

ВЕСТНИК

ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОБОРОНЫ

Научно-технический рецензируемый журнал

Выпуск № 3(15), 2017 г.

СОДЕРЖАНИЕ

<p>ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР: П.А. Созинов, д-р техн. наук, профессор</p> <p>ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА: В.М. Алдошин, д-р техн. наук, профессор А.С. Сумин, д-р техн. наук, профессор</p> <p>ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ: Д.А. Леманский, канд. техн. наук, доцент</p> <p>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. Игнатьев, 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. Оконешиников, 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</p> <p>Технический редактор: Н.С. Умникова Корректор: А.Н. Борзова Компьютерная верстка: О.А. Пыхонина</p> <p>☎ редакции (499) 940-02-22 доб. 16-42, 79-06, 70-19, 16-00 E-mail: aspirantura@gskb.ru</p>	<p>► Проблемные вопросы построения систем и средств ВКО</p> <p>Л.И. Аверина, М.А. Корольков <i>Увеличение помехоустойчивости систем военной связи с помощью цифровых антенных решёток</i> 7</p> <p>► Применение сил и средств ВКО</p> <p>С.С. Козорез, А.В. Пискунов, Ю.В. Красников, П.В. Пустозёров <i>Разработка алгоритма повышения контрастности дальностного портрета цели для решения задач распознавания воздушных объектов</i> 13</p> <p>А.В. Ксендзук <i>Бистатистические РЛС контроля космического пространства на базе малых космических аппаратов</i> 20</p> <p>В.И. Меркулов, А.С. Пляшечник <i>Групповое целераспределение в воздушном противоборстве с учётом выбывания участников</i> 25</p> <p>Д.П. Тетерин, А.Н. Попов, С.В. Алилуев, А.Г. Яшин <i>Система управления средствами воздушно-космической обороны</i> 30</p> <p>► Исследования в сфере проектно-конструкторских и технологических работ</p> <p>А.А. Арешкин <i>Зондовый метод контроля электрофизических параметров при изготовлении микрополосковых СВЧ-устройств</i> 35</p> <p>Ю.С. Атопшев, А.В. Воронков, Н.А. Игнатов, А.М. Посев <i>Программа анализа динамических характеристик тракта аналого-цифрового преобразования</i> 42</p> <p>В.А. Балагуровский, А.С. Кондратьев, А.О. Маничев, А.Н. Тюваев <i>Методы синтеза нулей в диаграмме направленности активной фазированной антенной решётки, минимизирующие изменения токов возбуждений</i> 46</p> <p>Н.Ф. Глущенко, Д.А. Говорухин, М.М. Ильичев, А.Б. Корнеев, М.А. Мещеряков, А.В. Семенов, В.Н. Слободчиков <i>Разработка и исследование характеристик лазерного неконтактного датчика цели на дальномерном принципе обнаружения</i> 51</p> <p>А.С. Годин, В.В. Перфильев, А.Д. Дризе, К.И. Конов <i>Использование импедансносогласованных материалов для увеличения рабочей длины волны излучателей</i> 56</p>
---	---

Вестник воздушно-космической обороны:
Научно-технический журнал/
ПАО «НПО «Алмаз», 2017 г.
№ 3(15). С. 1–132

Подписано в печать 27.09.2017 г.
Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 7,2. Тираж 1000 экз.
Заказ № 110498

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», 2017

ISSN 2311-830X

Цена за 1 экз. – 600 руб.

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

С.В. Голубчиков, В.А. Васильев <i>Вопросы оценивания радиолокационной заметности вертикальных стержневых антенн метрового диапазона радиоволн</i>	62
В.В. Иванов, А.В. Иванов, В.И. Богданов <i>Использование сверхширокополосных сигналов в РЛС с ФАР</i>	69
А.С. Кузнецов <i>Новая интерактивная технология для создания и корректировки временных диаграмм управления ФАР</i>	75
В.Ю. Кузьменков, А.О. Могильников <i>Принципы построения комплекса оценки характеристик РЛС с использованием эталонных отражателей на базе БЛА</i>	83
К.В. Кулагин, И.Д. Некрасов, К.С. Новиков, А.В. Рыбин <i>Вопросы особенностей управления азимутальным приводом многофункционального радиолокатора</i>	88
В.В. Ларцев, С.М. Дунаев, Д.В. Рузин <i>Методика прогноза параметров визирования РЛС возможного положения ЛА с нестабильными ЛБХ</i>	92
А.О. Маничев, А.Э. Кузнецова <i>Методика и программное обеспечение для экспресс-оценки влияния отказов фазовращателей на излучающие характеристики фазированной антенной решётки</i>	99
В.С. Назаров, В.И. Агеев, И.Э. Иванов, В.А. Феофилаков <i>Результаты расчёта сверхзвукового потока в канале прямоугольного сечения с колеблющейся перфорированной стенкой</i>	104
А.Н. Тюваев, А.С. Кондратьев, А.О. Маничев <i>Сравнительный анализ эффективности методов формирования нулей в диаграмме направленности активной фазированной антенной решётки</i>	111
П.Е. Шимкин, А.А. Кальщиков, Е.П. Смирнов <i>Способы уменьшения влияния аппаратных ограничений приёмного тракта в задачах адаптивной пространственной фильтрации</i>	118
► Прикладные задачи применения информационных технологий	
В.В. Водчиц, О.С. Батракова, А.В. Рыбин <i>Графический интерфейс автономного управления пусковой установкой</i>	124
► Аналитические исследования зарубежного опыта	
А.Е. Свистунов, Н.А. Малеева <i>Завершение серии стрельбовых испытаний ЗУР корабельного базирования SM-6 по перехвату БР на конечном участке траектории их полёта</i>	129
► Научные рецензии и отзывы	132

CONTENTS

► Topical issues on Aerospace defense system and elements arrangement

L.I. Averina, M.A. Korolkov

Military communications systems interference immunity

increase using digital antenna arrays.....7

► Aerospace defense systems and components application

S.S. Kozorez, A.V. Piskunov, Yu.V. Krasnikov, P.V. Pustozerov

Algorithm design of target range image contrast enhancement

for aerial objects discrimination.....13

A.V. Ksendzuk

Small space vehicle bistatic space tracking and surveillance radar system.....20

V.I. Merkulov, A.S. Plyashechnik

Group target distribution in dogfighting with respect to knockout of participants.....25

D.P. Teterin, A.N. Popov, S.V. Aliluev, A.G. Yashin

Aerospace defense means control system.....30

► Design-engineering and technological research works

A.A. Areshkin

Probe control method of physical parameters during production

of microstrip microwave devices.....35

Yu.S. Atopshev, A.V. Voronkov, N.A. Ignatov, A.M. Losev

Dynamic response analysis program of analog-to-digital conversion path.....42

V.A. Balagurovskiy, A.S. Kondratiev, A.O. Manichev, A.N. Tyuvaev

Methods for the null synthesis in the radiation pattern

of an active phased array antenna minimizing changes in excitation currents.....46

N.F. Glushchenko, D.A. Govoruhin, M.M. Ilichev, A.B. Korneev,

M.A. Meshcheryakov, A.V. Semenov, V.N. Slobodchikov

Characteristics development and analysis of laser noncontact target

sensor based on range-finding detection principle.....51

A.S. Godin, V.V. Perfiliev, A.D. Drize, K.I. Konov

Use of impedance-agreed materials to increase radiators

operating wave length.....56

S.V. Golubchikov, V.A. Vasiliev

Radar signature estimation of vertical VHF band rod antennas.....62

V.V. Ivanov, A.V. Ivanov, V.I. Bogdanov

Ultrawideband signals use in phased array radars.....69

A.S. Kuznetsov

New interactive technology for creating and correction

of phased antenna array control flow diagrams.....75

V.U. Kuzmenkov, A.O. Mogilnikov

Design concept of radar characteristics estimation complex

using reference reflectors based on UAV.....83

K.V. Kulagin, I.D. Nekrasov, K.S. Novikov, A.V. Ribin

Control features of multifunctional radar azimuth drive.....88

V.V. Lartscev, S.M. Dunaev, D.V. Ruzin <i>Prediction methodology of radar sighting parameters of aerial vehicle possible position with unstable ballistic characteristics</i>	92
A.O. Manichev, A.E. Kuznetsova <i>Methodology and software for express-analysis of phase-shifters failures influence on radiating characteristics of phased antenna array</i>	99
V.S. Nazarov, V.I. Ageev, V.A. Feofilaktov <i>Supersonic flow in rectangular channel with oscillating perforated plane simulation results</i>	104
A.N. Tyuvaev, A.S. Kondratiev, A.O. Manichev <i>Comparative analysis of the efficiency of the radiation pattern nulling methods for phased antenna arrays</i>	111
P.E. Shimkin, A.A. Kalshchikov, E.P. Smirnov <i>Hardware constraints influence minimization methods of receive path in adaptive spatial filtering tasks</i>	118
► IT applied application tasks	
V.V. Vodchits, O.S. Batrakova, A.V. Ribin <i>Graphic interface of launcher autonomous control</i>	124
► Foreign experience analytic research	
A.E. Svistunov, N.A. Maleeva <i>Completing a series of firing tests of AEGIS BMD SM-6 interceptor against ballistic missile targets at terminal phase of flight</i>	129
► 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>).

Уважаемые читатели и авторы журнала!

8 сентября 2017 года учредитель журнала «Вестник воздушно-космической обороны» Публичное акционерное общество «Научно-производственное объединение «Алмаз» имени академика А.А. Расплетина» отмечает *своё семидесятилетие*.

Предприятие образовано постановлением Совета Министров СССР как Специальное бюро № 1 Министерства вооружения СССР и за семь десятилетий сменило несколько названий. С 1950 года – КБ-1, впоследствии МКБ «Стрела», ЦКБ «Алмаз», НПО «Алмаз», ОАО «ЦКБ «Алмаз», ОАО «НПО «Алмаз», ОАО «Главное системное конструкторское бюро Концерна ПВО «Алмаз-Антей» имени академика А.А. Расплетина». С 2015 года ПАО «Научно-производственное объединение «Алмаз» имени академика А.А. Расплетина».

Важнейшей вехой в истории предприятия стало создание первой отечественной зенитной ракетной системы «Беркут» (под индексом С-25), которая была принята на вооружение в 1955 году. В конце 40-х годов прошлого века у потенциального противника на вооружении были межконтинентальные стратегические бомбардировщики, носители атомного оружия, способные проникать на территорию Советского Союза и достигать Москвы. В связи с угрозой атомного нападения руководство страны поставило задачу создать в кратчайшие сроки противовоздушную оборону Москвы, непреодолимую для массированных налётов стратегической авиации с любого направления. Учёные и конструкторы нашего предприятия выполнили задачу, которую до них в стране ещё никто не решал.

В этот период зародилась и начала интенсивно развиваться научная школа создания систем управляемого ракетного оружия, основоположником которой являлся выдающийся учёный и конструктор академик, Герой Социалистического Труда, Лауреат Ленинской и Сталинской премий Расплетин Александр Андреевич.

Дальнейшее развитие средств воздушного нападения потребовало создания новейших средств борьбы с ними. В пятидесятые-шестидесятые годы учёными и специалистами нашего предприятия были созданы самые совершенные на тот период времени зенитные ракетные системы средней дальности С-75, малой дальности С-125 и большой дальности С-200.

В шестидесятые-семидесятые годы XX века происходит резкий подъём технического уровня средств воздушного нападения. Изменилась также и тактика их применения. В сложившейся ситуации существующее зенитное управляемое ракетное оружие не могло в полной мере



обеспечивать эффективную оборону объектов. Возникла необходимость в создании новой зенитной ракетной системы ПВО.

Такой системой стала зенитная ракетная система нового поколения С-300П. При её создании использовались новейшие достижения в области радиолокации, ракетной техники, электроники и связи. С-300П была создана как мобильная, многоканальная зенитная ракетная система средней дальности действия, способная поражать разнообразные современные и перспективные средства воздушного нападения на всех высотах. Модернизированные системы этого модельного ряда до сих пор несут охрану воздушных рубежей России.

В конце XX – начале XXI века в развитии средств воздушно-космического нападения обозначился ряд тенденций: освоение диапазона малых и предельно малых высот полёта, резкое снижение заметности в основных физических полях за счёт комплексного использования технологий незаметности, применение беспилотных аппаратов, применение высокоточного оружия и т.п. Необходимость эффективного решения в этих условиях задач воздушно-космической обороны стала центральным элементом разработки универсальной унифицированной мобильной зенитной ракетной системы нового поколения С-400 «Триумф».

В августе 2007 года первый полк системы С-400 «Триумф» встал на боевое дежурство в Подмосковье. К сегодняшнему дню уже несколько полков, оснащённых системой С-400 «Триумф», несут боевое дежурство.

В то же время средства нападения непрерывно развиваются. Соответственно, абсолютно необходимым является совершенствование средств защиты, создание эшелонированной обороны от атак, как из воздушного, так и из космического пространства. С учётом этого в ПАО «НПО «Алмаз» ведётся разработка перспективных образцов вооружения ПВО-ПРО и ВКО.

И сегодня состояние разработок, выполняемых ПАО «НПО «Алмаз», созданный научно-технический задел, научные школы, многолетний опыт, накопленный поколениями разработчиков, образуют прочный фундамент для будущего предприятия, соответствующий его статусу генерального разработчика.

Семидесятилетие – не только время подведения итогов, это стимул стремления к новым достижениям и свершениям!



С уважением,

генеральный директор
Публичного акционерного общества
«Научно-производственное объединение «Алмаз»
имени академика А.А. Расплетина»
доктор технических наук, профессор
Г.П. Бендерский

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ И СРЕДСТВ ВКО

УДК 621.396.67.012.12

УВЕЛИЧЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ВОЕННОЙ СВЯЗИ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВЫХ АНТЕННЫХ РЕШЁТОК

© Авторы, 2017

Л.И. Аверина доктор физико-математических наук, доцент,
консультант, АО «Концерн «Созвездие», г. Воронеж

E-mail: averina@phys.vsu.ru

М.А. Корольков

начальник НТУ, АО «Концерн «Созвездие», г. Воронеж

E-mail: king@sozvezdie.su

Рассматриваются цифровые методы пространственной фильтрации помех в системах военной связи с помощью адаптивных антенных решёток. В качестве антенной системы используется восьмиэлементная кольцевая антенная решётка.

***Ключевые слова:** цифровая антенная решётка, системы связи, пространственная фильтрация, весовой вектор, метод стохастического градиента.*

The spatial noise filtering methods in military communications systems using an adaptive antenna arrays are examined. The eight-level circular antenna array is used as an antenna system.

***Keywords:** digital antenna array, communications means, spatial filtering, weighting vector, stochastic gradient method.*

Рассматриваются цифровые методы пространственной фильтрации помех в системах военной связи с помощью адаптивных антенных решёток. В качестве антенной системы используется восьмиэлементная кольцевая антенная решётка.

С помощью компьютерного моделирования проведена оценка работы различных методов расчёта весовых коэффициентов антенны – стохастического градиента, рекурсивного, ортогонализации Грамма-Шмидта – при различных сигнально-помеховых ситуациях и их сравнительный анализ.

Экспериментально на реальной антенной системе проверена работа метода стохастического градиента, как наиболее простого для аппаратной реализации, в случае воздействия одной шумовой помехи, попадающей как в боковые, так и в основной лепесток диаграммы направленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Активные фазированные антенные решётки / под ред. Д.И. Воскресенского, А.И. Канащенкова. – М.: Радиотехника, 2004. – 488 с.
2. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решётки / Пер. с англ. под ред. В.Л. Лексаченко. – М.: Радио и связь, 1986. – 446 с.
3. Ратынский М.В. Адаптация и сверхразрешение в антенных решётках. – М.: Радио и связь, 2003. – 200 с.
4. Аверина Л.И., Корольков М.А. Адаптивные цифровые антенные решётки в системах связи комплексов ПВО // Журнал «Вестник воздушно-космической обороны». – М.: ГСКБ «Алмаз-Антей», 2015, №1(5). – С.5–11.

MILITARY COMMUNICATIONS SYSTEMS INTERFERENCE IMMUNITY INCREASE USING DIGITAL ANTENNA ARRAYS

L.I. Averina, M.A. Korolkov

The spatial noise filtering methods in military communications systems using an adaptive antenna arrays are examined. The eight-level circular antenna array is used as an antenna system.

The computer modeling provided an estimation of different calculation methods of antenna weight coefficients – the stochastic gradient, recursive to Gram-Schmidt orthogonalization – at different signal-to-noise scenarios and its comparative analysis was performed as well.

Experimentally, the operation of stochastic gradient method on real antenna was checked as the simplest method for hardware implementation in case of one noise interference influence coming to the side and main lobes of directional pattern.

Поступила 6 июня 2017 года.

ПРИМЕНЕНИЕ СИЛ И СРЕДСТВ ВКО

УДК 621.396.967

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПОВЫШЕНИЯ КОНТРАСТНОСТИ ДАЛЬНОСТНОГО ПОРТРЕТА ЦЕЛИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАСПОЗНАВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ

© Авторы, 2017

С.С. Козорез

адъюнкт кафедры РТС, ЯВВУ ПВО, г. Ярославль

E-mail: sergeich25@bk.ru

А.В. Пискунов кандидат технических наук, доцент,
зам. начальника кафедры РТС, ЯВВУ ПВО, г. Ярославль

Ю.В. Красников кандидат технических наук,
преподаватель кафедры РТС, ЯВВУ ПВО, г. Ярославль

П.В. Пустозёров

адъюнкт кафедры РТС, ЯВВУ ПВО, г. Ярославль

В настоящее время эффективность целераспределения может быть повышена за счёт использования режима радиолокационного распознавания. С применением сверхкороткоимпульсных сигналов, обладающих достаточной шириной спектра, появилась возможность получения высокоинформативных дальностных портретов. В статье приведены результаты исследования подтверждающие, что учет фазовой составляющей принятого сигнала позволит улучшить контрастность радиолокационной цели, тем самым повысить показатели качества распознавания целей.

Ключевые слова: радиолокационное распознавание, когерентное накопление, сверхкороткоимпульсный сигнал, сигнальный признак цели.

Nowadays the target distribution effectiveness can be increased through the use of the radar determination mode. With use of ultrashort-pulsed signals, having enough bandwidth, the possibility of getting a highly informative range images have emerged. The article states the research results proving that metering of received signal phase component would improve the radar target contrast, hence enhancing target discrimination quality parameters.

Keywords: radar determination, coherent integration, ultrashort-pulsed signal, signal target feature (signature).

Использование в настоящее время для преодоления системы ПВО совместно с самолетами тактической авиации беспилотных летательных аппаратов различного назначения затрудняет выбор приоритетных целей для поражения средствами ПВО, особенно в условиях малого времени пребывания их в зонах поражения зенитных ракетных комплексов (ЗРК) и ограниченности боезапаса. Эффективность целераспределения в этом случае может быть повышена за счёт использования режима радиолокационного распознавания. В таких условиях определение класса воздушного объекта является недостаточным, так как цели одного класса могут решать разный круг задач.

В настоящее время, с применением сверхкороткоимпульсных сигналов, обладающих достаточной шириной спектра, появилась возможность получения дальностных портретов, использование которых позволяет решать задачи не только классификации, но и типификации целей.

При обработке сверхкороткоимпульсных сигналов, для получения дальностного портрета, в настоящее время используется только амплитуда принятого сигнала, а фазовые флюктуации принимаемого радиолокационного сигнала, в которых заложена информация о цели, при этом не учитываются. Результаты проведенного исследования подтвердили, что учет фазовой составляющей принятого сигнала позволит улучшить контрастность радиолокационной цели и тем самым повысить показатели качества распознавания целей. Получение радиолокационного портрета цели с учётом фазовой составляющей возможно на основе выходной информации фазового последетекторного обнаружителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ширман Я.Д.** Радиолокационное распознавание и методы математического моделирования. – г. Подольск, Издательское предприятие редакции журнала «Радиотехника», 2000, Выпуск III. – 97 с.
2. **Левин Б.Р.** Теоретические основы статистической радиотехники. – Москва, Изд-во «Советское радио», 1968. – 392 с.
3. **Прэйт У.** Цифровая обработка изображений / Пер. с англ. – М.: Мир, 1982, Кн.1 – 312 с.
4. **Гайдышев И.** Анализ и обработка данных: специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 752 с.
5. **Фукунага К.** Введение в статистическую теорию распознавания образов / Пер. с англ. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 368 с.
6. **Ту Дж., Гонсалес Р.** Принципы распознавания образов / Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 413 с.
7. **Кузьмин С.З.** Цифровая радиолокация. Введение в теорию. – Киев: Издательство КВИЦ, 2000.

ALGORITHM DESIGN OF TARGET RANGE IMAGE CONTRAST ENHANCEMENT FOR AERIAL OBJECTS DISCRIMINATION

S.S. Kozorez, A.V. Piskunov, Yu.V. Krasnikov, P.V. Pustozeroz

The use of UAVs of different types nowadays and tactical aircraft in order to penetrate air defenses complicates the selection of priority targets for destruction by Air Defense systems, especially in conditions of its short time combat operation in air defense missile systems engagement area and missiles limit. In this case the target distribution effectiveness can be increased through the use of the radar determination mode. In these conditions the aerial object classification is not sufficient, because targets of the same class can perform different missions.

Today, with use of ultrashort-pulsed signals, having enough bandwidth, the possibility of getting a range images have emerged, and its implication permits to carry out the targets classification and typification as well.

During the ultrashort-pulsed signals processing, in order to obtain the range image, the received signal amplitude only is used, and phase fluctuations of receiving radio signal, in which the target information is embedded, are neglected. The article states the research results proving that metering of received signal phase term would improve the radar target contrast, hence enhancing target discrimination quality parameters. To obtain a radar target image with respect to phase component is possible on the base of output information of phased postdetection detector.

Поступила 29 июня 2017 года.

БИСТАТИЧЕСКИЕ РЛС КОНТРОЛЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА НА БАЗЕ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

© Автор, 2017

А.В. Ксендзук доктор технических наук,
зам. генерального конструктора, ПАО «МАК «Вымпел», г. Москва
E-mail: ks_alex@mail.ru

В работе предложены принципы построения космической бистатической неизлучающей РЛС контроля космического пространства. Для обнаружения и сопровождения КА предлагается использовать сигналы наземных РЛС, что позволяет создать полезную нагрузку с малой массой, габаритами и энергопотреблением, так как она содержит только приемную аппаратуру. Приведена структурная схема неизлучающей РЛС, выполнен расчёт энергетических параметров. Предложены варианты практической реализации.

Ключевые слова: бистатическая РЛС, малый космический аппарат, система контроля космического пространства (СККП), энергетический потенциал.

The article proposes the design concept of bistatic nonradiating space surveillance and tracking radar on the base of small space vehicles (SV). For space objects detection and tracking it's proposed to use ground radars signals that permits to configure a payload with light mass, small dimensions and low power consumption, as it composed only of receiving equipment. The functional block diagram of nonradiating radar was performed; the calculation of energy parameters was carried out. The practical realization variants were suggested.

Keywords: bistatic radar, small Space Vehicle (satellite), Space Tracking and Surveillance System (STSS), energy potential.

В статье предложен вариант создания космического сегмента системы контроля космического пространства (СККП) на базе малых космических аппаратов (КА). Предлагается использовать принципы построения неизлучающих радиолокационных систем (НРЛС), позволяющие обнаруживать и оценивать траектории космических аппаратов по отраженным сигналам наземных радиолокационных станций ККП.

Предложена структурная схема неизлучающей РЛС, содержащая блок подавления прямых сигналов наземного передатчика. Описан принцип обработки сигналов. Выполнен расчет энергетических параметров при работе по сигналам иностранных станций ККП. Проанализированы достоинства и недостатки различных антенных систем НРЛС. Предпочтительным вариантом является использование малогабаритных слабонаправленных систем с применением алгоритмов синтеза апертуры, что позволяет обеспечить требуемую энергетику и получить относительно высокую разрешающую способность.

Так как на предлагаемом КА космического сегмента СККП отсутствуют передающие элементы, существенно снижаются требования к массе и энергопотреблению, что позволяет разместить полезную нагрузку на малых и сверхмалых платформах или модифицировать существующие КА радиотехнического контроля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шилин В.Д., Олейников И.И. Область контроля – околоземное пространство / Журнал «Воздушно-космическая оборона». – М.: ООО ИД «ВПК-Медиа», 2010, №1(50). – 120 с.
2. Малые космические аппараты информационного обеспечения / под ред. д-ра техн. наук, деятеля науки РФ, профессора В.Ф. Фатеева. – М.: Радиотехника, 2010. – 320 с.
3. Козин В. «Иджис» – прямая угроза России // Национальная оборона. – 2012. Апрель. – С. 20–26.
4. Ksendzuk A.V., Volosyuk V.K., Ksendzuk V.M. Multiposition SAR versus monostatic SAR // *Proceeding of 6th European Conference on Synthetic Aperture Radar EUSAR 2006*. – Dresden, Germany.
5. Ксэндзук А.В., Волосюк В.К., Зеленский А.А., Басараб М.А., Горячкин О.В. и др. Цифровая обработка сигналов и изображений / под ред. В.Ф. Кравченко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 544 с.
6. Сайт АО «ИСС имени академика М.Ф. Решетнёва». – URL: <http://www.iss-reshetnev.ru>.

SMALL SPACE VEHICLE BISTATIC SPACE TRACKING AND SURVEILLANCE RADAR SYSTEM

A.V. Ksendzuk

The article suggests a variant of the Space Tracking and Surveillance System (STSS) space segment configuration on the base of small satellite vehicles (SV). It's suggested to use structural principle of nonradiating radar systems (NRRS) permitting to detect and estimate space vehicles trajectories according to reflected signals from ground STS radar stations.

The functional block diagram of nonradiating radar was performed including primary signals killer of ground transmitter. The signals processing principle was described. The calculation of energetic parameters during operation on foreign STSS signals was conducted. The different NRRS antennas systems advantages and disadvantages were analyzed. The preferable variant is use of small dimensions low-directed systems using an aperture synthesizing algorithms that provides required energy and have a relative high resolution capability.

Since there are no receiving elements onboard the proposed SV STSS space segment, the requirements to mass and energy consumption reduce that permits to deploy a payload on small and miniature platforms or perform modification of existed STSS space vehicles.

Поступила 6 июня 2017 года.

ГРУППОВОЕ ЦЕЛЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ В ВОЗДУШНОМ ПРОТИВОБОРСТВЕ С УЧЁТОМ ВЫБЫВАНИЯ УЧАСТНИКОВ

© Авторы, 2017

В.И. Меркулов доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, зам. генерального конструктора, АО «Концерн «Вега», г. Москва
А.С. Пляшечник кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, АО «Концерн «Вега», г. Москва
E-mail: a_plyashechnik@mail.ru

С учётом анализа иностранных источников рассмотрен способ группового целераспределения, обеспечивающий не только назначение целей перехватчикам с учётом возможного выбывания участников, но и дающий возможность построить предполагаемые траектории перехвата с учётом реальных ограничений.

Ключевые слова: целераспределение, наведение, управление летательными аппаратами.

This paper presents a method for solving group target distribution problem in dogfighting providing not only targets assignment to interceptors with respect to possible knockout of participants, but also giving a possibility to generate an estimated interception trajectory under real limitations.

Keywords: target distribution, guidance, aircraft flight control.

В статье предлагается способ распределения целей между перехватчиками в воздушном противоборстве. В его основе лежит построение для каждой пары перехватчик-цель предполагаемой траектории перехвата, состоящей из участка с постоянным ускорением и участка с постоянной скоростью. Затем подбираются параметры этой траектории, которые удовлетворяют ограничениям на возможности перехватчиков и минимизируют определённый функционал качества. После этого решается задача о назначениях, в результате чего получается назначение целей перехватчикам с минимальным суммарным функционалом качества. Метод не требует существенных вычислительных затрат и целераспределение может быть легко пересчитано при выбывании участников или изменении скорости целей. Проведённое моделирование подтвердило работоспособность алгоритма.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Вербя В.С.** Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Принципы построения, проблемы разработки и особенности функционирования. – М.: Радиотехника, 2014.
2. **Ahuja R., Kumar A., Krishna J., Orlin J.** Exact and heuristic algorithms for the weapon – target assignment problem // *Operations research*. – 2007, V.55, №6. – P.1136–1146.
3. **Zhang J., Hu C., Wang X., Yuan D.** ACGA algorithm of solving weapon – target assignment problem // *Open journal of applied sciences*. – 2012.
4. **Huaiping C., Jingxu L., Yingwu C., Hao W.** Survey of the research on dynamic weapon-target assignment problem, // *Journal of Systems Engineering and Electronics*. – 2006, V.17, №3. – P.559–565.
5. **Zhihua S., Fashun Z., Duolin Zh.** A Heuristic Genetic Algorithm for Solving Constrained Weapon-Target Assignment Problem.
6. **Lee Z.-J., Su S.-F., Lee C.-Y.** A Genetic Algorithm with Domain Knowledge for Weapon-Target Assignment Problems // *Journal of the Chinese Institute of Engineers*. – 2002, V.25, №3. – P.287–295.
7. **Lu H., Zhang H., Zhang X., Han R.** An Improved Genetic Algorithm for Target Assignment Optimization of Naval Fleet Air Defense // *Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, June 21–23, 2006. – Dalian, China.*
8. **Zeng X., Zhu Y., Nan L., Hu K., Niu B., He X.** Solving Weapon-Target Assignment Problem Using D Discrete Particle Swarm Optimization // *Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, June 21–23, 2006. – Dalian, China.*
9. **Madni A.M., Andrecut M.** Efficient Heuristic Approaches to the Weapon Target Assignment Problem // *AIAA Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication*. – 2009, №6. – P.405–415.
10. **Jie C., Bin X., ZhiHong P., LiHua D., Juan Z.** Evolutionary decision-makings for the dynamic weapon-target assignment problem. // *Science in China Series F: Information Sciences*. – 2009, V.52, №11.
11. **Ni M., Yu Z., Ma F., Wu X.** A Lagrange Relaxation Method for Solving Weapon-Target Assignment Problem // *Mathematical Problems in Engineering*. – Volume 2011, Article ID 873292.

12. **Li-min Zh., Yuan Zh., Wen-biao L.** // *The Design of Target Assignment Model Based on the Reverse Mutation Ant Colony Algorithm* // *Procedia Engineering*. – 2012, 29. – P.1554-1558.
13. **Jenkins M.A.** Algorithm 493: Zeros of a real polynomial // *ACM transactions on mathematical software*. – 1975, 1, №2. – P.178–189.
14. **Munkres J.** *Algorithms for assignment and transportation problems*, // *Journal of the society for industrial and applied mathematics*. – 2000, 5, №1. – P.32–38.

GROUP TARGET DISTRIBUTION IN DOGFIGHTING WITH RESPECT TO KNOCKOUT OF PARTICIPANTS

V.I. Merkulov, A.S. Plyashechnik

The article suggests target distribution method between interceptors during dogfighting. For each interceptor-target pair it generates an estimated interception trajectory comprising a constant acceleration section and a section with constant velocity. Then the parameters of interceptor's trajectory are formed up satisfying limitation on interceptor's capabilities while minimizing the certain quality function. After this the assignment problem is solved with target assignment for interceptors that minimizes total quality function. The method doesn't require extensive computational efforts and the target distribution can be easily recalculated upon knockout of participants or targets' velocity change. The carried out modeling confirmed the algorithm's efficiency.

Поступила 6 марта 2017 года.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СРЕДСТВАМИ ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОБОРОНЫ

© Авторы, 2017

Д.П. Тетерин доктор технических наук,
первый зам. генерального директора, АО «Авиаавтоматика» им. В.В. Тарасова», г. Курск
E-mail: tdp@aviaavtomatika.ru

А.Н. Попов
генеральный директор, АО «Авиаавтоматика» им. В.В. Тарасова», г. Курск
E-mail: popovan@aviaavtomatika.ru

С.В. Алилуев
ведущий конструктор, АО «КБПА», г. Саратов
E-mail: s.v.aliluev@kbpa.ru

А.Г. Яшин
ведущий конструктор, АО «КБПА», г. Саратов
E-mail: a.g.yashin@kbpa.ru

Приведены результаты исследования вариантов структурной модернизации системы управления подготовкой и пуска ракет (противоракет) с использованием методов системного анализа.

Ключевые слова: *система управления подготовкой и пуском ракет (противоракет), ранжирование, критерии выбора.*

The variant of the structural modernization of control systems for preparation and launch of missiles (interceptors) using the system analysis methods is considered in this study.

Keywords: *control system for preparation and launch of missiles (interceptors), ranking, selection criteria.*

Одним из способов повышения эффективности средств воздушно-космической обороны (ВКО) является структурная и программно-аппаратная модернизация систем управления подготовкой и пуском ракет (противоракет).

Технической задачей модернизации является создание системы, которая позволяет расширить функциональные возможности, повысить безопасность, надёжность и отказоустойчивость средств ВКО.

Поставленная задача решается с использованием методов многокритериального ранжирования, которые позволяют с достаточной долей достоверности разработать эффективный вариант структуры системы и обеспечить значительное сокращение времени её программно-аппаратной реализации. Особенностью методов является использование коэффициентов важности критериев заданных интервалами значений.

В результате применения методов осуществлен выбор эффективного варианта системы, описание структуры которой приводится.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Сафронов В.В.** Основы системного анализа: методы многовекторной оптимизации и многовекторного ранжирования. – Саратов: Научная книга, 2009. – 329 с.
2. **Сафронов В.В., Тетерин Д.П. и др.** Автоматизированное рабочее место оператора управления средствами воздушно-космической обороны // Вестник воздушно-космической обороны. – М.: ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей», 2015, вып. 2. – С.75–77.
3. **Сафронов В.В., Тетерин Д.П. и др.** Решение задач ранжирования сложных систем: коэффициенты важности заданы интервалами значений // Информационные технологии. – М., 2004, № 11. – С.29–36.

4. **Сафронов В.В., Северов А.А., Тетерин Д.П.** Гипервекторное ранжирование вариантов систем подготовки и пуска летательных аппаратов // Аналитические проблемы защиты и безопасности: Труды XVI Всероссийской научно-практической конференции РАРАН (3 – 6 апреля 2013 года). Том 4. – М.: Изд-е РАРАН, 2013. – С.344–353.
5. **Тетерин Д.П., Молодецкий А.И., Перегоедов В.Ф., Шмелев В.А.** Командно-стрельбовая информационно-управляющая система // Патент на изобретение №2562774 от 10.09.2015.
6. **Ушаков В.А., Резник А.Е., Тетерин Д.П., Поршнев В.А., Дзюба О.С., Алилуев С.В., Фирсов В.М., Николаев А.А.** Двигательный привод токоразъединителей // Патент на полезную модель №127161 от 20.04.2013.
7. **Тетерин Д.П.** Командно-стрельбовая информационно-управляющая система (варианты) // Патент на изобретение №2622848 от 20.06.2017.

AEROSPACE DEFENSE MEANS CONTROL SYSTEM

D.P. Teterin, A.N. Popov, S.V. Aliluev, A.G. Yashin

One of the ways to improve efficiency of the aerospace defense (ASD) means is the structural and hardware and software modernization of control systems for preparation and launch of missiles (interceptors).

The technical problem of modernization is the creation of a system, which allows extending the functional capabilities, improving security, reliability and resilience of ASD means.

The assigned task is solved using the multi-criteria ranking methods, which allow with a sufficient degree of reliability to develop the effective variant of the system structure and to ensure significant time reduction of its hardware and software realization. The methods peculiarity is the use of coefficients of criteria importance specified by values range.

As a result of the methods application an effective system variant was selected, the structure description of which is given.

Поступила 15 июня 2017 года.

ИССЛЕДОВАНИЯ В СФЕРЕ ПРОЕКТНО- КОНСТРУКТОРСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ

УДК 621.3.049.77.621.793

ЗОНДОВЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МИКРОПОЛОСКОВЫХ СВЧ-УСТРОЙСТВ

© Автор, 2017

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

Разработан и осуществлён зондовый метод контроля электрофизических параметров микрополосковых параметров СВЧ-устройств на всех стадиях их изготовления. Получены общие и частные формулы расчёта удельного сопротивления с расположением зондов в датчиках в виде прямоугольника, оценены чувствительность и погрешность.

Ключевые слова: зондовые методы контроля, четырёхзондовый метод, интегральные микросхемы, удельное сопротивление, удельное поверхностное сопротивление, датчики контроля.

The probe control method was developed of physical parameters of microstrip microwave devices at all stage of its production. The general and particular calculation formula of specific resistance with probes arrangement in sensors in the form of rectangle, sensitivity and error were estimated.

Keywords: probe control methods, four-point probe method, integrated microcircuits, specific resistance, sheet resistance, control sensors.

Одной из актуальных задач при изготовлении тонкоплёночных интегральных микросхем является разработка методов контроля электро-физических параметров проводниковых, полупроводниковых и резистивных пленок на всех стадиях их формирования. Известно, что одним из главных электрофизических параметров, по величине которого может производиться оптимизация изготовления тонкоплёночных элементов интегральных микросхем, является удельное сопротивление плёночных материалов.

Разработан и осуществлен зондовый метод контроля удельного сопротивления тонких плёнок при изготовлении интегральных микросхем СВЧ с прямоугольным расположением зондов в датчиках на всех стадиях их изготовления.

Установлены аналитические зависимости измерения удельного сопротивления тонких плёнок при различном расположении зондов в датчиках.

Разработаны датчики для контроля электрофизических параметров проводящих плёнок в процессе их осаждения в вакууме, а именно, удельного сопротивления плёнок, удельного поверхностного сопротивления плёнок, скорости осаждения плёнок, толщины плёнок. Дана оценка чувствительности и точности датчиков с различным расположением зондов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Valdes L.B.** Proc. JEE. – 1952, Vol.42, N2. – P.420.
2. **Van der Pauw L.G.** Philips Res. Rep. – 1958, Vol.13. – P.1.
3. **Арешкин А.А.** Контроль удельного сопротивления тонкопленочных элементов микроволновых СВЧ-устройств // Приборы и Системы: Управление, Контроль, Диагностика. – 2012, №4. – С.24–28.
4. **Арешкин А.А.** Расчёт функции поправок при измерении удельного сопротивления четырёхзондовым методом // Приборы и Системы: Управление, Контроль, Диагностика. – 2012, №4. – С.41–45.
5. **Калашников С.Г.** Электричество. – М.: Наука, 1977. – 666 с.

***PROBE CONTROL METHOD OF PHYSICAL PARAMETERS
DURING PRODUCTION OF MICROSTRIP MICROWAVE DEVICES***

A.A. Areshkin

One of vital tasks during production of thin-film integrated microcircuits is control methods development of physical parameters of conductor, semiconductor and resistive films and all stages of its forming. It's known that one the main physical parameters, at value of which the production optimization of thin-film integrated microcircuits elements can be carried out, is the specific resistance of film materials.

The probe control method of thin films specific resistance during production of integrated microcircuits of microwave with rectangle probes arrangement in sensors at all stages of production was developed.

An analytical dependence of thin-films specific resistance measuring at different probes arrangement in sensors was determined.

The sensors for control of conducting films physical parameters were developed during its evaporation in vacuum, precisely, films specific resistance, films thickness. The sensors sensitivity and accuracy with different probes arrangement were estimated.

Поступила 8 июня 2017 года.

ПРОГРАММА АНАЛИЗА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАКТА АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

© Авторы, 2017

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

Н.А. Игнатов

инженер 2 категории, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

А.М. Лосев

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

В статье описана программа анализа динамических характеристик тракта аналого-цифрового преобразования. Данная программа позволяет оценить характеристики каналов АЦП в функциональных ячейках, входящих в состав блока преобразования сигналов, и полностью заменяет аналогичную ей зарубежную программу.

***Ключевые слова:** программа, динамические характеристики, отсчёт, усреднение, массив значений.*

The analysis program for dynamic characteristics of an analog-to-digital conversion (ADC) path is described in this paper. This program allows evaluating the performance of ADC's.

***Keywords:** program, dynamic characteristics, count, averaging, array of values.*

Для анализа динамических характеристик каналов аналого-цифрового преобразования (АЦП) в функциональных ячейках, входящих в состав блока преобразования сигналов, до последнего времени применялась программа анализа динамических характеристик тракта АЦП *PScope* (США). Использование данной программы связано с рядом проблем. Авторами статьи была создана программа анализа динамических характеристик *DataAcq*. Программа предназначена для работы в составе стендовой аппаратуры, разработана в рамках программы импортозамещения и используется вместо зарубежной программы *PScope*, имеющей ограниченные возможности. В программе реализуется запись массива из $6,5 \times 10^4$ выборок аналого-цифрового преобразователя с выхода тракта обработки сигнала на промежуточной частоте и вычисление необходимых характеристик тракта: отношения сигнал/шум, динамического диапазона, уровня интермодуляционных составляющих и т.д. В *DataAcq* включен модуль для измерения реальных характеристик устройства обработки сигналов в квазинепрерывном режиме работы. С помощью этого модуля проведены измерения характеристик тракта обработки при квазинепрерывном аналоговом входном сигнале (до сих пор для этих целей удавалось использовать только гармонический сигнал). Полученные результаты подтверждают возможность измерения с помощью разработанного комплекса характеристик в диапазоне более 90 дБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бобров Д.Ю., Доброжанский А.П., Зайцев Г.В., Маликов Ю.В., Цыпин И.Б.** Цифровая обработка сигналов в МРЛС. Часть 2. Алгоритмы обработки радиолокационных сигналов // Цифровая обработка сигналов. – М., 2002, №1. – С.28-39.
2. **Лайонс Р.** Цифровая обработка сигналов / под ред. А.И. Бритова. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006. – 656 с.
3. Цифровая обработка сигналов в многофункциональных радиолокаторах. Методы. Алгоритмы. Аппаратура / под ред. Г.В. Зайцева. – М.: Радиотехника, 2015. – 376 с.

DYNAMIC RESPONSE ANALYSIS PROGRAM OF ANALOG-TO-DIGITAL CONVERSION PATH

Yu.S. Atopshev, A.V. Voronkov, N.A. Ignatov, A.M. Losev

To analyze the dynamic characteristics of analog-to-digital (ADC) channels in functional cells included in the signal conversion unit, the program for analyzing the dynamic characteristics of the PScope (USA) ADC path have been used until recently. The use of this program is associated with a number of problems. The authors of the article created a DataAcq program for analyzing the dynamic characteristics. The program is designed to work as a part of bench equipment, developed as part of the import substitution program and is used instead of the PScope foreign program, which has limited capabilities. The program records an array of 6.5×10^4 samples of the analog-to-digital converter from the output of the signal processing path at the intermediate frequency and calculates the required path characteristics: signal-to-noise ratio, dynamic range, intermodulation distortion level, etc. DataAcq includes a module for measuring the real characteristics of a signal processing device in quasi-continuous operation mode. The characteristics of the processing path for a quasi-continuous analog input signal have been measured using this module (so far only a harmonic signal could be used for these purposes). The obtained results prove the measuring possibility through the developed complex of characteristics in the range of more than 90 dB.

Поступила 11 июля 2017 года.

УДК 621.396.67

МЕТОДЫ СИНТЕЗА НУЛЕЙ В ДИАГРАММЕ НАПРАВЛЕННОСТИ АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ, МИНИМИЗИРУЮЩИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТОКОВ ВОЗБУЖДЕНИЙ

© Авторы, 2017

В.А. Балагуровский

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

А.С. Кондратьев кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
главный специалист направления, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

E-mail: KondratyevAS@mail.ru

А.О. Маничев кандидат технических наук,
зам. начальника НИО, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

E-mail: alex_manichev@inbox.ru

А.Н. Тюваев

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

E-mail: Okean87@mail.ru

Представлены итерационные методы синтеза нулей в диаграмме направленности (ДН) активной фазированной антенной решётки (АФАР), основанные на управлении амплитудами возбуждений элементов АФАР при условии минимизации изменений амплитудно-фазового распределения (АФР) при помощи аппарата линейной алгебры. Приведены аналитические выражения, позволяющие реализовать алгоритм в соответствии с рассмотренными методами. Представлены примеры синтеза нуля в ДН высокопотенциальной АФАР на основе математической модели.

Ключевые слова: синтез нулей, диаграмма направленности, амплитудное управление.

Iterative methods for the null synthesis in the radiation pattern (RP) of an active phased array antenna (APAA) based on control of the amplitude excitation of the APAA elements that minimize changes in the amplitude-phase distribution (APD) by means of solution of a system linear algebraic equations are proposed. The analytical expressions allowing one to implement the algorithm in accordance with the proposed methods are presented. The null synthesis examples in a high-gain APAA based on a mathematical model are performed.

Keywords: null synthesis, radiation pattern, amplitude control.

Сложная и насыщенная помеховая обстановка, свойственная современному миру, существенно усложняет функционирование радиотехнической системы (РТС) и может привести к нарушению её нормальной работоспособности. Эффективными способами борьбы с окружающими помеховыми сигналами являются методы формирования нулей (методы синтеза нулей) в диаграмме направленности (ДН) активной фазированной антенной решётки (АФАР), входящей в состав РТС. Такие методы, в зависимости от типа управления амплитудно-фазовым распределением (АФР) в раскрыте АФАР, могут быть поделены на три категории: амплитудные, фазовые и амплитудно-фазовые. В данной статье предлагаются итерационные методы синтеза нулей в ДН АФАР, основанные на управлении амплитудами возбуждений элементов при условии минимизации изменений АФР при помощи аппарата линейной алгебры. В основе предлагаемых методов лежит поиск решения системы линейных уравнений с применением псевдообратной матрицы, составленной с использованием определённых волновых коэффициентов. Найденное в результате решения значение амплитуды в общем случае может оказаться отрицательным. Тогда в качестве искомого значения амплитуды предлагается использовать либо ближайшее значение из диапазона разрешённых значений, либо выполнить поворот фазы возбуждения элемента на 180 градусов.

Проведённое математическое моделирование предложенных методов, учитывающее ограниченность диапазона регулирования амплитудным распределением, а также дискретное управление амплитудами и фазами элементов, показало весьма незначительное падение уровня

коэффициента направленного действия (КНД) по сравнению с КНД исходной ДН за счёт того, что в нём заложено условие минимизации изменения токов возбуждений элементов АФАР.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Shore R.A.** *An iterative Phase-Only Nulling Method / Rome Air Development Center. – February 1982. In-house Report RADC-TR-82-49. – P.22.*
2. **Steyskal H.** *Synthesis of antenna patterns with prescribed nulls, IEEE Trans. – 1982, Vol. AP-30, №2. – P.273–279.*
3. **Маничев А.О., Кондратьев А.С.** Сравнительный анализ методов фазового синтеза нулей в диаграмме направленности фазированной антенной решётки // *Антенны. – М., 2011, №9. – С.3–25.*
4. **Bellman R.** *Introduction to Matrix Analysis, 2nd ed. – New York: McGraw-Hill, 1970.*

METHODS FOR THE NULL SYNTHESIS IN THE RADIATION PATTERN OF AN ACTIVE PHASED ARRAY ANTENNA MINIMIZING CHANGES IN EXCITATION CURRENTS

V.A. Balagurovskiy, A.S. Kondratiev, A.O. Manichev, A.N. Tyuvaev

Complex and intense interference environment typical of the modern world significantly complicates operation of the radio system (RS) and may lead to system malfunction. Effective countermeasures against interfering signals are methods for formation of deep gaps (null synthesis methods) in the APAA RP. Such methods, depending on their type of control over the APD in the APAA aperture, can be divided into three categories: amplitude-only methods, phase-only methods, and amplitude-and-phase methods. In this paper, we propose iterative null synthesis methods based on the control of the element amplitudes under the condition of minimum changes in the APAA that involve solution of a system of linear algebraic equations. The proposed methods are based on the search for solutions of linear equations using a pseudoinverse matrix composed with the use of certain wave coefficients. Generally, the obtained values of the excitation amplitudes can be negative. Then, the desired values of the amplitudes are proposed to set to the nearest allowed (e.g., zero) values of the amplitudes or to apply rotation of the element excitation phase by 180 degrees in order to obtain the positive amplitude. The performed mathematical simulation of the proposed methods considering the limitations of the adjustment range of values of the amplitude distribution as well as discrete values of the element amplitudes and phases has shown a very slight lowering of the directive gain (DG) as compared with the DG of the initial RP due to the fact that these methods involve the condition of minimum changes in the APAA excitations.

Поступила 20 июня 2017 года.

УДК 623.4.084.7

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРНОГО НЕКОНТАКТНОГО ДАТЧИКА ЦЕЛИ НА ДАЛЬНОМЕРНОМ ПРИНЦИПЕ ОБНАРУЖЕНИЯ

© Авторы, 2017

Н.Ф. Глущенко кандидат технических наук,
начальник отдела, АО «КБточмаш им. А.Э. Нудельмана», г. Москва

Д.А. Говорухин
инженер-конструктор, АО «КБточмаш им. А.Э. Нудельмана», г. Москва

М.М. Ильичев
зам. начальника отдела, АО «КБточмаш им. А.Э. Нудельмана», г. Москва
E-mail: mihail.ilichev@list.ru

А.Б. Корнеев кандидат технических наук
зам. технического директора по НИОКР, АО «КБточмаш им. А.Э. Нудельмана», г. Москва

М.А. Мещеряков
инженер-конструктор 1 категории, АО «КБточмаш им. А.Э. Нудельмана», г. Москва

А.В. Семенов кандидат технических наук,
ведущий инженер, АО «КБточмаш им. А.Э. Нудельмана», г. Москва

В.Н. Слободчиков доктор технических наук, академический советник РАН,
академик РАН КЦ, технический директор, АО «КБточмаш им. А.Э. Нудельмана», г. Москва

Разработан макет неконтактного датчика цели для зенитного снаряда на дальномерном принципе обнаружения. Разработаны и исследованы схемы для излучателей на полупроводниковых лазерных диодах, схемы приёма и усиления сигнала, отражённого от имитатора цели. Проведены испытания макета неконтактного датчика для определения точностных характеристик датчика.

Ключевые слова: неконтактный датчик цели, модуль излучателя, лазерный диод, модуль фотоприёмника, дальномерный принцип обнаружения.

For the first time the mock-up model of the laser noncontact target sensor for AA projectile based on range-finding detection principle was developed. Schemes for radiators on semiconductor laser diodes, receive and multiplication schemes of signal reflected from the target simulator were developed and examined. The tests of mock-up model of noncontact sensor were conducted in order to determine accuracy characteristics of the sensor.

Keywords: noncontact target sensor, radiator module, laser diode, photodetector module, range-finding detection principle.

Впервые разработан макет лазерного неконтактного датчика цели (НДЦ) на дальномерном принципе обнаружения. Это удалось, во-первых, за счёт разработки оригинальной схемы коммутации тока накачки лазерного диода, позволившей достичь импульсной мощности излучения 250 Вт при длительности оптического импульса 12 нс и частоте следования импульсов 30 кГц. Во-вторых, за счёт разработки ФПУ на фотодиоде в бескорпусном исполнении с прямоугольной чувствительной площадкой, смонтированном непосредственно на плате ФПУ рядом с операционным усилителем. В результате удалось минимизировать паразитные ёмкости и индуктивности монтажа, снизить воздействие электромагнитных помех.

Исследованы шумовые характеристики фотоприёмного канала, его работоспособность при нахождении Солнца под различными углами. Исследована точность и надёжность определения дистанции до цели, находящейся над подстилающей поверхностью. По сравнению с известными образцами неконтактных датчиков нами впервые применён дальномерный принцип обнаружения, обеспечивающий селекцию цели, находящейся над подстилающей поверхностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мещеряков М.А., Бебчук А.Д., Глущенко Н.Ф., Ильичев М.М., Корнеев А.Б., Семенов А.В., Слободчиков В.Н. Исследование ударостойкости элементов конструкции лазерного неконтактного датчика цели для зенитного снаряда // Аннотированный сборник материалов конференции Всероссийской научно-технической конференции «Расплетинские чтения-2016». – М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2015. – С.36–37.

***CHARACTERISTICS DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF LASER
NONCONTACT TARGET SENSOR BASED ON RANGE-FINDING
DETECTION PRINCIPLE***

**N.F. Glushchenko, D.A. Govoruhin, M.M. Ilichev, A.B. Korneev, M.A. Meshcheryakov,
A.V. Semenov, V.N. Slobodchikov**

For the first time the mock-up model of the laser noncontact target sensor (NTS) based on range-finding detection principle was developed. It was achieved, firstly, through the design of individual diagram of laser diode pump current circuit permitting to gain 250 W peak radiating power at 12 ns of optical pulse length and at 30 kHz of pulse-repetition rate. Secondly, through design of photodetector on photodiode in die form with rectangular sensitive plane assembled directly on photodetector plate near the operational amplifier. As a result we managed to minimize parasitic capacitance and assembling inductance, and reduce the influence of electromagnetic interference.

The photodetector channel noise characteristics, its working efficiency at different angles of sun activity were examined. The accuracy and reliance of range finding to the target located above underlying surface were analyzed. Comparing to the known noncontact sensors samples it was for the first time used the range-finding detection principle providing the target discrimination, located above underlying surface.

Поступила 6 июня 2017 года.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМПЕДАНСНОСОГЛАСОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ РАБОЧЕЙ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

© Авторы, 2017

А.С. Годин

инженер, АО «НПО «ЛЭМЗ», г. Москва

E-mail: andrey.godin@gmail.com

В.В. Перфильев кандидат технических наук,
старший научный сотрудник, АО «НПО «ЛЭМЗ», г. Москва

А.Д. Дризе

инженер, АО «НПО «ЛЭМЗ», г. Москва

К.И. Конов

инженер, АО «НПО «ЛЭМЗ», г. Москва

Использование импедансносогласованных материалов в антенных системах является перспективным направлением в развитии современных РЛС и позволяют унифицировать номенклатуру излучателей. Одно из возможных использований импедансносогласованных материалов – перенос рабочих частот уже изготовленных излучателей в более длинноволновые диапазоны. Использование нескольких импедансносогласованных сред, например, с $\epsilon_r = \mu_r = 2$, $\epsilon_r = \mu_r = 4$, $\epsilon_r = \mu_r = 8$, $\epsilon_r = \mu_r = 10$ позволяет увеличить диапазон длин волн для имеющегося излучателя в 2, 4, 8 и 10 раз, соответственно.

Ключевые слова: импедансносогласованные материалы; изменение рабочего диапазона частот излучателей; ANSYS Electromagnetic Suite.

The use of impedance-agreed materials in antenna systems is a promising direction in development of modern radars and permits to unify the radiators assortment. One of the possible employing of impedance-agreed materials is a translation of operating frequencies of ready radiators into more longer-wave bands. Employment of several of impedance-agreed medium, e.g. с $\epsilon_r = \mu_r = 2$, $\epsilon_r = \mu_r = 4$, $\epsilon_r = \mu_r = 8$, $\epsilon_r = \mu_r = 10$ permits to increase a wavelength band for the provided radiator into 2, 4, 8 and 10 times correspondingly.

Keywords: impedance-agreed materials, operating band change of radiators, ANSYS Electromagnetic Suite.

Использование импедансносогласованных материалов в антенных системах является перспективным направлением в развитии современных РЛС и позволяют унифицировать номенклатуру излучателей. Одно из возможных использований импедансносогласованных материалов - перенос рабочих частот уже изготовленных излучателей в более длинноволновые диапазоны. Использование нескольких импедансносогласованных сред, например, с $\epsilon_r = \mu_r = 2$, $\epsilon_r = \mu_r = 4$, $\epsilon_r = \mu_r = 8$, $\epsilon_r = \mu_r = 10$ позволяет увеличить диапазон длин волн для имеющегося излучателя в 2, 4, 8 и 10 раз, соответственно. Приведены работы зарубежных авторов и предложена методика по использованию импедансносогласованных материалов для увеличения рабочей длины волны существующих излучателей. Приведены результаты численного электродинамического моделирования волноводного щелевого излучателя, рабочая длина волны которого увеличена в 10 раз. Основными ограничениями для габаритов антенн с использованием импедансносогласованных материалов являются радиус шара из такого материала и возможность создания таких материалов в требуемом частотном диапазоне. Основные проблемы с габаритами актуальны для антенн в длинноволновом диапазоне (для частот менее 1 ГГц), для которого подобные материалы созданы.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Климов К.Н.** Определение, параметры и области применения импедансно согласованных материалов // Сборник докладов XIII Международной научно-практической конференции «Инновационные, информационные и коммуникационные технологии», 1-10 октября 2016. – Россия. Сочи. – С.516–518.
2. **Фёдоров Н.Н.** Основы электродинамики. – М.: Высшая школа, 1980. – С. 399.
3. **Stratton J.A.** *Electromagnetic Theory*. – McGraw Hill Book Company, NY and London, 1941.
4. **Schelkunoff S.A.** *The Impedance Concept and Its Application to Problems of Reflection, Refraction, Shielding and Power Absorption* // *Bell System Technical Journal*. – January 1938, Vol. 17, №1. – P.17–48.
5. **Kevin Buell.** *Development of engineered magnetic materials for antenna applications, dissertation of Ph.D.* – University of Michigan, USA, 2005. – P.183.
6. **Antti Karilainen.** *Magnetic materials and responses in antenna applications, Doctoral dissertations, Aalto University, Finland*, 2012. – P.70.
7. Патент США № 7573431, 2009. *Broadband polarized antenna including magnetodielectric material, isoimpedance loading, and associated methods*, Francis Eugene Parsche.
8. URL: http://www.skyworksinc.com/Products_TechnicalCeramics.aspx (Дата обращения 04.07.2017).
9. URL: <http://www.fair-rite.com> (Дата обращения 04.07.2017).
10. **Климов К.Н., Гежа Д.С., Фирсов-Шибяев Д.О.** Практическое применение электродинамического моделирования, LAP-Lambert, 2012. – С.216.
11. **Годин А.С., Мацяня М.С., Гежа Д.С., Климов К.Н.** Применение принципа электродинамического подобия и специальных материалов для уменьшения габаритов излучателя // Научно-технические технологии. – М., 2016, №4. – С.3–13.
12. **Климов К.Н., Годин А.С., Гежа Д.С.** Электрически малые антенны (часть 1) // Успехи современной радиоэлектроники. – М., 2016., №6. – С.47.
13. **Климов К.Н., Годин А.С., Гежа Д.С.** Электрически малые антенны (часть 2) // Успехи современной радиоэлектроники. – М., 2016., №7. – С.17.
14. **Hansen R.C.** *Electrically Small, Superdirective, and Superconducting Antennas*. John Wiley & Sons, Inc., 2006. – P.168.

USE OF IMPEDANCE-AGREED MATERIALS TO INCREASE RADIATORS OPERATING WAVE LENGTH

A.S. Godin, V.V. Perfiliev, A.D. Drize, K.I. Konov

The use of impedance-agreed materials in antenna systems is a promising direction in development of modern radars and permits to unify the radiators assortment. One of the possible employing of impedance-agreed materials is a translation of operating frequencies of existed radiators into more longer-wave bands. Employment of several of impedance-agreed medium, e.g. с $\epsilon_r = \mu_r = 2$, $\epsilon_r = \mu_r = 4$, $\epsilon_r = \mu_r = 8$, $\epsilon_r = \mu_r = 10$ permits to increase a wavelength band for the provided radiator into 2, 4, 8 and 10 times correspondingly. Foreign papers were performed and methodology of impedance-agreed materials employment to increase an operating wavelength of existed radiators. The results of computational electrodynamic modeling of waveguide slot radiator the operating wavelength of which is increased into 10 times. The main constraints for antennas dimensions with employment of impedance-agreed materials are a ball radius from such material and possibility to create such materials in required bandwidth.

Main dimensions problem is vital for long-wave band antennas (for frequencies less than 1 GHz) for which such materials are created.

Поступила 29 июня 2017 года.

УДК 623.76

ВОПРОСЫ ОЦЕНИВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ЗАМЕТНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ АНТЕНН МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА РАДИОВОЛН

© Авторы, 2017

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

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

Представлена методика, позволяющая проводить приемлемые по точности расчёты диаграммы обратного рассеяния металлических стержней длиной более 5 длин волн и отношения длины волны к диаметру стержня более 10. Методика применима для оценивания диаграммы направленности обратного рассеяния сигнала вертикальной штыревой антенны метрового диапазона радиоволн, позволяет решать другие важные для практики задачи. Сравнение данных расчёта и эксперимента свидетельствует о хорошей сходимости для практических данных на частоте 9.0 ГГц.

Ключевые слова: радиоэлектронное средство, радиопеленгатор, стержневая антенна, зондирующий сигнал, диаграмма направленности.

The methodology that permits to carry out the acceptable with respect to accuracy estimations of metal rods back-scattering diagram with length of more than five wavelengths and wavelength to rod diameter relation of more than 10 is performed. The methodology is applicable for estimation of backscattering directional pattern of vhf band vertical rod antenna signal and permits to perform other practice-important tasks. The comparison of estimation and experiment testify the satisfactory convergence at 9 GHz frequency.

Keywords: radio-electronic equipment, radio direction finder, rod antenna, sounding signal, directional pattern.

В антенных системах УКВ диапазона радиоволн применяются металлические стержни различной длины и диаметра, которые обладают не только способностью излучать и принимать радиосигналы, но также обратно рассеивать зондирующие сигналы СВЧ диапазона радиоволн. Характерной особенностью диаграммы направленности проволочных резонаторов было наличие пиков, следующих с интервалами, кратными нечетному числу полуволн облучающих сигналов, что подтверждалось большим числом экспериментов. Но это имело место только тогда, когда отношение диаметра провода к его длине было много меньше единицы. В других случаях, когда это отношение было иным, существующие методики не давали точной оценки рассеяния. Кроме того, в указанных выше работах и последующих публикациях других авторов не давались расчеты диаграммы направленности обратного рассеяния при углах зондирования, отличных от прямого. Авторы разработали методику, позволяющую проводить приемлемые по точности расчеты диаграммы обратного рассеяния металлических стержней длиной более 5 длин волн (5λ) и отношение длины волны к диаметру стержня больше 10.

Целью проведения эксперимента является оценка расходимости результатов расчета и измерений диаграмм направленностей различных стержней в типичном радиолокационном диапазоне радиоволн (X).

Сравнение данных расчёта и эксперимента свидетельствуют о хорошей сходимости для практических данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Introduction to Radio Systems*. By Merrill I. Skolnik. Second Edition, Me Graw – Hill Company, London, 1981. – 580 p.
2. *Radar Handbook*. Third Editor / Editorin Chief Merrill Ivanovich Skolnik. Me Graw – Hill Company, New York, 2008. – 1352 p.
3. *Fundamentals of the Physical Theory of Diffraction*. Second Edition / By Pyotr. Ya. Ufimtsev. IEEE Wiley & Sons, Inc. Canada, 2014. – 486 p.

RADAR SIGNATURE ESTIMATION OF VERTICAL VHF BAND ROD ANTENNAS

S.V. Golubchikov, V.A. Vasiliev

In VHF band antenna systems the metal rods of different length and diameter are used, which capable not only radiate and receive radio signals but backscatter sounding signals of millimeter wave band.

The special feature of wire resonators directional pattern was a presence peaks following with intervals multiple to half-waves odd number of radiated signals that proved by lots of experiments. But this encountered only when wire diameter to its length relation was far less than unity.

In others cases, when this was different relation, the existed methodologies didn't give an accurate estimation of scattering. Besides, in other papers and other authors works there were no calculations of backscattering directional pattern at sounding angles different to a direct one.

The authors have developed a methodology permitting to carry out acceptable with respect to accuracy backscattering diagram calculation of metal rods with length of more than five wavelengths (5λ) and wavelength to rod diameter relation of more than 10.

An experiment goal is to estimate calculation results divergence and directional pattern measurements of different rods in typical radar frequency band (X).

The comparison of estimation and experiment testify the satisfactory convergence.

Поступила 22 марта 2017 года.

УДК 621.396.96

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ В РЛС С ФАР

© Авторы, 2017

В.В. Иванов

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

E-mail: info@raspletin.com

А.В. Иванов

зам. начальника отдела, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

В.И. Богданов

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

Анализируются частотные характеристики (ЧХ) фазированной антенной решетки (ФАР) при работе в секторе электронного сканирования (СЭС). Определяется аналитическая зависимость ЧХ от диаграммы направленности антенны и угла отклонения луча. Для СШЛЧМ сигналов обосновывается возможность коррекции искажений спектра сигнала и соответственно исключение ухудшения характеристик укороченного импульса. Приведены формулы для коррекции весовой функции при сканировании в СЭС и возможное снижение отношения «сигнал/шум». Для модульного варианта ФАР с компенсацией задержек в модулях определяются допустимые размеры модулей.

Ключевые слова: фазированная антенная решетка, частотная характеристика, разрешающая способность, сжатый сигнал, диаграмма направленности, уровень боковых лепестков сжатого сигнала, коррекция искажений.

Frequency-domain characteristics (FDC) of phased antenna array (PAA) are analyzed in electronic scanning sector (ESS) operation. The analytical dependence of frequency-domain characteristics from antenna directional pattern and beam deflection angle are determined. The possibility of signal spectrum distortion correction and excluding of chopped pulse characteristics degradation are sustained for ultrawideband linear frequency modulation. The article includes equations for weight function correction while scanning within ESA and possible signal-to-noise ratio decreasing. The modules permissible dimensions are determined for modular phased antenna array variant with delay compensation in modules.

Keywords: phased antenna array, frequency characteristic, resolution ability, compressed signal, directional pattern, compressed signal side-lobe level, distortions correction.

В статье рассматриваются проблемы использования сверхширокополосных сигналов в РЛС с ФАР: ухудшение разрешающей способности при отклонении луча от нормали к плоскости антенны, искажение типа "скос" за счет зависимости коэффициента направленного действия антенны от частоты излучаемого сигнала.

Для решения этих проблем проводится анализ частотных характеристик ФАР при работе в секторе электронного сканирования, определяется аналитическая зависимость частотной характеристики от диаграммы направленности антенны и угла отклонения луча. Для сверхширокополосных ЛЧМ сигналов обосновывается возможность коррекции искажений спектра сигнала и соответственно исключение ухудшения характеристик укороченного импульса. Приведены формулы для коррекции весовой функции при работе в секторе электронного сканирования и возможное снижение отношения сигнал/шум. Для модульного варианта ФАР с компенсацией задержек в модулях определяются допустимые размеры модулей.

В результатах представлены параметры сжатого сигнала в зависимости от значений на краях нормированной АЧХ: амплитуда, длительность на уровне -3 дБ, уровень боковых лепестков при параболической аппроксимации АЧХ. Показано, что форма частотной характеристики ФАР достаточно точно соответствует форме ДН антенны. При увеличении угла отклонения луча ЧХ ФАР сужается. Коррекция ЧХ ФАР при обработке сигнала позволяет устранить искажения сжатого сигнала ценой энергетических потерь. Модульное построение ФАР с введением управляемых задержек для крупногабаритных антенн – универсальное средство для борьбы с возникающими искажениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по радиолокации / под ред. М. Скопника. – М.: «Советское радио», 1977, Т.2.
2. Переходные процессы в раскрыве антенны. – 1960, *Proc. IRE* v.46.

ULTRAWIDEBAND SIGNALS USE IN PHASED ARRAY RADARS

V.V. Ivanov, A.V. Ivanov, V.I. Bogdanov

The article considers the problems of ultrawideband signals use in PAA radar: resolution loss at beam deflection from the normal to antenna plane, distortion of “back-fall” type due to antenna directional factor dependence from radiated signal frequency.

To solve these problems the PAA frequency-domain characteristics (FDC) analysis is provided during operation in electronic scanning sector, the analytical dependency of frequency characteristic from antenna directional pattern and beam deflection angle is determined. For the ultrawideband chirp (sweep-frequency modulation) signals the possibility of correction of the signal spectrum distortion and correspondingly exclusion of chopped pulse performance degradation was settle down. The article includes equations for weight function correction at operation in electronic scanning sector and possible signal-to-noise ratio decreasing. The modules permissible dimensions are determined for modular phased antenna array variant with delay compensation in modules.

The compressed signal parameters are performed in results depending on values at edges of normalized amplitude-frequency characteristics (AFC): amplitude, duration at – 3 dB level; side-lobes level at parabolic approximation of AFC. It's shown that PAA FDC form is quite exactly corresponds to antenna directional pattern (DP). At increase of beam deflection angle the PAA FDC is compressing. The PAA FDC correction during signal processing permits to eliminate distortions of compressed signal via energy loss. The PAA modular structure with input of controlled delays for large antennas – is the multipurpose tool to suppress distortions.

Поступила 20 июня 2017 года.

УДК 621.396.67

НОВАЯ ИНТЕРАКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ И КОРРЕКТИРОВКИ ВРЕМЕННЫХ ДИАГРАММ УПРАВЛЕНИЯ ФАР

© Автор, 2017

А.С. Кузнецов

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

E-mail: info@raspletin.com

В статье рассматривается эффективная интерактивная цифровая технология создания сигнальных временных диаграмм управления ФАР. Технология используется в разработке стендового блока управления для испытаний ФАР и может найти широкое применение при разработке цифровой аппаратуры различного назначения.

Ключевые слова: фазированная антенная решётка, сигнальная временная диаграмма, блок управления ФАР.

The article examines an effective interactive digital technology to create signal flow diagrams of PAA control. The technology is used in development of benchmark control block for PAA tests and can be widely used during digital equipment development of different purpose.

Keywords: phased antenna array, signal flow diagram, PAA control block.

В статье рассматривается эффективная интерактивная цифровая технология создания сигнальных временных диаграмм (ВД) управления ФАР. Технология используется в разработке стендового блока управления для испытаний ФАР и может найти широкое применение при разработке цифровой аппаратуры различного назначения.

Создание временных диаграмм в виде файлов осуществляется с применением, разработанной прикладной программы «Редактор ВД», созданной в среде визуального проектирования LabVIEW.

Редактор ВД предназначен для визуального создания, редактирования и просмотра ранее созданных файлов ВД. ВД представлены в виде графиков на экране 32-канального виртуального осциллографа и полностью совпадают с рисунком ВД на бумаге, которые поставляются разработчиком, и являются исходными данными для оператора.

Разработанная интерактивная технология позволяет быстро, визуально создавать временные диаграммы управления блоком ФАР, корректировать эти ВД, производить их отладку и переносить файлы ВД с персонального компьютера в блок управления антенной решеткой.

Технологический инструментарий («Редактор ВД») достаточно прост в эксплуатации не только для разработчиков цифровой аппаратуры, но и для персонала технического бюро завода-изготовителя, не имеющего навыков программирования.

Разработанная технология, при наличии аппаратной поддержки, может эффективно применяться для создания тестовых файлов, с помощью которых отлаживается цифровая аппаратура (ячейки, блоки).

ЛИТЕРАТУРА

1. Михеев П.М., Крылова С.И., Лукьянченко В.А., Урюпина Д.С. Учебный курс LabVIEW™ Основы 1 // 2007. – URL: <http://labview/ilc/edu/ru>.
2. Бутырин П.А., Васьковская Т.А., Каратаева В.В., Материкин С.В. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW7 (30 лекций). – М.: Изд-во ДМК, 2005.

NEW INTERACTIVE TECHNOLOGY FOR CREATING AND CORRECTION OF PHASED ANTENNA ARRAY CONTROL FLOW DIAGRAMS

A.S. Kuznetsov

The article examines an effective interactive digital technology to create signal flow diagrams (FD) of PAA control. The technology is used in development of benchmark control block for PAA tests and can be widely used during digital equipment development of different purpose.

The flow diagrams creation in forms files is carried out using the designed «Redactor VD» (FD Editor) applied program developed in the LabVIEW visual application design environment.

The «Redactor VD» is intended for visual creation, editing and viewing of previously created FD files. The FD are represented in form of curves on 32-channel virtual oscillography screen and completely coincided with FD picture on the paper which are supplied by design engineers and are bench-mark data for an operator.

The developed interactive technology permits quickly visually create control flow diagrams of PAA block, correct these FDs, make its adjustments and move FD files from PC into antenna array control block.

The technology tool kit («Redactor VD») is quite simple to use not only for digital equipment design engineers but for an engineering office personnel of factory of origin without programming experience.

The developed technology, taking into account the hardware support, can be effectively used for text files creation implemented in adjustment of digital equipment (cells, blocks).

Поступила 15 августа 2017 года.

УДК 621.396.9

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЛЕКСА ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК РЛС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭТАЛОННЫХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ НА БАЗЕ БЛА

© Авторы, 2017

В.Ю. Кузьменков кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
начальник отдела ОКБ, АО «НПО «ЛЭМЗ», г. Москва

E-mail: lemz_noginsk@bk.ru

А.О. Могильников

инженер, АО «НПО «ЛЭМЗ», г. Москва

Для достоверной оценки характеристик РЛС необходимо провести натурные эксперименты с эталонным отражателем. Изложены принципы применения эталонного отражателя из сетчатой сферы, внутри которой расположен беспилотный летательный аппарат. Такое изделие, в отличие от известных, позволит существенно снизить материальные и временные затраты при проведении испытаний за счёт уменьшения числа лётных экспериментов с привлечением авиации, а также повысить достоверность оценивания характеристик РЛС. Проведение экспериментов возможно в густонаселённых районах.

Ключевые слова: эталонный радиолокационный отражатель, беспилотный летательный аппарат, оценка характеристик РЛС, зона обнаружения, точность измерения координат, разрешающая способность.

For reliable radar characteristics estimate it's necessary to conduct a full-scale experiment with reference reflector. The application principles of reference reflector made of netted sphere with an UAV placed inside were performed. Such an item, contrary to the known ones, will give an opportunity to substantially decrease material and time expenditures during tests due to decreasing the number of flight experiments involving the aviation, and also increase fidelity of radar characteristics estimation. The experiments can be performed in densely populated areas.

Keywords: reference radar reflector, unmanned aerial vehicle, radar characteristics estimation, detection zone, coordinates measuring accuracy, resolution.

Для объективной оценки характеристик РЛС на этапах разработки и испытаний необходимо провести несколько натурных экспериментов с применением эталонного отражателя. Под эталонным отражателем (ЭО) обычно понимают цель с известной и стабильной эффективной поверхностью рассеяния (ЭПР). Кроме того, при развёртывании РЛС на новой позиции также производятся облёты для оценки зоны обнаружения с учётом реальных углов закрытия. В условиях финансовых и временных ограничений актуальной становится разработка средств, которые позволят сократить количество полётов авиации при оценке основных характеристик РЛС, а также проводить проверки в густонаселённых районах. Кроме того, существует ряд характеристик РЛС (например, разрешающая способность), проверка которых по результатам лётных экспериментов требует значительных затрат и не гарантирует достоверности их оценки.

Сейчас наиболее часто в качестве ЭО на испытаниях РЛС обнаружения аэродинамических целей применяется отражающая сфера, подвешенная к воздушному шару, который наполнен водородом или гелием. Но в свободном полёте траектория такого объекта слабо предсказуема. При этом число повторов эксперимента ограничено. Запуск в районах с развитой инфраструктурой затруднён из-за требований безопасности.

В статье описаны принципы построения комплекса средств оценки характеристик РЛС на основе применения ЭО в виде сетчатой сферы, внутри которой расположен БЛА типа «мультикоптер». При достаточном экранировании носителя и сохранении «прозрачности» для воздушных потоков такой объект должен обладать стабильной ЭПР и иметь возможность перемещаться по заданной траектории с возможностью управления носителем и многократного повтора экспериментов. Приведён краткий анализ результатов натурных экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кобак В.О. Радиолокационные отражатели. – М.: Сов. радио, 1975. – 248 с.
2. Леонов А.И., Леонов С.А., Нагуленко Ф.В. и др. Испытания РЛС (оценка характеристик) / под ред. А.И. Леонова. – М: Радио и связь, 1990. – 208 с.
3. Грачёв О.Д., Кузьменков В.Ю., Литовский И.А. Устройство для проверки качества работы РЛС. Описание к заявке на патент № 2016147286/07(075914). Приоритет от 16.12.2016.
4. Коляда А.Н., Кузьменков В.Ю., Ложкин С.Р. и др. Создание эталонного радиолокационного отражателя на базе беспилотного летательного аппарата // Сборник трудов юбилейной научно-технической конференции, посвящённой 70-летию 4 ГЦМП МО РФ. – Знаменск, 2016.

DESIGN CONCEPT OF RADAR CHARACTERISTICS ESTIMATION COMPLEX USING REFERENCE REFLECTORS BASED ON UAV

V.U. Kuzmenkov, A.O. Mogilnikov

For reliable radar characteristics estimate at development and test stage it's necessary to conduct several full-scale experiments using the reference reflector. The reference reflector (RR) is often a target with known and stable radar cross section (RCS). Besides, during radar deployment at new position the overflights are carried out in order to analyze detection zone with respect to the real angles of elevation to the slope. In conditions of financial and time constraints the vital is to develop items capable to decrease air sorties at estimation of the radar main characteristics, and to perform checks in densely populated areas. Moreover, there are radar characteristics (e.g. resolution), the test of which according to flight experiments results requires the substantial expenditures and doesn't ensure its estimation validity.

Nowadays, the reflecting sphere, suspended to balloon which filled with hydrogen or helium, is more frequently used as RR during aerodynamic targets detection radar tests. But in free-air conditions of such the trajectory of the object is hardly predictable. Herewith, the repeat quantity is limited. The launch in extended infrastructure areas is complicated due to safety precautions.

The article describes design concept of radar characteristics estimation complex based on RR employment in form of netted sphere with a UAV of «multicopter» type located inside. At adequate carrier screening and maintaining of «transparency» for air flow this object should have the stable RCS and capable to move at defined trajectory with possibility to control a career flight and multiple repeat of experiments. The brief results analysis of full-scale experiment was performed.

Поступила 27 июня 2017 года.

ВОПРОСЫ ОСОБЕННОСТЕЙ УПРАВЛЕНИЯ АЗИМУТАЛЬНЫМ ПРИВОДОМ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО РАДИОЛОКАТОРА

© Авторы, 2017

К.В. Кулагин

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

E-mail: kulaginkonst@mail.ru

И.Д. Некрасов

зам. начальника СКБ, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

К.С. Новиков

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

А.В. Рыбин

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

Рассматривается решение вопросов уменьшения влияния противо-ЭДС электродвигателя, снижения тепловыделения обмоток электродвигателя и поддержания стабильной скорости вращения системы управления азимутальным приводом многофункционального радиолокатора (МФР).

Ключевые слова: *высокомоментный синхронный электродвигатель, тепловыделение, управление, противо-ЭДС.*

The article considers electric motor back-EMF effect decreasing, electric motor winding heat radiation decreasing and maintaining the stabilized rotation rate of multifunctional radar (MFR) azimuth drive control system.

Keywords: *high-torque synchronous motor, heat radiation, control, back-EMF.*

В статье рассматриваются вопросы управления азимутальным приводом многофункционального радиолокатора. В качестве исполнительного устройства азимутального привода взят вентильный электродвигатель в отличие от предыдущих разработок приводов, где использовался двигатель постоянного тока с силовым редуктором, удалось снизить массогабаритные параметры привода и увеличить его надежность. Представлены методы снижения противо-ЭДС, которая влияет на динамические характеристики привода. Решена задача снижения повышенного тепловыделения обмотками электродвигателя, которое негативно сказывается на ресурсе электродвигателя, без существенных доработок конструкции электродвигателя. Рассмотрена оптимизация алгоритмов управления работы привода в режиме кругового обзора, которая позволяет повысить стабильность поддерживаемой скорости вращения при наличии внешних возмущений.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Кулагин К.В., Некрасов И.Д., Рыбин А.В.** Система управления азимутальным приводом МФР // Успехи современной радиоэлектроники. – М., 2015, №3. – С.87–91.
2. **Баранов М.В. и др.** Электрические следящие приводы с моментным управлением исполнительными двигателями. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 240 с.
3. **Семенов Б.Ю.** Силовая электроника: профессиональные решения. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2011. – 416 с.

CONTROL FEATURES OF MULTIFUNCTIONAL RADAR AZIMUTH DRIVE

K.V. Kulagin, I.D. Nekrasov, K.S. Novikov, A.V. Ribin

The article considers control features of multifunction radar azimuth drive. The thyatron motor were used as azimuth drive actuator in contrast to previous versions of drives using load-gearred DC motor, therefore mass-dimensions parameters of the drive has decreased and reliability has grown up. The methods of decreasing back-EMF affected on the drive dynamics are presented. Decreasing the high drive winding heat radiation reduced the motor service life also has achieved without major motor design modifications. Besides the all-round mode drive control algorithm optimization is considered to increase the holding rotation rate stability in external noise conditions.

Поступила 15 июня 2017 года.

МЕТОДИКА ПРОГНОЗА ПАРАМЕТРОВ ВИЗИРОВАНИЯ РЛС ВОЗМОЖНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЛА С НЕСТАБИЛЬНЫМИ ЛБХ

© Авторы, 2017

В.В. Ларцев

ведущий инженер, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: info@raspletin.com

С.М. Дунаев

главный специалист, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

Д.В. Рузин

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

В работе представлены принципы детерминированного моделирования текущей области возможного положения ЛА с нестабильными ЛБХ и формулы аналитического расчета соответствующих, прогнозируемых с заданной вероятностью параметров визирования наземной РЛС при радиозахвате ЛА и сопровождении ЛА в целях контроля штатного режима наведения на цель. Приведены результаты расчета параметров текущей области визирования РЛС для характерных ракурсов возможного положения ЛА на участках его разгона и наведения. Программная реализация данной методики позволяет при подготовке к пуску ЛА в реальном масштабе времени корректно, с требуемой точностью определять текущую область визирования РЛС в виде вытянутого вдоль траектории полёта ЛА эллипсоида.

Ключевые слова: область возможного положения ЛА, нестабильные ЛБХ, подвижный эллипсоид, параметры визирования, угол места, угол азимута.

The article states deterministic simulation principle of instant area of possible aerial vehicle (AV) position with unstable flight ballistic characteristics (UBC) and analytical estimation formulas corresponding, predictable with specified probability of ground radar sighting parameters during AV radio lock-on and AV tracking in order to control regular targeting mode. The simulated results of radar sighting instant area parameters for specific aspect angles of possible AV position at its boost and homing phases are performed. The software implementation of this methodology permits during AV launch preparation in real time to determine with required accuracy the radar sighting instant area in form of ellipsoid, stretched along the AV flight trajectory.

Keywords: area of possible aerial vehicle (AV) position, unstable ballistic characteristics (UBC), moving ellipsoid, sighting parameters, elevation angle, azimuth angle.

В работе представлены принципы детерминированного моделирования текущей области возможного положения ЛА с нестабильными ЛБХ и формулы аналитического расчета соответствующих, прогнозируемых с заданной вероятностью параметров визирования наземной РЛС при радиозахвате ЛА и сопровождении ЛА в целях контроля штатного режима наведения на цель.

Приведены результаты расчета параметров текущей области визирования РЛС для характерных ракурсов возможного положения ЛА на участках его разгона и наведения.

Программная реализация данной методики позволяет при подготовке к пуску ЛА в реальном масштабе времени корректно, с требуемой точностью определять текущую область визирования РЛС в виде вытянутого вдоль траектории полета ЛА эллипсоида.

Предлагаемая методика прогноза параметров визирования РЛС возможного положения ЛА с нестабильными ЛБХ обеспечивает возможность более эффективного использования энергетики РЛС по сравнению с традиционным методом «подвижной сферы», а также повышает оперативность и универсальность расчетов при ограниченных вычислительных ресурсах.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Дунаев С.М.** Анализ особенностей применения инерциального метода наведения по мгновенному промаху на участке разгона ЛА с нестабильными летно-техническими характеристиками // Успехи современной радиоэлектроники. – М.: Радиотехника, 2014, №3.
2. **Ружин Д.В.** Программная реализация информационной технологии обработки трёхмерных квазинормальных распределений // Сборник докладов V НТК молодых специалистов «Актуальные вопросы развития систем и средств ВКО». – М.: ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей», 2014. – С.669–676.
3. **Фихтенгольц Г.М.** Курс дифференциального и интегрального исчисления, Т.1. – М.: Издательство «Наука», 1969.
4. **Корн Г., Корн Т.** Справочник по математике. – М.: Издательство «Наука», 1977.
5. **Волков Е.А.** Численные методы. – М.: Издательство «Наука», 1987.

***PREDICTION METHODOLOGY OF RADAR SIGHTING
PARAMETERS OF AERIAL VEHICLE POSSIBLE POSITION
WITH UNSTABLE BALLISTIC CHARACTERISTICS***

V.V. Lartscev, S.M. Dunaev, D.V. Ruzin

The article states deterministic simulation principle of instant area of possible aerial vehicle (AV) position with unstable flight ballistic characteristics (UBC) and analytical estimation formulas corresponding, predictable with specified probability of ground radar sighting parameters during AV radio lock-on and AV tracking in order to control regular targeting mode.

The simulated results of radar sighting instant area parameters for specific aspect angles of possible AV position at its boost and homing phases are performed.

The software implementation of this methodology permits during AV launch preparation in real time to determine with required accuracy the radar sighting instant area in form of ellipsoid, stretched along the AV flight trajectory.

The suggested prediction methodology of the radar sighting parameters of possible AV position with unstable UBC provides the possibility of more effective use of the radar energy performance as compared with a traditional method of «moving sphere», and increases calculations responsiveness and versatility with limited computing resources.

Поступила 20 июня 2017 года.

УДК 621.396.67

МЕТОДИКА И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ОТКАЗОВ ФАЗОВРАЩАТЕЛЕЙ НА ИЗЛУЧАЮЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ

© Авторы, 2017

А.О. Маничев кандидат технических наук,
зам. начальника НИО, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: alex_manichev@inbox.ru
А.Э. Кузнецова
инженер 3 категории, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

Получены аналитические выражения, позволяющие оценивать такие излучающие свойства, как падение коэффициента направленного действия и уровень нулей средней диаграммы направленности (ДН) фазированной антенной решётки (ФАР) при наличии элементов с полностью отказавшими фазовращателями. Точность полученных аналитических выражений подтверждена путём прямого математического моделирования. Представлены методика определения статистических показателей разностных ДН и соответствующее программное обеспечение для оперативной оценки ФАР.

Ключевые слова: влияние отказов фазовращателей, диаграмма направленности, излучающие характеристики ФАР.

The analytic expressions were obtained, permitting to analyze the radiating properties such as directivity factor drop and zero level of phased antenna array (PAA) average pattern at presence of elements with completely failed phase-shifters. The accuracy of obtained analytic expressions is confirmed by direct mathematical modeling. The methodology to determine the statistical values of difference pattern and corresponding software for operational PAA analysis were performed.

Keywords: phase-shifters influence, directional pattern, PAA radiating characteristics.

На основе статистической теории антенн получены аналитические выражения, которые позволяют оценить такие излучающие характеристики фазированной антенной решетки (ФАР), как падение КНД, глубину нулей средней по мощности ФАР и крутизну, разностной диаграммы направленности (ДН) при выходе из строя фазовращателей ФАР. Для сокращения числа вычислений ДН, требуемых для определения положения нуля разностной ДН и её крутизны, которая оказывает существенное влияние на пеленгационную чувствительность радиотехнической системы, использующей ФАР, был использован метод золотого сечения, который характеризуется хорошей скоростью сходимости и высокой надёжностью работы.

Правильность данных выражений подтверждена путём прямого математического моделирования. При моделировании использовались данные о ФАР, состоящей из четырёх 384-элементных модулей с неэквидистантным расположением излучателей и относительными фазовыми и амплитудными искажениями, которые имеют распределение близкое к нормальному, а также среда программирования *Microsoft Visual Studio 2012*. Разработанное программное обеспечение позволяет провести оперативную оценку влияния отказов фазовращателей на интегральные характеристики ФАР в отличие от методов, которые были известны ранее. Сравнение результатов расчёта по формулам для оценки падения КНД и глубины нулей, в зависимости от числа неисправных элементов, с результатами расчёта прямого математического моделирования, которое выполнялось для 1000 различных случайных искажений амплитудно-фазового распределения (АФР), представлено в виде графиков (зависимостей), которые и подтверждают высокую точность полученных аналитических выражений.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Воронин Е.Н., Шашенков В.Ф.** Микроволновая селективная голография. – М.: Радио и связь, 2003. – 535 с.
2. **Маничев А.О., Балагуровский В.А.** Методы диагностики элементов фазированной антенной решётки по сигналам, отражённым от переходов «излучатель – свободное пространство», при наличии взаимных связей элементов // Радиотехника и электроника. – М., 2013, Том 58, № 4. – С.348–359.
3. **Шифрин Я.С., Корниенко Л.Г.** Статистика поля антенных решёток // Антенны. – 2000, №1 (44). – С.3–26.
4. **Самойленко В.И., Шишов Ю.А.** Управление фазированными антенными решётками. – М.: Радио и связь, 1983. – 240 с.
5. **Маничев А.О.** Статистика поля излучения фазированной антенной решётки применительно к задаче синтеза нулей в её диаграмме направленности // Антенны. – М., 2009, № 3. – С.20–35.
6. **Балагуровский В.А., Кондратьев А.С., Маничев А.О., Полищук Н.П.** Расчёт статистических характеристик погрешностей амплитудно-фазового распределения в многоэлементной фазированной антенной решётке // Антенны. – М., 2008, № 2 (129). – С.20–26.

METHODOLOGY AND SOFTWARE FOR EXPRESS-ANALYSIS OF PHASE-SHIFTERS FAILURES INFLUENCE ON RADIATING CHARACTERISTICS OF PHASED ANTENNA ARRAY

A.O. Manichev, A.E. Kuznetsova

Based on the statistical antenna theory the analytic expressions were obtained which permit to analyze the phased antenna array (PAA) radiating properties such as directivity factor drop (DF), null depth of averaged power PAA and direction pattern (DP) difference-signal slope during PAA phase-shifters failure. To reduce a number of calculations of DP requiring for null position-finding of differential DP and its slope which substantially influence on direction-finding response of radio-technical system using the PAA, the golden section technique was used which is characterized with good convergence rate and high performance reliability.

The correctness of these expressions is confirmed via direct mathematical modeling. The modeling included the data on the PAA consisted of 384 elements with space tapering radiators and random phase and amplitude distortions which have distributions close to the normal one, and the Microsoft Visual Studio 2012 programming support environment. The developed software permits to operationally analyze the phase-shifters failures influence on the PAA integral characteristics contrary to the methods that were previously known. The comparison of evaluation results by formula for DF drop and nulls depth estimation, depending on amount of failure elements, with evaluation results of direct mathematical modeling which performed for 1000 fortuitous distortions of the amplitude-phase distribution (APD), is represented in the form of diagrams (dependency) which in its turn confirm a high accuracy of obtained analytic expressions.

Поступила 22 июня 2017 года.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА СВЕРХЗВУКОВОГО ПОТОКА В КАНАЛЕ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ С КОЛЕБЛЮЩЕЙСЯ ПЕРФОРИРОВАННОЙ СТЕНКОЙ

© Авторы, 2017

В.С. Назаров

инженер 3 категории, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

E-mail: naz.vladislav@yandex.ru

В.И. Агеев

НИУ МАИ, г. Москва

И.Э. Иванов кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник,
доцент кафедры, НИУ МАИ, г. Москва

В.А. Феофилакт кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
ведущий научный сотрудник, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

Работа посвящена численному моделированию течения газа в клиновидном канале СО-лазера, в котором верхняя стенка имеет перфорации и колеблется. Для моделирования течения газа использовалась система уравнений Навье-Стокса. Для решения данной системы уравнений использовался метод Годунова. Приведены результаты математического моделирования неустановившихся сверхзвуковых течений газа в канале СО-лазера с учётом колебания одной из стенок канала.

Ключевые слова: газодинамический канал, зона разряда, пограничный слой, поток газа, анодная решётка.

The article is concerned with computer simulating of gas flow within CO laser V-typed channel with perforated and oscillating ceiling. Gas flow modeling is conducted with Navier-Stokes equations set. The Godunov method was used to solve the equations set. Transient supersonic gas flow within CO laser channel simulation results are presented in view of the oscillating ceiling.

Keywords: gas-dynamic channel, discharge zone, boundary layer, gas flow, anode grid.

В ходе серии экспериментов на макете сверхзвукового газоразрядного СО-лазера с предионизацией электронным пучком экспериментально полученная мощность излучения оказалась меньше расчетной. Эксперименты показали, что в поперечном сечении выходного излучения пучок имеет ряд участков повышенной и пониженной интенсивности. Форма пучка сильно отличалась от кольца. Причину такой неоднородности интенсивности излучения можно объяснить образованием областей разрежения в рабочей смеси газов СО-лазера, поэтому были проведены измерения физических параметров рабочей смеси в газодинамическом тракте лазера. В серии экспериментов путем измерения статического и динамического давлений было установлено, что вблизи анодной решётки сильно нарастает пограничный слой. Появилась гипотеза, что причина понижения скорости вблизи анодной пластины вызвана колебаниями пластины.

Численный алгоритм и программный код, реализованный на языке C++ в системе Qt Creator, оттестирован на решении задач, имеющих аналитические решения. Газодинамическая часть (уравнения Эйлера) тестировалась на решении задачи о распаде произвольного разрыва (тест Сода) и задачи обтекания плоской пластины (тест Блазиуса).

В данной работе численно исследовано влияние, которое оказывает колебание верхней стенки на поток газа в канале. Показано, что колебание стенки увеличивает толщину пограничного слоя в течи. Дополнительно, в численном эксперименте наблюдается устойчивая полоса разряжения, которая видна на теневых снимках, сделанных в зоне разряда лазера. Таким образом, расчетным путем подтверждена гипотеза о причине понижения скорости в канале вблизи колеблющейся перфо-

рированной пластине. Нарастание пограничного слоя в случае дырчатой пластины оказалось больше, чем утолщение, возникающее в результате колебания сплошной пластины, которое было рассчитано в работе. Установлено, что причина понижения скорости в верхней части газодинамического тракта сверхзвукового газоразрядного СО-лазера кроется именно в колебании анодной решётки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Численное решение многомерных задач газовой динамики / под ред. С.К. Годунова. – М.: Наука, 1976. – 392 с.
2. **Волков К.Н., Дерюгин Ю.Н., Емельянов В.Н., Карпенко А.Г., Козелков А.С., Тетерина И.В.** Методы ускорения газодинамических расчётов на неструктурированных сетках / под ред. проф. В.Н. Емельянова. – М.: Физматлит, 2013. – 504 с.
3. **Абрамович Г.Н.** Прикладная газовая динамика. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1951. – 507 с.
4. **Алексеева И.В., Будник А.П.** Двумерная модель неравновесных кинетических процессов в многокомпонентных газовых смесях при сверхзвуковом движении // ГИИТ РФ Физико-энергетический институт. – Обнинск, 2011. – 8 с.
5. **Флетчер К.** Вычислительные методы в динамике жидкостей. Том 2. – М.: Мир, 1991. – С.122–126.
6. **Назаров В.С., Огарь М.А.** Расчёт сверхзвукового потока в канале прямоугольного сечения с колеблющейся стенкой // Сборник докладов VII НТК молодых учёных и специалистов «Научные чтения к 90-летию со дня рождения академика В.П. Ефремова» по тематике «Актуальные вопросы развития систем и средств ВКО» / под ред. канд. техн. наук Н.Э. Ненартовича. – М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2017. – С.525–533.

SUPERSONIC FLOW IN RECTANGULAR CHANNEL WITH OSCILLATING PERFORATED PLANE SIMULATION RESULTS

V.S. Nazarov, V.I. Ageev, I.Y. Ivanov, V.A. Feofilaktov

During the set of experiments performed with supersonic gas-discharge CO laser model in conditions of preionization by electron beam were found out the experimental value of output power was less than expected one. The experiments showed that the beam in output radiation cross-section characterizes the areas of increased and decreased intensity. Considerable the beam shape was far from the ring. The phenomenon of intensity heterogeneity can be explain by rarefaction zones appearing in CO laser gas mixture, therefore the measurements of gas mixture physical parameters were made in the gas-dynamic laser channel.

The set of experiments via static and dynamic pressure measurements showed that at close range to anode grid the boundary layer strongly grew. Authors made the hypothesis that velocity decreasing nearby the anode grid was induced by the plane oscillation.

The numerical algorithm and program code created in C++ Qt Creator system were tested by solving the tasks with theoretical solutions. The gas-dynamic part (Euler equations) was tested by solving the breakdown of an arbitrary discontinuity task (Sod test) and flow past a flat plate task (Blasius test).

The article contains simulating results of the effect ceiling oscillating on gas flow in the channel. Also it was shown that the ceiling oscillating increases the boundary layer thickness in the flow. Besides the simulation experiment showed the presence of stable discharging bands in laser discharging zone shadowgraphes.

As a result, hypothesis of velocity decreasing in channel nearby perforated oscillation plane was verified by means of a calculation. The boundary layer growth in the case of perforated plane was bigger than the calculated in the study thickening grown as a result of solid plane oscillating. The study states that anode grid oscillating causes velocity decreasing in the top of gas-dynamic channel of supersonic gas-discharge CO laser.

Поступила 20 июня 2017 года.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ НУЛЕЙ В ДИАГРАММЕ НАПРАВЛЕННОСТИ АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ

© Авторы, 2017

А.Н. Тюваев

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

E-mail: Okean87@mail.ru

А.С. Кондратьев кандидат технических наук, старший научный сотрудник,

главный специалист направления, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

E-mail: KondratyevAS@mail.ru

А.О. Маничев кандидат технических наук,

зам. начальника НИО, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

E-mail: alex_manichev@inbox.ru

В статье проводится сравнительное исследование методов итеративной линеаризации и покоординатного синтеза нулей диаграммы направленности (ДН) активной фазированной антенной решётки (АФАР) в заданных угловых направлениях. Рассматриваются фазовый, амплитудный и амплитудно-фазовый варианты управления амплитудно-фазовым распределением (АФР). Приводятся результаты решения задачи синтеза одиночного нуля, двух разнесённых нулей и широкого провала как для случая непрерывного управления АФР, так и с ограничением изменения амплитуд и наличием дискретности управления АФР.

Ключевые слова: метод линеаризации; покоординатный метод; синтез нулей диаграммы направленности; амплитудное, фазовое и амплитудно-фазовое управление.

The article presents the comparative analysis of iterative linearization and coordinate-wise methods for synthesizing null in the radiation pattern of an active phased antenna array (APAA) in prescribed spatial directions. The amplitude, phase and amplitude-phase variants of control over the amplitude-phase distribution (APD) are examined. Numerical examples for the synthesis of a single null, two spaced nulls, and a wide gap are presented for the cases of continuous unconstrained control of the APD, continuous control of the array amplitudes within a limited range, and discrete control of the array amplitudes and phases within a limited range.

Keywords: linearization method; coordinate-wise method; pattern null synthesis; amplitude, phase and amplitude-phase control.

Традиционным способом повышения уровня помехозащищённости радиотехнической системы (РТС) является формирование провалов (нулей) в диаграмме направленности (ДН) активной фазированной антенной решётки (АФАР), входящей в состав РТС, в направлении помеховых сигналов. В статье проводится сравнительный анализ эффективности формирования нулей на основе методов итеративной линеаризации и покоординатного синтеза для трёх вариантов управления амплитудно-фазовым распределением (АФР): фазового, амплитудного и амплитудно-фазового. В качестве критериев эффективности рассматриваются: глубина синтезируемого нуля, падение коэффициента направленного действия в направлении сканирования, падение коэффициента полезного действия и падение коэффициента усиления.

На первом этапе исследований методов анализируются их возможности по подавлению одиночной помехи в различных пространственных направлениях. Направление помехи изменяется с постоянным шагом в широком диапазоне углов. На втором этапе моделируются ситуации, требующие одновременного подавления двух разнесённых помех. Направление первой помехи фиксируется в максимуме первого бокового лепестка, а направление второй меняется в широких пределах. На третьем этапе сопоставляются потенциальные возможности методов по синтезу широкого провала. Для обеспечения заданной ширины формируемых провалов ДН во-

круг каждого направления на помеху выбирается по четыре дополнительных направления, отстоящих от основного на угловое расстояние 0,5 градуса.

Для оценки применимости указанных методов синтеза в реальных АФАР, в которых возможности изменения амплитудно-фазового возбуждения элемента ограничены схемотехническими решениями используемых устройств, в статье рассматриваются варианты управления АФР с учётом ограничений на диапазон регулирования амплитудой возбуждения элементов, а также с учётом дискретности управления АФР в заданном ограниченном диапазоне изменения амплитуд возбуждений элементов АФАР.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Маничев А.О., Кондратьев А.С.** Сравнительный анализ методов фазового синтеза нулей в диаграмме направленности фазированной антенной решётки // Антенны. – М., 2011, №9. – С.3–25.
2. **Steyskal H.** Simple Method for Pattern Nulling by Phase Perturbation // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. – January 1983, vol. AP-31, №1. – P.163–166.
3. **Кондратьев А.С.** Метод фазового синтеза антенных решеток с учётом дополнительных требований к форме ДН // Радиотехника и электроника. – 1990, том 35, №12. – С.2530–2540.
4. **Балагуровский В.А., Кондратьев А.С., Маничев А.О., Тюваев А.Н.** Методы синтеза нулей в диаграмме направленности активной фазированной антенной решётки, минимизирующие изменения токов возбуждений // Журнал «Вестник ВКО». – М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2017, №3(15). – С.46–50.
5. **Балагуровский В.А., Кондратьев А.С., Маничев А.О., Тюваев А.Н.** Покоординатные методы синтеза нулей в диаграмме направленности активной фазированной антенной решётки, использующие возможности амплитудного управления // Журнал «Вестник воздушно-космической обороны». – М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2017, №1(13). – С.95–101.
6. **Маничев А.О.** Статистика поля излучения фазированной антенной решётки применительно к задаче синтеза нулей в её диаграмме направленности // Антенны. – М., 2009, №3(142). – С.20–35.
7. **Shore R.A.** Nulling at symmetric pattern location with phase-only weight control // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. – May 1984, vol. AP-32, №5. – P.530–533.
8. **DeFord J.F.** Phase-only synthesis of minimum peak sidelobe patterns for linear and planar arrays// *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. – February 1988, vol. 36, №2. – P.191–201.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE RADIATION PATTERN NULLING METHODS FOR PHASED ANTENNA ARRAYS

A.N. Tyuvaev, A.S. Kondratiev, A.O. Manichev

The tradition approach to increase the noise-resistance level of radio-technical system (RTS) is nulling in directional pattern (DP) of active phased antenna array (APAA) in direction of noise signals. The comparative analysis of nulling methods on the basis of iterative linearization and coordinate-wise synthesis methods is carried out in the article for three variants of control of the amplitude-phase distribution (APD): amplitude, phase and amplitude-phase control. The depth of the synthesized null, the lowering of the directivity factor in the direction of scanning, the lowering of the coefficient of efficiency and the gain coefficient were examined as effectiveness criteria.

At the first phase of the analysis of these methods, their possibilities in suppressing of single noise in different spatial directions are analyzed. The jammer direction changes with a constant pitch in a wide angular range.

The second phase included situations in which it is required to perform simultaneous suppression of two spaced jammers. The direction of the first jammer is fixed in the maximum of the first side lobe, and the direction of the second jammer varies in wide limits.

The third phase, the methods potentialities are compared in the synthesis of a wide gap. To provide a defined width of formed DP gaps around each direction, four additional directions are selected and shifted from the main direction by 0.5 degrees in two orthogonal directions.

To analyze the applicability of the synthesis methods in real APAA, in which variation of an element amplitude-phase excitation is limited by particular designs of used devices, the article examines the APD control variants with restricted range of the amplitude adjustment and with discrete change in the element amplitude and phase.

Поступила 29 июня 2017 года.

СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ВЛИЯНИЯ АППАРАТНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ ПРИЁМНОГО ТРАКТА В ЗАДАЧАХ АДАПТИВНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

© Авторы, 2017

П.Е. Шимкин

инженер 1 категории, АО ВНИИРТ, г. Москва
E-mail: shimkinpy@gmail.com

А.А. Кальщиков

инженер 2 категории, АО ВНИИРТ, г. Москва
E-mail: KalshchikovAA@ya.ru

Е.П. Смирнов кандидат технических наук,
начальник сектора, АО ВНИИРТ, г. Москва
E-mail: vornims@gmail.com

В статье рассмотрен один из способов нивелирования нелинейных искажений при прохождении сигнала через аналоговый тракт и преобразовании его в аналогово-цифровом преобразователе, принцип которого основан на нелинейной эквализации приёмного тракта на этапе цифровой обработки сигналов с помощью адаптивного фильтра на основе рядов Вольтерра. Приведенные результаты моделирования позволяют сделать вывод об эффективности предложенного способа в задачах линеаризации нелинейных систем.

Ключевые слова: нелинейная эквализация, фильтр Вольтерра, линеаризация аналогового тракта, адаптивный алгоритм.

The article examines one of the methods for nonlinear distortions levelling during signal passing through analog path and its conversion in analog-digital converter the operating principal of which is based on receive path nonlinear equalization at stage of digital signals processing with an adaptive filter based on Volterra series. The given modeling results permit to conclude the effectiveness of proposed method in nonlinear systems linearization tasks.

Keywords: non-linear equalization, Volterra filter, analog path linearization, adaptive algorithm.

Замена в фазированных антенных решетках аналоговых схем диаграммообразования на цифровые позволила эффективно использовать адаптивные алгоритмы цифровой фильтрации в задачах оптимальной пространственной обработки, а также существенно расширить динамический диапазон (ДД) приемника РЛС за счет использования большого количества аналого-цифровых преобразователей (АЦП). Однако, одним из основных факторов, влияющих не только на эффективность помехоподавления, но и на ДД приемника, а также параметры итоговой диаграммы направленности антенны (ДНА) является идентичность приемных радиолокационных каналов цифровой антенной решетки и их линейность, т.е. отсутствие нелинейных искажений при прохождении сигнала через аналоговый тракт и преобразовании его в АЦП, интегральная нелинейность которых и является аппаратным ограничением.

Нелинейная эквализация основе рядов Вольтера, рассматриваемая в статье, с адаптивным алгоритмом в виде нормализованного алгоритма по критерию наименьшего среднего квадрата, является наиболее подходящим способом решения задачи линеаризации приемного тракта, так как ряд Вольтера, в отличие от других базисных функций, содержит импульсные отклики различной размерности, максимально точно отражая исследуемую систему.

Результаты компьютерного моделирования в пакете прикладных программ *Matlab* подтвердили эффективность адаптивного фильтра на основе рядов Вольтерра в задаче линеаризации нелинейных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Haykin S.** *Adaptive Filter Theory*, 5th edition. – Pearson Education Limited, 2014.
2. **Paulo S.R. Diniz.** *Adaptive Filtering. Algorithms and Practical Implementation*, 4th edition. – Springer, 2013.
3. **Benesty J., Huang Y.** *Adaptive Signal Processing. Applications to Real-World Problems.* – Springer, 2003.
4. **Chang S.-L., Ogunfimi T.** *Performance Analysis of Third Order Nonlinear Wiener Adaptive Systems // Department of Electrical Engineering.* – S. Clara University CA, USA. 2002.
5. **Kang H.W., Youn D.H.** Adaptive Linearization Scheme for Wiener systems // Int. Conf. on Acoustic, Speech and Signal Processing. – Toronto, 1996. – P.63–67.
6. **Billings S.A., Fakhouri S.Y.** Nonlinear System Identification Using the Hammerstein Model // Int. J. Systems Sci. – 1979, Vol.10, №5. – P.567–578.
7. **Chang F.H., Luus R.** A Noniterative Method for Identification Using Hammerstein Model // IEEE Trans. AC. – 1971, Vol.16. – P.464-468.
8. **Fnaiechand F., Ljung L.** Recursive identification of bilinear systems // Int. J. Contr. – 1987, Vol.45, №2. – P.453–470.3.

HARDWARE CONSTRAINTS INFLUENCE MINIMIZATION METHODS OF RECEIVE PATH IN ADAPTIVE SPATIAL FILTERING TASKS

P.E. Shimkin, A.A. Kalshchikov, E.P. Smirnov

The change of beam-forming analog circuits in phased antenna arrays into digital one permitted effectively use an adaptive algorithms of digital filtering in optimal spatial processing tasks, and sufficiently expand the dynamic range (DR) of radar receiver due to use of bulk of analog-digital converters (ADC) as well. However, one of the main factors affecting not only the noise reduction effectiveness but the receiver DR, and parameters of resulting antenna directional pattern (ADP), is a receiving radar channels identity of digital antenna array and its linearity, i.e. absence of nonlinear distortions during signal passing through analog path and its conversion to ADC, the integral nonlinearity of which is a hardware constrain.

The examined nonlinear equalization based on the Volterra series with an adaptive algorithm in form of normalized algorithm in least average square is the preferable way to solve the receiving path linearization problem since the Volterra series opposing to another basis functions include impulse responses of different size that mostly accurately reflecting the examined system.

The computational modeling results in Matlab application program package confirmed the effectiveness of adaptive filter based on the Volterra series in nonlinear systems linearization task.

Поступила 10 августа 2017 года.

ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 004.51

ГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПУСКОВОЙ УСТАНОВКОЙ

© Авторы, 2017

О.С. Батракова

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

В.В. Водчиц

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

А.В. Рыбин

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

E-mail: info@raspletin.com

Описывается разработанный графический интерфейс пульта автономного управления пусковой установкой на основе интегрированного пульта индикации и управления VM301.

Ключевые слова: *пусковая установка, графический интерфейс, местное управление, ИПИУ, мобильные системы вооружённых сил (МСВС).*

The developed graphic interface of the launcher autonomous control panel based on VM301 integrated display and control panel was described.

Keywords: *launcher, graphic interface, local control, integrated display and control panel (IDCP), Armed Forces Mobile systems (AFMS).*

В статье описывается разработанный графический интерфейс пульта автономного управления пусковой установкой на основе интегрированного пульта индикации и управления VM301.

В составе пусковых установок зенитных ракетных комплексов используются различные средства из состава аппаратуры подготовки пуска изделия, такие как блок коммутации мощности, электрогидропривод, газотурбинный агрегат, антенно-мачтовое устройство, имитатор борта. Каждое из средств имеет собственный пульт управления и индикации с собственными интерфейсами и каналами обмена. Использование многочисленных пультов усложняет работу с пусковыми установками, увеличивает количество проводных связей, уменьшает общую надёжность системы и при размещении пультов в кабине шасси расходует большой объем полезного пространства кабины.

Разработка графического интерфейса автономного управления на основе интегрированного пульта индикации и управления и применение последовательного канала RS422 позволяет избежать подобных проблем и упростить работу с пусковыми установками, а также позволяет проводить техническое обслуживание и диагностику неисправностей просто, понятно и удобно.

Интегрированный пульт индикации и управления представляет собой конструктивно законченное изделие, предназначенное для применения в качестве бортовой ЭВМ в кабине водителя, обеспечивающее вывод информации в графическом и звуковом видах; исполнение пользовательских программ; обработку информации, введённой оператором со встроенной клавиатуры; передачу и приём данных по RS422.

Пульт и реализация его интерфейса доказали свою эргономичность и успешно применяются в составе пусковых установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Анненков Б.А., Бологов К.В., Рыбин А.В.** Блок управления агрегатом питания // Актуальные вопросы развития систем и средств ВКО // Сборник докладов – М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2015 г.
2. **Бологов К.В., Исаков И.Н., Рыбин А.В.** Распределённая система электропитания пусковых установок ЗРК. – М.: Антенны, 2013, №1(188).

**GRAPHIC INTERFACE
OF LAUNCHER AUTONOMOUS CONTROL**

V.V. Vodchits, O.S. Batrakova, A.V. Rybin

The article states the developed graphic interface of the launcher autonomous control panel based on VM301 integrated display and control panel. As part of missile launchers of the air defense missile systems the different systems comprising item launch preparation equipment are used, such as power switching unit, electric-hydraulic drive, gas-turbine unit, antenna-mast post, board simulator. Each unit has its own display and control panel with interfaces and exchange channels. The use of multiple types of control panels complicates the operation with missile launchers, increases the amount of wire communications, reduces the system cumulative reliability and consumes net volume of cabin space when control panels are mounted in vehicle cabin.

The graphic interface development of autonomous control based on integrated display and control panel and use of RS422 series channel permits to avoid such problems and simplify operation with missile launchers, and also permits to carry out Maintenance and Fault Diagnostics in simple, clear and convenient way. The integrated display and control panel is structurally an end item intended for operation as an onboard computer in driver's cabin providing the information read out in graphic and sound forms; user programs execution; data processing which was input by the operator from built-in keyboard; data transmission and receiving through the RS422.

The panel and its interface realization have proved its ergonomics and are successfully as part of missile launchers.

Поступила 25 апреля 2017 года.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА

УДК 623.9/623.942

ЗАВЕРШЕНИЕ СЕРИИ СТРЕЛЬБОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ЗУР КОРАБЕЛЬНОГО БАЗИРОВАНИЯ SM-6 ПО ПЕРЕХВАТУ БР НА КОНЕЧНОМ УЧАСТКЕ ТРАЕКТОРИИ ИХ ПОЛЁТА

© Авторы, 2017

А.Е. Свистунов

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

E-mail: info@raspletin.com

Н.А. Малеева

ведущий аналитик отдела, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

В статье рассматриваются результаты серии испытаний ПР SM-6 корабельного базирования, развернутых на борту эскадренного миноносца ВМС США John Paul Jones (DDG 53), оснащённого системой ПРО AEGIS конфигурации Baseline 9.С1. Представлены возможности и ТТХ системы, реализуемой в рамках программы перехвата БР на конечном участке траектории SBT.

Ключевые слова: система ПРО, многофункциональная система управления оружием AEGIS, ракета-перехватчик, стрельбовые испытания, перехват на конечном участке траектории.

The article states the firing tests results of Aegis BMD SM-6 interceptor, deployed on the US NAVY John Paul Jones (DDG 53) destroyer equipped with Aegis Baseline 9.1 (BMD 5.0CU) BMD system. The system capabilities and features under the SBT (Sea-based Terminal) program are performed.

Keywords: missile defense system, AEGIS BMD Weapon System (AWS), interceptor, firing tests, Sea-based Terminal interception.

Агентство ПРО США и компания Raytheon 30 августа 2017 года сообщили об успешном проведении стрельбового испытания системы ПРО AEGIS FTМ-27 E2. В рамках данного испытания была запущена ракета-мишень, имитирующая траекторию полета БРСД. В качестве ракеты-перехватчика была задействована ЗУР SM-6 Dual I, разработанная компанией Raytheon. С борта эскадренного миноносца ВМС США John Paul Jones (DDG 53), оснащенного системой ПРО AEGIS конфигурации Baseline 9.С1, был осуществлён запуск двух ЗУР SM-6 Dual I, осуществивших успешный перехват ракеты-мишени.

В качестве средства информационной поддержки была задействована штатная РЛС системы ПРО AEGIS AN/SPY-1, осуществлявшая обнаружение и сопровождение мишени. Предполагается, что были задействованы дополнительные датчики, в частности, разработанные компанией Raytheon многоспектральные системы MTS (Multispectral Targeting System), оснащенные ИК и лазерными датчиками и размещаемые в турельной установке БЛА MQ-9 Reaper.

Настоящие испытания стали третьими и заключительными стрельбовыми испытаниями, позволяющими принять решение о готовности ЗУР SM-6 *Dual I* к выполнению функций ПРО на конечном участке траектории полета БР. Первой и второе успешные испытания были проведены в августе 2015 года и в декабре 2016 года с перехватом БРМД и БРСД соответственно.

Зенитная управляемая ракета SM-6 *Dual I*, выполняющая функции ПРО, является модификацией ЗУР SM-6 *Block IA*, предназначенной для перехвата аэродинамических, надводных и некоторых наземных целей. ЗУР SM-6 *Dual I* корабельного базирования разрабатывается в рамках программы ВМС США по перехвату БР на конечном участке траектории SBT (*Sea-based Terminal*).

Так, в рамках данной программы реализуется концепция последнего эшелона обороны корабля от БР противника, позволяющего в случае промаха кинетических ракет-перехватчиков SM-3, выполняющих перехват БР на среднем участке траектории их полета, осуществить перехват БР на конечном участке траектории за счет использования ЗУР SM-6 *Dual I*, оснащенной осколочно-фугасной БЧ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *AEGIS BMD System Intercepts Target Missile*. – *MDA News Releases*, 29.08.2017.
2. *New SM-6 Intercepts Ballistic Missile Target At Sea*. – *Raytheon*, 30.08.2017.
3. *Latest Combat System is Successful Against Medium Range Ballistic Missiles*. – *Lockheed Martin*, 30.08.2017.
4. *US Successfully Tests SM-6 Missile Interceptor in Pacific*. – *The Diplomat*, 30.08.2017.
5. *Missile Defense Agency, Raytheon Demonstrate SM-6's New Anti-Ballistic Missile Defense Capability*. – *Raytheon*, 3.08.2015.
6. *Raytheon SM-6 Intercepts Ballistic Missile Target At Sea*. – *Raytheon*, 19.12.2016.
7. *MDA, Lockheed Martin and Raytheon prepare for next AEGIS, SM-6 test, IHS Jane's Missiles and Rockets*, 29.12.2016.
8. *Jane's Naval Weapon Systems*. – 2011, Изд. 55.

COMPLETING A SERIES OF FIRING TESTS OF AEGIS BMD SM-6 INTERCEPTOR AGAINST BALLISTIC MISSILE TARGETS AT TERMINAL PHASE OF FLIGHT

A.E. Svistunov, N.A. Maleeva

The Missile Defense Agency jointly with the Raytheon Company have informed on August, 30 2017 about successful completing of FTM-27 E2 firing tests of Aegis BMD system. The intermediate-range ballistic target-missile (IRBM) was launched and destroyed by the Raytheon SM-6 interceptor. Two SM-6 *Dual I* modification interceptors were launched from the board of US Navy John Paul Jones (DDG 53) destroyer, equipped with Aegis BMD Baseline 9.C1 version system.

The standard Aegis BMD system AN/SPY-1 radar was involved for informational support, providing target detection and tracking. It's assumed that additional sensors were used, particularly, the Raytheon company Multispectral Targeting Systems (MTS) with IR and laser sensors, installed in MQ-9 Reaper UAV turret mount.

The present tests are the third final firing tests in series permitting to come to a decision on SM-6 *Dual I* interceptor readiness for carrying out of terminal ballistic missile defense functions. The first and the second successful tests were conducted in August 2015 and December 2016 against short-range ballistic missile (SRBM) and IRBM targets correspondingly.

The surface-to-air missile (SAM) SM-6 *Dual I*, performing the missile defense functions, is SM-6 *Block IA* modification intended for aerodynamic, naval surface and some ground targets destruction. The sea-based SM-6 *Dual I* interceptor is developed under the US Navy Sea-based Terminal (SBT) program for ballistic missile interception at terminal phase of flight.

Thus, the conception of final ship defense layer against enemy BM in the frame of the program is implemented permitting in case of SM-3 kinetic interceptors miss (which provide intermediate-range BM interception) to destroy BM at terminal phase of flight using SM-6 *Dual I* interceptor with HE/fragmentation warhead.

Поступила 11 сентября 2017 года.

НАУЧНЫЕ РЕЦЕНЗИИ И ОТЗЫВЫ



Журавлев А.В. Навигационные комплексы наземных мобильных средств военного назначения: монография. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2017. – 290 с.

Рецензенты: д-р воен. наук, профессор Ю.Е. Донсков, д-р техн. наук, профессор В.А. Миронов, д-р ф.-м. наук С.Н. Разиньков.

Развитие вооружения и военной техники в последние годы обусловило превращение войсковых формирований различных уровней в автоматизированные разведывательно-поражающие системы. Эти системы способны обеспечить своевременное завоевание и удержание информационного и огневого превосходства над противником, а при благоприятных условиях – обеспечить его разгром в начальной или последующих фазах военного конфликта любого масштаба.

Эффективность разведывательно-поражающих систем во многом определяется качеством управления войсками (силами) и оружием, включая, естественно, мобильные средства (боевые, транспортные и всех видов обеспечения), и в этом кластере – наземные мобильные средства военного назначения.

В книге изложены результаты совершенствования методологии синтеза навигационных комплексов в направлении обеспечения получения оптимальных точностных характеристик при отсутствии динамических моделей погрешностей автономного и неавтономного навигационных каналов, а также результаты обоснования инновационных методических и технических решений построения и функционирования и результаты технического синтеза радиоинерциальных навигационных комплексов наземных мобильных средств военного назначения/

Книга предназначена для научных работников, инженеров, занимающихся разработкой и эксплуатацией навигационных комплексов наземных мобильных средств военного назначения, преподавателей, аспирантов и студентов профильных специальностей технических вузов.



Ёлшин Ю.М. Справочное руководство по работе с программой SPECCTRA V15.0 (SPECCTRA EXPERT SYSTEMS). – М.: СОЛЮН-Пресс, 2017. – 720 с.

В книге изложены сведения о структуре и возможностях САПР печатных плат *Specctra*. Эта система широко используется в качестве подсистемы для автоматических и интерактивных процедур размещения компонентов и трассировки в других САПР, и в частности, в *Altium Designer*, *P-CAD 200x* и др.

В книге даны общие сведения о системе *Specctra*, интерфейсе этой системы при её запуске из *P-CAD*, приведено описание синтаксиса и семантики команд для решения задач автоматического размещения и трассировки печатных плат.

Книга предназначена для инженерно-технических работников и студентов технических университетов, работающих в области автоматизации проектирования электронной аппаратуры.