referred to layered missile defense. The US missile defense system is developing with regard to ballistic missiles interception of different ranges: short, intermediate and intercontinental. The US combat missile defense complexes are divided into two classes. The long range and very long range interception, consisting of GBR Radar and two-stage missile interceptors GBI. The main purpose is to defeat of limited nuclear missile threat of North Korea and China from the US Coast. Another largest group of combat missile defense complexes includes medium and short range missile defense systems which are intended for terminal warheads interception: Patriot PAC-2 and PAC-3, THAAD, MEADS – land-based systems, and AEGIS missile defense system – joint ship-based and ashore systems. During last 30 years the US actively deploys air and missile defense systems in Europe: Patriot, AEGIS ship-based and ashore systems, AN/FPS-126 radar, AN/FPS-132 radar etc.

The US is planning to increase missile defense potential in Europe through deployment area expanding in Asia-Pacific region. The base of the European missile defense architecture comprises of AEGIS ship-based and ashore missile defense systems. It's expected to deploy the US missile defense system under the European phased adaptive approach program within 9 years – from 2011 up to 2020.

Поступила 20 апреля 2018 года.

НАУЧНЫЕ РЕЦЕНЗИИ И ОТЗЫВЫ

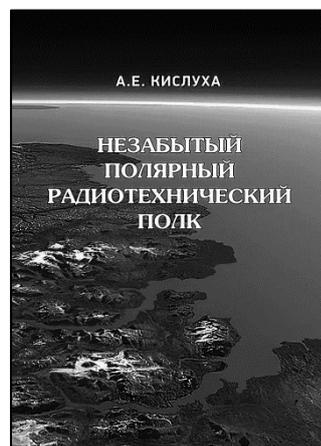


Кузница российского оружия / руководитель авторского кол-ва Л.А. Михолап. – Волгоград: Панорама, 2016. – 256 с.: ил.

Издание посвящено 70-летию создания полигона «Капустин Яр» – старейшего в Российской Федерации. В книге рассказывается о становлении, развитии и сегодняшнем дне 4-го Государственного центрального межвидового Краснознамённого ордена Красной Звезды полигона Министерства обороны Российской Федерации, об испытателях отечественной космической, боевой ракетной и противозвушной техники, её систем управления и наведения – ракетчиках-первопроходцах и тружениках сегодняшнего дня, усилиями которых обеспечена надёжная защита и безопасность нашей Родины.

На полигоне «Капустин Яр» проходили и проходят испытания различные образцы ракетного оружия: от зенитных ракетных систем противозвушной обороны до знаменитых на весь мир ракетных комплексов стратегического назначения. Полигон не только дал путёвку в жизнь нескольким поколениям самых современных систем противозвушной обороны, до сегодняшнего дня составляющих основу ПВО и ПРО России, но и участвовал в создании их перспективных образцов, новых элементов воздушно-космической обороны страны.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся российской военной историей и историей испытаний ракетной техники.



Кислуха А.Е. Незабытый полярный радиотехнический полк. Эссе-воспоминания. – М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2018. – 160 с.

Рецензенты: А.И. Алешин, генерал-майор запаса, А.П. Грановский, полковник в отставке.

В последнее время количество публикаций на арктическую тематику увеличивается, проводятся научные конференции, форумы и мероприятия с участием руководителей страны и экспертов в разных областях деятельности, связанной с Арктикой.

К приоритетным направлениям развития Арктической зоны, согласно утверждённой президентом Российской Федерации «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года», относятся:

- комплексное социально-экономическое развитие региона;
- развитие науки и технологий, создание современной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры;

- обеспечение экологической безопасности;
- международное сотрудничество в Арктике;
- обеспечение военной безопасности, защиты и охраны государственной границы Российской Федерации в Арктике.

В рассматриваемой книге представлена краткая задокументированная история самого северного радиотехнического полка Войск ПВО, личный состав которого нёс службу по охране воздушных рубежей СССР в районе Баренцева и Карского морей с 1958 года практически до конца XX века.

Книга представляет интерес для читателей, интересующихся историей ВКО.