

ВЕСТНИК

воздушно-космической обороны

Научно-технический рецензируемый журнал

Выпуск № 3 (11), 2016 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

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

А.С. Сумин, д-р техн. наук, профессор

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ:

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

М.А. Горбачёв, д-р техн. наук

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.В. Морозов, д-р техн. наук

В.С. Оконешников, д-р техн. наук

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

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

С.П. Соколов, д-р техн. наук

П.И. Стариковский, д-р техн. наук

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

Е.М. Сухарев, д-р техн. наук, профессор

А.А. Трухачев, д-р техн. наук

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

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

Технический редактор: Н.С. Умникова

Корректор: А.Н. Борзова

Компьютерная верстка: О.А. Пыхонина

☎ редакции (499) 940-02-22 доб. 70-19, 16-00

E-mail: aspirantura@gskb.ru

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

М.В. Зенченко

Об одном подходе к идентификации аэродинамических характеристик сверхзвукового летательного аппарата 5

В.И. Лобейко, В.В. Лобанов, Н.Н. Тарасенко

Теория ситуационного управления как основа синтеза инновационной системы полигонных испытаний зенитного ракетного оружия 12

И.И. Маркович, Е.Е. Завтур

Методы цифровой обработки сигналов, отражённых от высокоманёвренных воздушных целей 17

► **Применение сил и средств ВКО**

А.В. Гелиев, Е.А. Дорофеев, К.А. Зудов, М.А. Кудров, М.А. Струнин

Подходы к моделированию атмосферных факторов, влияющих на эффективность работы лазерного комплекса авиационного базирования 24

Н.Н. Литвинов, А.М. Лаврентьев, В.В. Мурзак

Минимизация времени обработки потока заявок группой систем массового обслуживания за счёт использования единого информационного пространства 31

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

М.Г. Блануца

Прогнозирование эксплуатационной надёжности по результатам производства 35

Е.Н. Гуркин, П.Л. Батов, С.О. Князев, Е.В. Переходенко,

Д.В. Поповкин, Д.Л. Борисевич
Стержневой феррито-диэлектрический излучатель АФАР круговой поляризации 40

Н.В. Дрожжина, П.Л. Батов, А.С. Беляев, А.Е. Козлова

Управление активной фазированной антенной решёткой в различных режимах работы 47

Вестник воздушно-космической обороны:
Научно-технический журнал/
ПАО «НПО «Алмаз», 2016 г.
№ 3(11). С. 1–132

Подписано в печать 27.09.2016 г.
Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 7,2. Тираж 1000 экз.
Заказ № 93006

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», 2016

ISSN 2311-830X

Цена за 1 экз. – 600 руб.

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

А.Д. Елисеев, И.Б. Аверин
Опыт разработки системы обеспечения теплового режима высокопотенциальной активной фазированной антенной решётки 54

Ю.А. Кудояров, А.А. Королёв, Е.А. Голубцов, В.А. Кашин, А.С. Кормилицын, В.М. Попов
Построение решётки АФАР с оптической запиткой РЛС малой дальности. Охлаждение приёмопередающих модулей (ППМ) в конструкции АФАР 63

А.Л. Кунтуров, С.А. Кунтуров
Структурная схема программируемого диагностического способа оценки совокупного износа 69

В.А. Николаев, Л.Г. Миклашевская, Д.В. Ботов
Оптимизация структуры сверхширокоугольного АФУ для приёмопередающих АФАР 72

Д.И. Попов
Автокомпенсаторы доплеровской фазы пассивных помех с обратной связью 79

В.И. Порсев, А.И. Гелесев, Е.П. Ворошилин, А.И. Сивков, А.Р. Молочников
Выделение парциальных траекторий с применением синтезируемой виртуальной апертуры антенны РЛС 87

В.Т. Яковлев, А.А. Топилин
Исследование характеристик обнаружения и точности углового измерения радиолокатора 93

► Прикладные задачи применения информационных технологий

Д.Ф. Ткачев, А.Ф. Ткачев
Способ распределения ресурсов узла коммутации инфокоммуникационной сети специального назначения на основе динамического планирования обслуживания очередей 99

Е.Г. Токарев
Принципы построения аппаратно-программного комплекса полунатурного моделирования радиосистем ближнего действия различного типа 105

► Аналитические исследования зарубежного опыта

С.В. Голубчиков, М.В. Жестев, В.И. Колесниченко, В.К. Новиков
Опыт создания и наращивания боевых возможностей многофункциональной многорубежной противоракетной обороны Израиля 110

А.Е. Свистунов, Н.А. Малеева
Совместная разработка США и Японии ракет-перехватчика SM-3 Block IIA для региональных систем ПРО США AEGIS и AEGIS ASHORE 126

► Научные рецензии и отзывы 132

CONTENTS

► Topical issues on Aerospace defense system and elements arrangement

M.V. Zenchenko

An approach to aerodynamic characteristics identification of supersonic airborne vehicle 5

V.I. Lobeyko, V.V. Lobanov, N.N. Tarasenko

Situation management theory as basis for air defense missile weapon range field tests innovative system synthesis 12

I.I. Markovich, E.E. Zavgur

Digital processing methods of signals reflected from highly maneuverable aerial targets 17

► Aerospace defense systems and components application

A.V. Geliev, E.A. Dorofeev, K.A. Zudov, M.A. Kudrov, M.A. Strunin

Approaches to modelling of atmospheric factors effecting on the airborne laser system effectiveness 24

N.N. Litvinov, A.M. Lawrent'ev, M.M. Murzak

Requests flow processing time minimization by queuing systems group due to using of single information space 31

► Design-engineering and technological research works

M.G. Blanutsa

Operational reliability prediction basing on manufacturing results 35

E.N. Gurkin, P.L. Batov, S.O. Knyazev, E.V. Perekhodenko,

D.V. Popovkin, D.L. Borisevich

Circular polarization ferrite-dielectric rod APAA radiator 40

N.V. Drozhzhina, P.L. Batov, A.S. Belyaev, A.E. Kozlova

Active phased-array antenna control in different operational modes 47

A.D. Eliseev, I.B. Averin

High-potential active phased-array antenna thermal control system development experience 54

U.A. Kudoyarov, A.A. Korolev, E.A. Golubtcov, V.A. Kashin,

A.S. Kormilitcin, V.M. Popov

APAA array arrangement with short-range radar optical connection. Transceiving modules cooling in APAA structure 63

A.L. Kunturov, S.A. Kunturov

Programmable diagnostic estimation method structural scheme of overall wear 69

V.A. Nikolaev, L.G. Miklashevskaya, D.V. Botov

Superwide-angle antenna phased assembly composition improvement for transceiving APAA 72

D.I. Popov

Closed-loop clutter Doppler phase autocancelers 79

V.I. Porsev, A.I. Gelesev, E.P. Voroshilin, A.I. Sivkov, A.R. Molochnikov <i>Partial trajectories discrimination using radar antenna synthesized virtual aperture</i>	87
V.T. Yakovlev, A.A. Topilin <i>Analysis of radar detection characteristics and angular measurement accuracy</i>	93
►IT applied application tasks	
D.F. Tkachev, A.F. Tkachev <i>Process of switching node resources allocation of special-purpose info- communication network on the basis of queues service dynamic scheduling</i>	99
E.G. Tokarev <i>Hardware-software complex design concept of semirealistic simulation of different type short-range radio systems.....</i>	105
►Foreign experience analytic research	
S.V. Golubchikov, M.V. Zhestev, V.I. Kolesnichenko, V.K. Novikov <i>Development and combat capabilities buld-up experience of Israel multifunction multilayered ballistic missile defense</i>	110
A.E. Svistunov, N.A. Maleeva <i>US and Japan cooperative development of SM-3 Block IIA interceptor for AEGIS and AEGIS ASHORE regional ballistic missile defense systems</i>	126
►Scientific reviews and reference.....	132

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

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>).

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ И СРЕДСТВ ВКО

УДК 629.762

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ИДЕНТИФИКАЦИИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕРХЗВУКОВОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

© Автор, 2016

М.В. Зенченко

ведущий инженер, АО «ВПК «НПО машиностроения», г. Реутов, Московская обл.
E-mail: nevelsk45@yandex.ru

Рассматривается подход к идентификации аэродинамических характеристик атмосферного сверхзвукового летательного аппарата на основе измеряемых координат вектора состояния с учётом погрешностей измерений и возмущений, действующих на объект управления, а также на основе восстановленных неизмеряемых координат вектора состояния.

Ключевые слова: летательный аппарат, идентификация, аэродинамические характеристики, фильтр Калмана-Бьюси.

The article considers the approach to aerodynamic characteristics identification of the supersonic airborne vehicle based on measuring state vector coordinates with respect to inaccuracy of measurements and disturbances affected on airborne vehicle, and based on recovered unmeasurable state vector coordinates as well.

Keywords: airborne vehicle, identification, aerodynamic characteristics, Kalman-Bucy filter.

В статье приводится подход к идентификации аэродинамических характеристик, при котором идентифицируемые в процессе полёта коэффициенты могут быть использованы для корректировки настроек системы угловой стабилизации летательного аппарата.

Приводится математическая модель возмущённого бокового движения летательного аппарата, а также модель возмущений, на основе которых строится фильтр Калмана-Бьюси для восстановления неизмеряемых и оценивания измеряемых координат вектора состояния летательного аппарата.

Приводится численный пример восстановления угла скольжения, оценивания угловых скоростей крена и рыскания. На основе восстановленных координат вектора состояния летательного аппарата производится идентификация коэффициента аэродинамической поперечной силы.

Данный подход для идентификации аэродинамических характеристик летательного аппарата предполагается использовать не только в послеполётном анализе, но и в бортовых алгоритмах угловой стабилизации летательного аппарата.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Эйхгофф П.** Основы идентификации систем управления. – М.: Мир, 1975. – 686 с.
2. **Касьянов В.А., Ударцев Е.П.** Определение характеристик воздушных судов методами идентификации. – М.: Машиностроение. 1988. – 176 с.

3. **Никитин А.И.** Методика идентификации параметров математической модели летательного аппарата на основе синтеза следящей системы // Электронный журнал «Труды МАИ». – М.: МАИ, 2011, №45. – URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=25471>.
4. **Брайсон А., Хо Ю-Ши.** Прикладная теория оптимального управления. – М.: Мир, 1972. – 544 с.
5. **Моисеев Н.Н.** Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 488 с.

AN APPROACH TO AERODYNAMIC CHARACTERISTICS IDENTIFICATION OF SUPERSONIC AIRBORNE VEHICLE

M.V. Zenchenko

The article considers the approach to aerodynamic characteristics identification, herewith the identifiable aerodynamic inflight coefficients could be used for adjustments correction of airborne vehicle angular stabilization system.

The mathematical model of airborne vehicle disturbed lateral motion and the disturbance model are provided. The Kalman-Bucy filter is based on these models to recover unmeasurable state vector coordinates and estimate the state vector measurable coordinates.

The computational example of gliding angle recovering, estimating of yaw and roll angular velocities is provided. Based on recovered airborne vehicle state vector coordinates the coefficient identification of aerodynamic lateral force is run.

The present approach for airborne vehicle aerodynamic characteristics identification is supposed to be used not only in post-flight analyses but in onboard angular stabilization algorithms of the airborne vehicle.

Поступила 3 июня 2016 года.

УДК 621.396.969.1

ТЕОРИЯ СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ КАК ОСНОВА СИНТЕЗА ИННОВАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОЛИГОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ЗЕНИТНОГО РАКЕТНОГО ОРУЖИЯ

© Авторы, 2016

В.И. Лобейко доктор технических наук, профессор,
председатель научно-методического совета

В.В. Лобанов

зам. начальника научно-исследовательского испытательного центра, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: info@raspletin.com

Н.Н. Тарасенко кандидат технических наук, доцент,
начальник научно-исследовательского испытательного центра, в/ч 15644, г. Знаменск

В статье рассматривается эволюция инженерии и проектирования, где характеризуются особенности науки, инженерии, проектирования. Показано, что в ходе информационной технической революции изменяется не только объект инженерной деятельности, но и сама деятельность, которая становится сложной и требует вовлечения в работу системных инженеров. Сложность процесса проектирования выдвигает необходимость его специального исследования.

Ключевые слова: система полигонных испытаний, обработка данных объективного контроля, фреймовая модель.

The article regards the engineering and designing development where the particularities of science, engineering and designing are characterized. It's shown that during informational technological revolution not only the engineering activity object is changed but an activity itself which becomes complicated and requires the system engineer's involvement. The designing process complexity advances the necessity of its special study.

Keywords: range field tests system, objective test data processing, frame-based model.

Система полигонных испытаний зенитного ракетного оружия в настоящее время представляет собой сложную организационно-техническую систему, не поддающуюся формализованному описанию традиционными математическими уравнениями. В то же время, создание межвидового полигона позволило объединить в одной организационно-штатной структуре испытательные подразделения как для испытания систем обороны, так и для испытания систем нападения. Причём, системы, непосредственно противодействующие друг другу в реальных боевых условиях, то есть образующие классическую дуэльную ситуацию.

Предложено синтезировать систему полигонных испытаний межвидового полигона как единую систему полигонных испытаний одновременно систем обороны и систем нападения.

В качестве теоретической основы для синтеза такой системы полигонных испытаний взята теория ситуационного управления, по академику Д.А. Поспелову, позволяющая описывать сложные организационно-технические системы с использованием логико-лингвистических моделей, использующих, в том числе, и фреймовые модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Шаракшанэ А.С., Железнов И.Г.** Испытания сложных систем. – М.: Высшая школа, 1974. – 184 с.
2. **Шаракшанэ А.С. и др.** Сложные системы. – М.: Высшая школа, 1997. – 247 с.
3. Элементы теории испытаний и контроля технических систем / под ред. Р. М. Юсупова. – Л.: Энергия, 1978. – 192 с.
4. **Железнов И.Г., Семенов Г.П.** Комбинированная оценка характеристик сложных систем. – М.: Машиностроение, 1976. – 186 с.
5. **Червоный А. и др.** Вероятностные методы оценки эффективности вооружения. – М.: Воениздат, 1979. – 95 с.

SITUATION MANAGEMENT THEORY AS BASIS FOR AIR DEFENSE MISSILE WEAPON RANGE FIELD TESTS INNOVATIVE SYSTEM SYNTHESIS

V.I. Lobeyko, V.V. Lobanov, N.N. Tarasenko

The range field tests system of air defense missile weapon nowadays is a complicated organizational and technical system not yielded to formal description of traditional mathematic equitation. At the same time the construction of inter-service range field has made possible to joint testing divisions in one organization and establishment structure either for defense and assault systems field tests. Besides, the directly counteracting systems in real combat conditions are forming the classical duel situation.

It's suggested to synthesize the range field tests system of inter-service range field as a single system of field tests for defensive and assault systems simultaneously.

As a theoretical basis for the synthesis of such range field tests system the situation management theory was taken, according to D.A.Pospelov academician, allowing describing the complicated organizational and technical systems using the logical-linguistic models, but not limited to frame-based models.

Поступила 6 апреля 2016 года.

УДК 621.396.96

МЕТОДЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ, ОТРАЖЁННЫХ ОТ ВЫСОКОМАНЁВРЕННЫХ ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ

© Авторы, 2016

И.И. Маркович кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
директор-главный конструктор, НКБ цифровой обработки сигналов ЮФУ, г. Таганрог
E-mail: dsp@sfedu.ru

Е.Е. Завтур
конструктор 2 категории, НКБ цифровой обработки сигналов ЮФУ, г. Таганрог
E-mail: zavtur90@mail.ru

В статье предложены методы компенсации миграции скоростных целей и паразитной частотной модуляции, обусловленной неравномерным движением воздушных объектов, повышающие возможности разрешения целей бортовой РЛС. Приведены результаты экспериментального исследования предложенных методов на моделях сигналов. Подтверждена высокая эффективность их использования в импульсно-доплеровских РЛС при работе с высокоманевренными воздушными целями, заключающаяся в повышении разрешения по дальности и скорости, а также в увеличении отношения «сигнал/шум» практически до потенциально возможных значений.

Ключевые слова: цифровая обработка сигналов, разрешающая способность, разрешение воздушных целей, дальностно-временной портрет, дальностно-частотный портрет, миграция целей по дальности, паразитная частотная модуляция, корреляционно-фильтровой алгоритм.

The article suggests the migration differential methods of high-speed targets and incidental frequency modulation stipulated by the nonuniform motion of aerial objects that increases targets resolution possibilities of onboard radar. The suggested methods experimental results on signals models are proposed. The high efficiency of its implementation was confirmed in pulse Doppler radars at operation with highly-maneuverable aerial targets that is based on resolution improvement on range and velocity and increasing of signal-to-noise ratio up to nearly maximum possible values.

Keywords: signal digital processing, resolution capability, aerial targets resolution, range-time signature, range-frequency signature, range targets migration, incidental frequency modulation, correlation-filter algorithm.

В статье рассматриваются искажения доплеровских сигналов в бортовой РЛС, обусловленные быстрым и неравномерным движением воздушных объектов. Вводятся понятия дальностно-временного и дальностно-частотного портретов.

При высоких скоростях целей возникают искажения сигналов, обусловленные миграцией целей по дальности, а при ускоренном движении – искажения, вызванные появлением паразитной ЧМ доплеровских сигналов. Названные явления уменьшают отношение «сигнал/шум» (ОСШ) и приводят к снижению разрешающей способности по дальности и скорости.

Для устранения паразитной ЧМ сигналов предлагается использовать корреляционно-фильтровой метод.

Приводятся результаты математического моделирования алгоритма компенсации паразитной ЧМ. Полученные данные подтверждают правильность функционирования разработанного алгоритма и высокую эффективность его использования при больших радиальных составляющих скоростей и неравномерном движении целей, что заключается в повышении разрешения по дальности и скорости, а также в увеличении ОСШ практически до потенциально возможных значений.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Маркович И.И.** Цифровая обработка сигналов в системах и устройствах: монография. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ: 2012. – 236 с.

2. **Маркович И.И.** Цифровая обработка сигналов в импульсно-доплеровских РЛС. Излучение и рассеяние электромагнитных волн // Труды Международной научной конференции «Излучение и рассеяние ЭМВ – ИРЭМВ-2013». – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2013. – С.754–758.
3. **Маркович И.И., Завтур Е.Е.** Разрешение целей по дальности бортовой РЛС. Радиолокационные системы специального и гражданского назначения. 2015–2017 / под ред. Ю.И. Белого. – М.: Радиотехника, 2016.
4. **Маркович И.И., Коваленко Е.И., Донской С.В.** Реализация в импульсно-доплеровских РЛС алгоритмов высокого разрешения объектов в группе и определения его численного состава. Радиолокационные системы специального и гражданского назначения. 2010–2012 / под ред. Ю.И. Белого. – М.: Радиотехника, 2011. – С.361–366.
5. **Маркович И.И., Коваленко Е.И., Кузнецов А.П., Кириченко Е.В.** Повышение разрешающей способности и точности определения количества объектов, находящихся в плотной группе. Многопроцессорные вычислительные и управляющие системы (МВУС-2009) // Материалы Международной научно-технической конференции. Т.2. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2009. – С.200–202.

DIGITAL PROCESSING METHODS OF SIGNALS REFLECTED FROM HIGHLY MANEUVERABLE AERIAL TARGETS

I.I. Markovich, E.E. Zavtur

The paper deals with the Doppler signals distortions in onboard radar, stipulated by fast and non-uniform aerial objects movement. The notions of range-time and range-frequency signatures are introduced.

At high targets speeds the signal distortions occur, caused by targets migration in range, and at accelerated motion – distortions, caused by incidental frequency modulation (FM) appearance of Doppler signals. The mentioned phenomena reduce the signal-to-noise ratio (SNR) and lead to decreasing of range and velocity resolution capability.

To eliminate the signals incidental FM the correlation-filter method is offered to use.

The mathematical modeling results of incidental FM cancellation algorithm are given. Obtained data confirm the correct functioning of developed algorithm and high efficiency of its usage at high radial velocity components and non-uniform targets motion that result in increase of range and velocity resolution, as well as substantially increase the SNR up to nearly maximum possible values.

Поступила 19 апреля 2016 года.

ПРИМЕНЕНИЕ СИЛ И СРЕДСТВ ВКО

УДК 537.876.23; 551.551.5; 532.529

ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ АТМОСФЕРНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ЛАЗЕРНОГО КОМПЛЕКСА АВИАЦИОННОГО БАЗИРОВАНИЯ

© Авторы, 2016

А.В. Гелиев кандидат физико-математических наук,
начальник сектора аэрофизики неравновесных течений, ФГУП «ЦАГИ», г. Жуковский, Московская обл.
E-mail: alexandr.geliev@mail.ru

Е.А. Дорофеев кандидат физико-математических наук, доцент,
зам. декана ФАЛТ по старшим курсам, МФТИ, г. Жуковский, Московская обл.
E-mail: edorofeev@mail.ru

К.А. Зудов
научный сотрудник, МФТИ ФАЛТ, г. Жуковский, Московская обл.
E-mail: xzudov@mail.ru

М.А. Кудров кандидат технических наук, доцент,
и.о. декана ФАЛТ, старший научный сотрудник,
зав. лабораторией информационных технологий и прикладной математики,
МФТИ ФАЛТ, г. Жуковский, Московская обл.
E-mail: mkudrov@mail.ru

М.А. Струнин доктор физико-математических наук,
зав. лабораторией термодинамики атмосферы, ФГБУ «ЦАО», г. Долгопрудный, Московская обл.
E-mail: mikhail_strunin@mail.ru

Проведён краткий анализ влияния атмосферы на процесс распространения лазерного луча. Основопологающими факторами среды, воздействующими на лазерный луч, в рамках работы полагаются турбулентность и димеры воды. Предложены методы моделирования турбулентных пульсаций скорости ветра, рассчитаны равновесные концентрации димеров и мономеров в зависимости от температуры и давления паров воды на основе принятой кинетики кластерообразования.

Ключевые слова: лазерный луч, атмосфера, турбулентность, пульсации, показатель преломления, димеры, моделирование, рассеяние.

A brief analysis of the atmosphere influence on the laser beam propagation was fulfilled. Within the frames of the work the turbulence and water dimers were supposed as the environment main factors effecting on a laser beam. The turbulent fluctuations simulation methods were proposed, equilibrium concentrations of dimers and monomers were calculated depending on the temperature and water vapor pressure based on the accepted clustering kinetics.

Keywords: laser beam, atmosphere, turbulence, fluctuations, refraction index, dimers, simulation, scattering.

В статье выполнен анализ влияния турбулентной атмосферы на точность и эффективность стрельбы лазерного комплекса авиационного базирования. Рассмотрено воздействие атмосферной турбулентности на внешнее и внутреннее обтекание самолёта-носителя. Выполнена оценка влияния турбулентности атмосферы на процесс распространения лазерного луча.

В статье приведены методы моделирования турбулентных пульсаций атмосферы, отмечены их преимущества и недостатки. Предложен ряд задач, связанных с усовершенствованием приведённых моделей и разработкой новых методов определения параметров турбулентности атмосферы. В работе приведен результат генерации вертикальной скорости случайного турбу-

лентного порыва и показано влияние турбулентности на показатель преломления среды, что приводит к искажению фазы и амплитуды электромагнитной волны.

На основе принятой кинетики калстерообразования рассчитаны равновесные концентрации димеров и мономеров воды в зависимости от температуры и давления паров. В работе предложена модель атмосферного поглощения излучения парами воды с учётом образования димеров. Она позволяет моделировать абсорбционные свойства атмосферы в БИК области в широком диапазоне макропараметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клиффорд С.Ф., Грачева М.Е., Гурвич А.С., Исимару А., Кашкаров С.С., Покасов В.В., Шапиро Дж., Стробен Дж., Ульрих П., Уолш Дж. Распространение лазерного пучка в атмосфере. – М.: Мир, 1981. – 413 с.
2. Зуев В.Е. Распространение лазерного излучения в атмосфере. – М.: Радио и связь, 1981. – 288 с.
3. Монин А.С., Обухов А.М. Основные закономерности перемешивания в приземном слое атмосферы // Труды Ин. Теор. Геофиз. АН СССР. – 1954. – 24(151). – С.163–187.
4. Deardorff J.W. Convective Velocity and Temperature Scale for the Unstable Planetary Boundary Layer and for Rayleigh Convection // J. Atmos. Sci. – 1970. – 27. – P.1212–1213.
5. Stull R.B. An Introduction to Boundary Layer Meteorology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 1988. – 666 p.
6. Кофи С.Дж. Экспериментальные данные о пограничном слое атмосферы, в кн. Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей / под ред. Ф.Т.М. Ньистадта и Х. Ван Допа. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – С.126–172.
7. Научно-технический отчёт ЦАГИ: Методика определения некоторых параметров атмосферной турбулентности на трассах большой протяжённости при высотах от 0 до 120 км, исполнители: А.В. Алакоз, В.Н. Садчиков, ЦАГИ. – 1980. – 10 с.
8. Научно-технический отчёт ЦНИИМаш, 2006: Разработка модели канонического разложения скорости ветра для района космодрома Байконур по данным полных архивов радиозондовых измерений на аэрологических станциях Аральское море и Кзыл-Орда и на станции ракетного зондирования атмосферы Балхаш, отработка ветровой модели на типовой конфигурации РН «Союз-2», ЦНИИМаш, 2006.
9. Отчёт по ОКР, 2007: Разработка статистических моделей турбулентности ветра в свободной атмосфере для районов космодромов Байконур и Плесецк. Разработка алгоритмов оперативного контроля достоверности результатов предстартового радиозондирования атмосферы и выбор унифицированного формата (кода) передачи аэрологических данных, ЦАО. – 63 с.
10. Струнин М.А. Турбулентность в облачной атмосфере (в облаках и околооблачном пространстве). Эмпирическая модель турбулентности в облачной атмосфере. Справочное пособие для научных работников и инженеров-метеорологов. – Долгопрудный: Физматкнига, 2013. – 192 с.
11. Воеводенко В.В., Вышинский В.В. Динамика микрочастиц в струйно-вихревом следе за самолётом // Труды ЦАГИ. – 2008, вып. 2676. – С.60–67.
12. Вышинский В.В., Судаков Г.Г. Вихревой след самолёта в турбулентной атмосфере (физические и математические модели). – М.: ЦАГИ, 2005. – 170 с.
13. Научно-технический отчёт ЦАГИ: О влиянии движения среды на процесс обращения волнового фронта, исполнитель: Е.А. Дорофеев. – ЦАГИ, 1980. – 34 с.
14. Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло. – М.: Наука, 1973. – 313 с.
15. Быков В.В. Цифровое моделирование в статической радиотехнике. – М.: Советское радио, 1971. – 328 с.
16. Сухарев А.А., Фалиц А.В. Фокусировка и отклонение от прямолинейного распространения лазерного пучка вследствие прохождения ударной волны при дальнейшем распространении в однородной среде // Известия ВУЗов. Физика. – 2013, Т.56, №8/3. – С.350–352.
17. Канев Ф.Ю., Макенова Н.А., Антипов О.Л., Цыро Е.И., Куксенко Д.С. Влияние аберраций на распространение в атмосфере излучения, генерируемого многоканальной лазерной системой с когерентным сложением // Известия ВУЗов. Физика. – 2013, Т. 56, №8/3. – С.300–303.
18. Третьяков М.Ю. и др. Димер воды и атмосферный континуум // УФН. – 2014, т.184, №11. – С.1199–1215.
19. Roach W.T., Goody R.M. Absorption and emission in the atmospheric window from 770 to 1250 cm^{-1} // Q.J.R. Meteorol. Soc. – 1958, V. 84. – P.319–333.
20. Saykally R.J et.al. The water dimer I: Experimental characterization // Chem. Phys. Lett. – 2015, V 633. – P.13–26.
21. L'Ecuyer T. Water dimer atmospheric absorption. Dalhousie university Halifax, Nova Scotia, 1997.
22. Крайнов В.П., Смирнов Б.М. Излучательные процессы в атомной физике. – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.

APPROACHES TO MODELLING OF ATMOSPHERIC FACTORS EFFECTING ON THE AIRBORNE LASER SYSTEM EFFECTIVENESS

A.V. Geliev, E.A. Dorofeev, K.A. Zudov, M.A. Kudrov, M.A. Strunin

The paper provides the analysis of turbulent atmosphere influence on accuracy and efficiency of the airborne laser system. The atmosphere turbulence effect on flow field of carrier aircraft was examined. The estimation of atmosphere turbulence influence on laser beam propagation process was performed.

The simulation methods of atmosphere turbulent fluctuations were proposed, its advantages and disadvantages were pointed out in the article. The studies on the improvement of the given models and the development of new determination methods of the atmosphere turbulence parameters were proposed. The result of the vertical velocity generation for random turbulent gust was given and the turbulence effect on the refractive index of the medium was shown, which leads to phase and electromagnetic wave amplitude distortion.

Based on the accepted clustering kinetics the equilibrium concentrations of dimers and monomers were calculated depending on the temperature and water vapor pressure. The model of atmosphere radiation absorption by water vapor considering the dimers formation was proposed. It allows simulating the absorptive properties of atmosphere at NIR region in a wide range of macroparameters.

Поступила 19 апреля 2016 года.

УДК 621.396.967

МИНИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕНИ ОБРАБОТКИ ПОТОКА ЗАЯВОК ГРУППОЙ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЗА СЧЁТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА

© Авторы, 2016

Н.Н. Литвинов

начальник лаборатории кафедры автоматики и вычислительных средств, ЯВВУ ПВО, г. Ярославль

E-mail: nikey2007@yandex.ru

А.М. Лаврентьев кандидат технических наук, доцент,

начальник кафедры радиотехнических систем, ЯВВУ ПВО, г. Ярославль

М.М. Мурзак

адъюнкт кафедры радиотехнических систем, ЯВВУ ПВО, г. Ярославль

Рассматривается группа систем массового обслуживания. Показано, что ситуация равного распределения заявок между системами группы по определённому признаку, присущему каждой заявке, при их поступлении на вход группы практически невозможна. Это означает, что вероятность превышения минимального времени обслуживания при обработке потока заявок стремится к единице. Исходя из возможностей систем, действующих в единой сети, предлагается организовать в рассматриваемой группе систем массового обслуживания единое информационное пространство с внедрением сетевых алгоритмов, что позволяет минимизировать время обработки потоков заявок путём их перераспределения с перегруженных систем на менее занятые.

Ключевые слова: система массового обслуживания, единое информационное пространство, время обработки заявки, поток заявок.

The article considers queuing systems group. It's shown that the situation with requests equal distribution between the group systems, due to certain character common to each request, at its incoming to the group input is almost impossible. It means that the exceedance probability of the minimum queuing time in requests flow processing tends to 1. Based on the systems capabilities operating in single network, it is proposed to arrange the single information space in the queuing systems group with the introduction of network-centric algorithms. It allows minimizing the requests flow processing time through its redistribution from overloaded systems to less loaded.

Keywords: queuing system, single information space, request processing time, requests flow.

В статье рассмотрена группа систем массового обслуживания, обрабатывающая общий поток заявок. Цель статьи заключается в минимизации времени обслуживания потока заявок, поступающего на вход группы систем массового обслуживания. В статье использовался аппарат математической статистики, исследование проводилось при помощи имитационного моделирования. В результате проведённого исследования установлено:

-вероятность равного распределения количества заявок между системами группы практически равна нулю;

-время обслуживания потока заявок группой, состоящей из нескольких систем массового обслуживания, существенно уменьшается при внедрении в группе единого информационного пространства;

-временная разница (выигрыш) при обслуживании заявок группой с реализованным единым информационным пространством по сравнению с группой без единого информационного пространства становится больше с увеличением количества поступающих заявок на вход группы;

-внедрение единого информационного пространства становится необходимым условием обслуживания предельного количества заявок для группы систем массового обслуживания с ограниченным ресурсом.

Полученные результаты можно использовать при построении эшелонированной группировки ПВО с использованием зенитных ракетных комплексов разной дальности действия.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Буренок В.М., Ивлеев А.А., Корчак В.Ю.** Развитие военных технологий XXI века: проблемы, планирование, реализация. – Тверь: Издательство ООО «КУПОЛ», 2009.
2. **Назаров А.А., Терпугов А.Ф.** Теория массового обслуживания: учебное пособие. – 2-е изд., испр. – Томск: Изд-во НТЛ, 2010.
3. **Гмурман В.Е.** Теория вероятностей и математическая статистика. – 12-е изд. – М.: Издательство Юрайт, 2016.

**REQUESTS FLOW PROCESSING TIME MINIMIZATION
BY QUEUING SYSTEMS GROUP DUE TO USING
OF SINGLE INFORMATION SPACE**

N.N. Litvinov, A.M. Lawrent'ev, M.M. Murzak

The article describes the queuing systems group processing the common requests flow. The objective is to minimize the processing time of requests flow incoming to the input of queuing systems group. The mathematical statistics method was used; the study was conducted using simulation modeling. The fulfilled study results to the following:

- the equal distribution probability of requests between the systems of the group is almost impossible;
- the processing time of requests flow by the group consisting of several queuing systems substantially decreases with the introduction of common information space in the group;
- the timing difference (advantage) at requests queuing by the group with realized single information space, compared to the group with no single information space, becomes larger with the increase of the number of requests incoming to the group input;
- the introduction of single information space becomes a necessary condition of limited requests number queuing for queuing systems group with a limited resource.

The obtained results can be used during deployment of a layered air defense group equipped with different range AD missile systems.

Поступила 6 апреля 2016 года.

ИССЛЕДОВАНИЯ В СФЕРЕ ПРОЕКТНО- КОНСТРУКТОРСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ

УДК 623.462.22

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОИЗВОДСТВА

© Автор, 2016

М.Г. Блануца

начальник конструкторского бюро, ПАО «ДНПП», г. Долгопрудный, Московская обл.
E-mail: ntc-m@mail.ru

По результатам исследования надёжности беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и их комплектующих изделий даны рекомендации по организации и проведению работ по обеспечению и контролю надёжности в процессе изготовления БЛА. Сформулировано необходимое и достаточное условие назначения технологической тренировки БЛА и её комплектующих изделий в процессе производства. Приведены расчётные зависимости для оценки экономической эффективности от внедрения технологической тренировки. Поставлена и решена прямая и обратная задача одномерного прогнозирования эксплуатационной надёжности БЛА и её комплектующих изделий по результатам производственного качества. Получены расчётные соотношения.

Ключевые слова: надёжность БЛА (ЗУР), прогнозирование эксплуатационной надёжности по результатам производства, прогнозирование надёжности БЛА (ЗУР) в эксплуатации, обеспечение надёжности БЛА (ЗУР) в эксплуатации по производственным показателям.

Based on analysis results of pilotless aircraft and its components reliability the recommendations on organization and works performance to provide and control the reliability during pilotless aircraft manufacturing process were given. The necessary and sufficient assignment condition for technological pre-ageing of pilotless aircraft and its components during manufacturing process was formulated. The calculating dependences for cost-effectiveness analysis after pre-ageing introduction were presented. The direct and inverse problem of one-dimensional prediction of pilotless aircraft and its components reliability basing on manufacturing quality results was set. The estimated relationship was obtained.

Keywords: pilotless aircraft reliability (SAM), operational reliability prediction basing on manufacturing results, pilotless aircraft (SAM) reliability prediction during operation, pilotless aircraft (SAM) reliability control during operation basing on manufacturing indicators.

В статье рассмотрен один из возможных методов реализации приближённого прогнозирования на примере беспилотного летательного аппарата (БЛА) (типа «зенитная управляемая ракета» (ЗУР)).

По результатам исследования надёжности беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и их комплектующих изделий даны рекомендации по организации и проведению работ по обеспечению и контролю надёжности в процессе изготовления БЛА.

Сформулировано необходимое и достаточное условие назначения технологической тренировки БЛА и её комплектующих изделий в процессе производства. Приведены расчётные зависимости для оценки экономической эффективности от внедрения технологической тренировки.

Поставлены и решены прямая и обратная задачи одномерного прогнозирования эксплуатационной надёжности БЛА и её комплектующих изделий по результатам производственного качества. Получены расчётные соотношения.

Установлено, что прогнозирование показателей надёжности (ПН) БЛА и её комплектующих изделий по текущим характеристикам качества изготовления является эффективным средством управления эксплуатационной надёжностью в процессе производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Статистические методы обработки эмпирических данных. ВНИИНМАШ. – М.: Издательство стандартов, 1978. – 232 с.
2. **Васильев Б.В.** Прогнозирование надёжности и эффективности радиоэлектронных систем. – М.: Советское радио, 1970. – 320 с.
3. **Прохоренко В.А., Смирнов А.Н.** Прогнозирование качества систем. – Минск: Наука и техника, 1976. – 200 с.
4. **Венцель Е.С.** Теория вероятностей. – М.: Физматгиз, 1962. – 564 с.

OPERATIONAL RELIABILITY PREDICTION BASING ON MANUFACTURING RESULTS

M.G. Blanutsa

The article states one of the possible methods of approximate prediction implementation by the example of pilotless aircraft (of surface-to-air missile type/SAM).

Based on analysis results of pilotless aircraft and its components reliability the recommendations on organization and works performance to provide and control the reliability during pilotless aircraft manufacturing process were provided.

The necessary and sufficient assignment condition for technological pre-ageing of pilotless aircraft and its components during manufacturing process was formulated. The calculating dependences for cost-effectiveness analysis after pre-ageing introduction were presented.

The direct and inverse problem of one-dimensional prediction of pilotless aircraft and its components reliability basing on manufacturing quality results was set. The estimated relationship was obtained.

It is found that the pilotless aircraft and its components reliability indicators prediction according to current characteristics of manufacturing quality is an effective control tool of operational reliability during manufacturing process.

Поступила 19 апреля 2016 года.

УДК 621.396.677.75

СТЕРЖНЕВОЙ ФЕРРИТО-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ АФАР КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

© Авторы, 2016

Е.Н. Гуркин

начальник отдела, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: skb.spo@gskb.ru

П.Л. Батов

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

С.О. Князев

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

Е.В. Переходенко

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

Д.В. Поповкин

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

Д.Л. Борисевич

главный конструктор, АО «ЗРТО», г. Санкт-Петербург

В статье рассматривается стержневой феррито-диэлектрический антенный излучатель с ферритовым поляризатором с коаксиальным возбуждением для активной фазированной антенной решётки (АФАР), работающей на круговой поляризации поля. Приведены основные требования, предъявляемые к излучателям подобного типа, схема построения излучателя, результаты электродинамического моделирования излучателя в составе решётки в рабочем диапазоне частот в различных программах. Описаны конструкция и результаты экспериментальной отработки излучателя в составе имитатора антенной решётки и фрагмента АФАР. Приведено сравнение расчётных и экспериментальных данных, а также описание стенда для автоматизированных измерений параметров излучателя в диапазоне частот.

Ключевые слова: излучатель АФАР, диэлектрический излучатель, антенный элемент, ферритовый поляризатор, круговая поляризация, коаксиальное возбуждение.

The article considers the ferrite-dielectric rod antenna radiator with ferrite polarizer with coaxial excitation for active phased-array antenna (APAA) operating on circular field polarization. The basic requirements for radiators of such type, the radiator lay-out scheme, the radiator electrodynamic modeling within an array in operating band in different programs were presented. The design and results of the radiator experimental try-out within an antenna array simulator and APAA segment were described. The comparison of computation and observed data was carried out, and description of test stand for the radiator automated parameters measurements in frequency band was mentioned.

Keywords: APAA radiator, dielectric radiator, antenna element (coupler), ferrite polarizer, circular polarization, coaxial excitation.

В статье рассматривается излучатель активной фазированной антенной решётки (АФАР), работающий на круговой поляризации СВЧ-поля. Приведены основные требования к излучателю, схема построения и его конструктивное исполнение. Описана общая методология расчёта и экспериментальной отработки излучателя в имитаторе антенной решётки и в составе фрагмента АФАР.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ненартович Н.Э., Аверин И.Б., Балагуровский В.А., Митяшев М.Б.** Подходы к технологиям активных фазированных антенных решёток // Журнал «Вестник воздушно-космической обороны». – М.: ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей», 2015, выпуск №1(5). – С.102–109.
2. **Мамонов А.И.** Ферритовая волноводная секция с квадрупольным магнитным полем и её применение в управляемых СВЧ-устройствах // Журнал Антенны. – М.: Радиотехника, 2005, выпуск 2(93).
3. **Виниченко Ю.П., Сафонов А.П., Секистов А.Н., Семенов А.А., Туманская А.Е.** Широкополосный волноводно-стержневой элемент фазированной антенной решетки X-диапазона // Журнал Антенны. – М.: Радиотехника, 2008, выпуск 5(132).
4. **Виниченко Ю.П., Секистов А.Н., Туманская А.Е.** Исследование характеристик элемента фазированной антенной решетки в волноводном имитаторе // Журнал Антенны. – М.: Радиотехника, 1997, выпуск 2 (39).
5. **Александров П.Л., Виниченко Ю.П., Секистов А.Н., Туманская А.Е.** Одноэлементный имитатор бесконечной ФАР с качанием луча. – М.: Радиотехника, 1995, №7-8, вып.4. – С.115.

6. Устройство для измерения эллиптичности электромагнитной волны, Патент РФ №2242769 по заявке № 2003116104 от 02.06.2003, автор Внуков А.И., Куприянов А.И., Афанасьев Ю.Н., Голубцов Е.А., патентообладатель ФГУП ГРПЗ
7. **Кинбер Б.Е., Цейтлин В.Б.** Об измерениях параметров антенн в поле плоской волны, создаваемой коллиматором // Журнал «Радиотехника и электроника». – 1965, т.Х, вып. 7.

CIRCULAR POLARIZATION FERRITE-DIELECTRIC ROD APAA RADIATOR

E.N. Gurkin, P.L. Batov, S.O. Knyazev, E.V. Perehodenko, D.V. Popovkin, D.L. Borisevich

The article states active phased-array antenna (APAA) radiator operating on ultrahigh frequency field circular polarization. Basic requirements to the radiator, lay-out scheme and its design were presented. The general methodology of computation and experimental try-out of the radiator within an antenna array simulator and within APAA segment was described.

Поступила 16 мая 2016 года.

УПРАВЛЕНИЕ АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЁТКОЙ В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

© Авторы, 2016

Н.В. Дрожжина

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

E-mail: drozhzhina@mail.ru

П.Л. Батов

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

А.С. Беляев

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

А.Е. Козлова

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

В статье рассматривается система управления активной фазированной антенной решёткой (АФАР), учитывающая её конструктивные и схемотехнические особенности. Предлагается способ получения, хранения и использования управляющей информации для конкретной АФАР с учётом особенностей СВЧ-трактов, линий связи и вычислительных устройств в её составе. Рассматриваются особенности управления АФАР как в режимах работы по цели, так и по изделию, а также при проведении контроля исправности аппаратуры. Описывается алгоритм формирования диаграммы направленности и созданная на его основе математическая модель работы АФАР. Приводятся результаты математического моделирования работы АФАР в основном режиме и сравнение их с результатами работы реальной аппаратуры.

Ключевые слова: система управления АФАР, математическая модель функционирования АФАР.

The article considers the active phased-array antenna (APAA) control system which considers its design and schematic features. The control data obtaining, storage and utilization method is suggested for the particular APAA due to constituent UHF-paths, communication lines and computing devices features. The APAA control features are regarded in target engagement and APAA operation modes, as well as during hardware serviceability check. The pattern formation algorithm and composed on its base the mathematical model of APAA operation was described. The APAA operation mathematical modeling results in the main mode and comparison it with real equipment performance were performed.

Keywords: APAA control system, APAA function mathematical model.

Активная фазированная антенная решётка (АФАР) имеет в составе образующих её СВЧ-каналов участки с наличием и без наличия активных элементов, имеющие различные фазовые характеристики в диапазоне литер и температур. В статье описан алгоритм измерения, хранения и использования фазовых характеристик различных участков СВЧ-трактов и другой информации, позволяющий выровнять амплитудно-фазовое распределение в раскрыве АФАР и сформировать диаграмму направленности с требуемой формой и характеристиками. На основе этого алгоритма разработана математическая модель функционирования АФАР, используемая для тестирования и отработки реальной аппаратуры АФАР.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ненартович Н.Э., Аверин И.Б., Балагуровский В.А., Митяшев М.Б.** Подходы к технологиям активных фазированных антенных решёток // Журнал «Вестник воздушно-космической обороны». – М.: ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей», 2015, выпуск №1(5). – С.102–109.
2. **Батов П.Л., Дрожжина Н.В.** Система управления АФАР: алгоритм вычисления и формирования амплитудно-фазового распределения // Журнал «Успехи современной радиоэлектроники». – М.: Радиотехника, 2015, выпуск №3. – С.45–49.

ACTIVE PHASED-ARRAY ANTENNA CONTROL IN DIFFERENT OPERATIONAL MODES

N.V. Drozhzhina, P.L. Batov, A.S. Belyaev, A.E. Kozlova

The UHF-channels of active phased-array antenna (APAA) include segments with exciters and without active elements having different phase characteristics in band of liters (frequency channel coding character) and temperatures. The article describes the measurement, storage and usage algorithm of phase characteristics of different UHF-paths segments and another data permitting to provide equalization of amplitude-phase distribution in the APAA aperture and to provide pattern formation with required beam shape and characteristics. Based on this algorithm the APAA function mathematical model was developed which is used for test and try-out of the real APAA aperture.

Поступила 19 апреля 2016 года.

УДК 621.396.677.494:621.6

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ВЫСОКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ

© Авторы, 2016

А.Д. Елисеев кандидат технических наук,
начальник отдела, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: geamdv@yandex.ru

И.Б. Аверин кандидат технических наук,
начальник конструкторско-технологического комплекса, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: info@raspletin.com

Одной из актуальных задач создания высокопотенциальной активной фазированной антенной решётки (АФАР) является обеспечение её нормального теплового режима. Разработана система обеспечения теплового режима (СОТР) АФАР мобильного ЗРК с большой мощностью тепловыделения (сотни киловатт) и ограничениями по температурному диапазону работы элементов антенны. СОТР состоит из подсистемы жидкостного охлаждения (СЖО), усилителей СВЧ-мощности и подсистемы воздушного охлаждения и обогрева (СВО), обеспечивающей нормальный тепловой режим ряда ЭРИ из состава АФАР в широком диапазоне эксплуатационных температур. Приведены результаты экспериментального исследования макетной СЖО в большом диапазоне расходов охлаждающей жидкости и воздуха. Разработаны составные части СОТР: прибор жидкостного охлаждения, блок воздушного охлаждения, нагреватель, блоки управления и контроля СЖО и СВО, комплекс датчиков параметров СЖО.

Ключевые слова: активная фазированная антенная решётка, система обеспечения теплового режима.

One of the actual tasks of high-potential active phased-array antenna (APAA) development is to provide its normal thermal conditions. The APAA thermal control system (TCS) was developed of the mobile air defense missile complex with high heat generation (hundreds of kilowatts) and with operation temperature limits of antenna elements. The TCS consists of liquid-cooling subsystem (LCS) of microwave power amplifiers and air-cooling and heat subsystem (ACH) providing the normal thermal conditions of some APAA radio electronic components (REC) in wide range of operation temperatures. The experimental study results of the modeled LCS in broad range of coolant and air output flow were performed. The TCS constituent parts were developed: liquid cooling device, air cooling block, heater, LCS and ACH control blocks, LCS parameters sensors kit.

Keywords: active phased-array antenna, thermal control system.

Одной из актуальных задач создания высокопотенциальной активной фазированной антенной решётки (АФАР) является обеспечение её нормального теплового режима. Разработана система обеспечения теплового режима (СОТР) АФАР мобильного ЗРК с большой мощностью тепловыделения (сотни киловатт) и ограничениями по температурному диапазону работы элементов антенны. СОТР состоит из подсистемы жидкостного охлаждения (СЖО) усилителей СВЧ-мощности и подсистемы воздушного охлаждения и обогрева (СВО), обеспечивающей нормальный тепловой режим ряда ЭРИ из состава АФАР в широком диапазоне эксплуатационных температур. Приведены результаты экспериментального исследования макетной СЖО в большом диапазоне расходов охлаждающей жидкости и воздуха. Разработаны составные части СОТР: прибор жидкостного охлаждения, блок воздушного охлаждения, нагреватель, блоки управления и контроля СЖО и СВО, комплекс датчиков параметров СЖО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверин И.Б., Елисеев А.Д., Журавлев В.Г., Столбовской В.Н. Система обеспечения теплового режима АФАР // Морские комплексы и системы ПВО-ПРО: Сборник докладов научно-технической конференции ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей» к 80-летию со дня образования ОАО «МНИИРЭ «Альтаир». – М.: ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей», 2013. – С.233–236.
2. Дутьнев Г.Н., Тарновский Н.Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры. – Л.: Энергия, 1971. – 248 с.
3. Исаченко В.П. и др. Теплопередача. Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.

4. **Дульнев Г.Н., Семяшкин Э.М.** Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах. – Л.: Энергия, 1968. – 360 с.
5. **Попов В.М.** Теплообмен в зоне контакта разъёмных и неразъёмных соединений. – М.: Энергия, 1971. – 216 с.
6. Справочник по расчётам гидравлических и вентиляционных систем / под ред. Юрьева А.С. – С.-Пб, АНО НПО «Мир и семья», 2001. – 1154 с.
7. **Чичиндаев А.В.** Оптимизация компактных пластинчато-ребристых теплообменников. Часть 1. Теоретические основы: Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 400 с.
8. **Кремлевский П.П.** Расходомеры и счётчики количества веществ: Справочник. – Политехника, 2002, Кн. 1. – 409 с.

HIGH-POTENTIAL ACTIVE PHASED-ARRAY ANTENNA THERMAL CONTROL SYSTEM DEVELOPMENT EXPERIENCE

A.D. Eliseev, I.B. Averin

One of the actual tasks of high-potential active phased-array antenna (APAA) development is to provide its normal thermal conditions. The APAA thermal control system (TCS) was developed of the mobile air defense missile complex with high heat generation (hundreds of kilowatts) and with operation temperature limits of antenna elements. The TCS consists of liquid-cooling subsystem (LCS) of microwave power amplifiers and air-cooling and heat subsystem (ACH) providing the normal thermal conditions of some APAA radio electronic components (REC) in wide range of operation temperatures. The experimental study results of the modeled LCS in broad range of coolant and air output flow were performed. The TCS constituent parts were developed: liquid cooling device, air cooling block, heater, LCS and ACH control blocks, LCS parameters sensors kit.

Поступила 17 мая 2016 года.

УДК 621.396.67

ПОСТРОЕНИЕ РЕШЁТКИ АФАР С ОПТИЧЕСКОЙ ЗАПИТКОЙ РЛС МАЛОЙ ДАЛЬНОСТИ. ОХЛАЖДЕНИЕ ПРИЁМОПЕРЕДАЮЩИХ МОДУЛЕЙ (ППМ) В КОНСТРУКЦИИ АФАР

© Авторы, 2016

Ю.А. Кудояров

начальник отдела, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва,
E-mail: jury69@mail.ru

А.А. Королев

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

Е.А. Голубцов

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

В.А. Кашин доктор технических наук, профессор,
начальник НИО, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

А.С. Кормилицын

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

В.М. Попов

научный консультант, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

В статье представлены принципы построения и конкретной реализации конструкции АФАР с оптической запиткой для мобильного РЛС сверхмалой дальности. Особое внимание уделено вопросам жидкостного охлаждения приёмно-передающих модулей, прочности конструкции, организации электропитания и обеспечения ремонтпригодности АФАР. Изготовлен опытный образец, который подтвердил правильность принятых конструкторских и технологических решений.

Ключевые слова: АФАР, АФАР с оптической запиткой, столбцевые несущие балки, столбцевые линии связи, плоские трубы СЖО.

The article states design and specific structure realization principles of the active phased-array antenna (APAA) with optical connection for the mobile ultra-short range radar. The emphasis is on problems of transceiving modules (TSM) liquid cooling, structural integrity (ruggedness), electric power supply arrangement and providing of the APAA serviceability. The prototype model was manufactured which has confirmed the design and technological solutions validity.

Keywords: active phased-array antenna (APAA), APAA with optical connection, column bearing beams, column connection lines, liquid-cooling system (LCS) flat pipes.

Ранее ни в нашей стране, ни за рубежом не было разработано ни одной АФАР X-диапазона с оптической запиткой. Конструкция АФАР образована антенной решёткой с ППМ и элементами СЖО, закреплёнными на фланце для установки на антенную платформу МФРЛС. ППМ представляет собой 4-канальный СВЧ-усилитель с оптической запиткой и интегрированным в общий корпус ВИП. Основными элементами конструкции АФАР являются: ППМ в сборе с излучателями (далее – ППМ); плоская круглая несущая плита (фланец АФАР); набор столбцевых несущих балок сложного сечения; элементы крепления балок; столбцевые линии связи; элементы системы СЖО (входные и выходные коллекторы, плоские трубы). Плоская несущая плита имеет крепёжные отверстия для монтажа набора столбцевых несущих балок, образующих антенную решётку. Отверстия, расположенные по периметру несущей плиты, обеспечивают крепление АФАР к антенной платформе. Кроме этого, на несущей плите предусмотрены резьбовые отверстия под установку рымболтов для обеспечения монтажа и демонтажа АФАР. Подводы охлаждающей жидкости, проводов электропитания разнесены с подводом проводов с функциональными связями по разным сторонам столбцов АФАР. Для функционирования ППМ необходимо обеспечить его нормальный тепловой режим. Для теплоотвода используются элементы СЖО в виде плоских труб из нержавеющей стали сечением 25х3мм и стенками толщи-

ной 0,25 мм. Подобная конфигурация элементов охлаждения обеспечивает размещение трубы охлаждения в нише несущей балки. Под рабочим давлением в ~2 ати стенка трубы плотно прилегает к поверхности ППМ в зоне расположения СВЧ-усилителей и обеспечивает эффективный отвод тепла от ППМ, корпус которого выполнен из алюминиевого сплава с достаточно хорошей теплопроводностью. При этом каждый столбец охлаждается входной и выходной трубой, что обеспечивает равномерный съём тепла со всех ППМ в столбце.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Кашин В.А., Голубцов Е.А., Кормилицын А.С., Попов В.М., Шумилов В.Ф.** Особенности создания АФАР сантиметрового диапазона с купольной линзой для РЛС ближнего радиуса действия // Журнал «Антенны». – М.: Радиотехника, 2015, выпуск 2(213).
2. **Scott R., Lok J.J.** Multifunction radars ready to realize their potential // *Jane's Navy International*. 2003. July/August. – P.16.

APAA ARRAY ARRANGEMENT WITH SHORT-RANGE RADAR OPTICAL CONNECTION. TRANSCIEIVING MODULES COOLING IN APAA STRUCTURE

U.A. Kudoyarov, A.A. Korolev, E.A. Golubtcov, V.A. Kashin, A.S. Kormilitcin, V.M. Popov

Previously, neither in our country nor abroad, there haven't been developed any of X-band APAA with optical connection. The APAA structure comprises the antenna array with TSM and LCS elements fixed on flange for installation of MF radar on antenna platform. The TSM is a 4-channel microwave amplifier with optical connection and vacuum induction melting (ВИП) integrated in general body frame. The APAA main structure elements are: ready-assembled TSM with radiating elements (hereafter as TSM); flat round bearing plate (APAA flange); set of column bearing profile beams; beams clamping elements; column connection lines; LCS system elements (inlet and outlet manifolds, flat pipes). The flat bearing plate has mounting holes for installation of column bearing profile beams set comprising the antenna array. The holes, arranged on perimeter of bearing plate, provide the APAA mounting to antenna platform. Besides, the threaded holes on bearing plate are envisaged for eyebolts installation for APAA assembly and disassembly. The lead of cooling liquid, power cables are spaced with lead of functional connection cables by different sides of the APAA columns. For TSM functioning it's necessary to provide normal thermal conditions. The LCS elements are used for heat removal in the form of stainless steel flat pipes with 25x3 mm profile and 0,25 mm walls thickness. Such configuration of cooling elements provides the cooling pipe allocation in niche of bearing beam (Fig. 7). Under working pressure of 2 gauge atmosphere, the pipe wall fits tight to TSM surface in mounting zone of microwave amplifiers (Fig. 8) and provides an effective heat removal from TSM, the body frame of which is made of aluminum alloy with plenty good enough thermal conductivity. Herewith each column is cooled with inlet and outlet pipe that provides uniform heat pickup from all TSMs in the column.

Поступила 17 мая 2016 года.

УДК 51.74

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПРОГРАММИРУЕМОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО СПОСОБА ОЦЕНКИ СОВОКУПНОГО ИЗНОСА

© Авторы, 2016

А.Л. Кунтуров кандидат военных наук,
начальник информационно-аналитического центра, АО «ВНИИРА», г. Санкт-Петербург
E-mail: kunturov@rambler.ru

С.А. Кунтуров
магистрант, СПбГУАП, г. Санкт-Петербург

В статье предлагается новый подход к оценке совокупного износа деталей механизмов машин на основании разработанной структурной схемы программируемого диагностического способа оценки совокупного износа. Использование данного подхода служит для поддержки принятия оптимальных решений при оценке состояния и обоснования возможности продления ресурса эксплуатации деталей механизмов машин.

Ключевые слова: структурная схема, диагностический способ оценки совокупного износа, технология оценивания совокупного износа деталей механизмов машин, коэффициент совокупного износа.

The paper proposes a new approach to the assessment of overall wear of machines mechanism parts based on developed block diagram of a programmable diagnostic method for the overall wear and tear evaluation. The use of this approach is to support optimal decisions making at state evaluation and justification of the operational life extending possibility of machines mechanical parts.

Keywords: block diagram, evaluation diagnostic method of overall wear, overall wear of machines mechanism parts evaluation technique, overall wear-out factor.

В комплексе мероприятий, направленных на решение вопросов повышения качества и эффективности диагностики износа деталей механизмов машин, важную роль играет оценка совокупного износа, диагностика которого вместе с прогнозом продления ресурса деталей механизмов машин вызывает серьезные затруднения. В работе предлагается новый подход к оценке совокупного износа деталей механизмов машин на основании разработанной структурной схемы программируемого диагностического способа оценки совокупного износа. Представлена разработанная структурная схема программируемого диагностического способа оценки совокупного износа, отражающая последовательность оценивания совокупного износа деталей механизмов машин в программируемой среде. Схема включает: блок диагностики, блок расчёта коэффициента совокупного износа, блок прогноза. Результирующим показателем оценки совокупного износа деталей машин служит коэффициент совокупного износа G . Использование данного подхода служит для поддержки принятия оптимальных решений при оценке состояния и обоснования возможности продления ресурса эксплуатации деталей механизмов машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кунтурова Н.Б., Кунтуров С.А. Расчёт совокупного износа деталей механизмов машин // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015, Вып. 648. – С.153–157.
2. Смоляк С.А. Модели оценки износа машин и оборудования – II // Анализ и моделирование экономических процессов. – М.: ЦЭМИ РАН, 2010, Вып. 7.
3. Ковалев А.П., Кушель А.А., Королев И.В. и др. Практика оценки стоимости машин и оборудования: учебник / под ред. М.А. Федотовой. – М.: Финансы и статистика, 2005.

PROGRAMMABLE DIAGNOSTIC ESTIMATION METHOD STRUCTURAL SCHEME OF OVERALL WEAR

A.L. Kunturov, S.A. Kunturov

The complex of measures aimed at addressing the issues of quality and efficiency improving of machines mechanism parts wear diagnostic the overall wear evaluation plays an important role, the diagnostic method of which, together with the machines mechanism parts life extension prediction, causes serious difficulties. The paper proposes a new approach to the assessment of overall wear of machines mechanism parts based on developed block diagram of a programmable diagnostic method for the overall wear and tear evaluation. The developed structural diagram of a programmable diagnostic method for overall wear evaluation, reflecting the evaluation sequence of machines mechanism parts overall wear in programmable environment. The scheme includes: diagnostic unit, overall wear coefficient calculating unit, prediction unit. The resulting indicator for machines mechanism parts overall wear evaluation is the overall wear coefficient G . The approach implementation serves for optimal decisions making support at state evaluation and justification of the operational life extending possibility of machines mechanical parts.

Поступила 3 февраля 2016 года.

УДК 621.396.677.494

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ СВЕРХШИРОКОУГОЛЬНОГО АФУ ДЛЯ ПРИЁМОПЕРЕДАЮЩИХ АФАР

© Авторы, 2016

В.А. Николаев доктор технических наук,
ведущий научный сотрудник, ОАО «НПК «НИИДАР», г. Москва
E-mail: nikolaev@niidar.ru

Л.Г. Миклашевская
инженер, ОАО «НПК «НИИДАР», г. Москва

Д.В. Ботов
инженер, ОАО «НПК «НИИДАР», г. Москва

Рассматривается возможность оптимизации структуры сверхширокоугольного АФУ с сектором обзора 120° в целях повышения качества радиотехнических характеристик.

Ключевые слова: активная фазированная антенная решётка, парциальная диаграмма направленности, потери на рассогласование.

The article states composition improvement possibility of super wide-angle antenna feeder system (APS) with 120 degrees of coverage sector in order to increase the radio-radar characteristics quality.

Keywords: active phased-array antenna (APAA), partial directional pattern, mismatch losses.

При построении сверхширокоугольных АФАР с сектором обзора 120° и максимальным углом сканирования ДН на $\pm 60^\circ$ обычно стараются ограничиться АФУ с одним раскрывом.

При этом для расширения парциальной ДН одного излучателя в составе АР применяют $\lambda/4$ штыри, устанавливаемые между излучателями, или используют вибраторы с наклонными плечами.

Однако, как показали исследования, неравномерность потенциала РЛС в приёмопередающем режиме на краях заданного сектора обзора может достигать 16 дБ. Поэтому, для обеспечения дееспособности станции во всём заданном секторе обзора (равновероятное обнаружение целей) необходим четырёхкратный запас по мощности.

Для устранения этого недостатка АФУ с одним раскрывом предлагается использовать АФУ с двумя раскрывами, в каждом из которых максимальный угол сканирования не превышает 30°. Благодаря этому, в обеих подрешётках, за счёт более редкого расположения излучателей, общий объём аппаратуры остается таким же, как и в случае АФУ с одним раскрывом.

Увеличение шага размещения излучателей в подрешётках позволяет снизить взаимное влияние, что обеспечивает лучшее согласование излучателей, увеличивает их относительный коэффициент направленного действия, а также улучшает теплообмен.

Следует отметить, что использование двух раскрывов в АФУ не приводит к увеличению количества дорогостоящей аппаратуры (излучателей, передатчиков, приёмников), а требует только дополнительных металлоконструкций для второй подрешётки.

Имеются и другие преимущества применения АФУ с двумя раскрывами: увеличение количества одновременно регистрируемых целей при сокращении времени обзора пространства в два раза, улучшение разрешающей способности РЛС.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Николаев В.А.** Особенности возбуждения турникетного излучателя в приёмопередающей активной ФАР // Труды XVIII международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь» («RLNC-2012») – Воронеж, 2012.
2. **Марков Г.Т.** Антенны. – М.: Госэнергоиздат, 1960.

SUPERWIDE-ANGLE ANTENNA PHASED ASSEMBLY COMPOSITION IMPROVEMENT FOR TRANSCIVING АРАА

V.A. Nikolaev, L.G. Miklashevskaya, D.V. Botov

In case of super wide-angle active phased array antenna design with 120° angular field of view and directional pattern maximum scan angle of $\pm 60^\circ$ the antenna-feeder system is usually limited with a single aperture.

Herewith, to extend the partial directional pattern of a single emitter in antenna array structure the $\lambda/4$ whips are used which installed between the emitters or dipoles with inclining arms are used.

However, the studies have shown that the radar potential nonuniformity in transceiving mode at edges of predetermined field of view can reach 16 dB. Therefore, to ensure the station capacity of overall predetermined field of view (equiprobable target detection) the quadruple power margin is required. In order to remove the shortcoming of antenna-feeder system with one aperture it's suggested to the APS with two apertures, the each maximum scan angle of which not exceeding 30° . Thereby, in both subarrays, due to rarer emitter's arrangement, the total equipment amount remains the same as in the case with single aperture APS.

The spacing enlargement of emitters arrangement in subarrays allows to reduce the mutual influence that provides the best emitters interfacing, increases its relative directive gain and improves the heat-exchange as well.

It should be noted that the usage of two apertures in APS doesn't lead to expensive equipment amount increasing (emitters, transmitters, receivers), but only requires additional metal structures for the second subarray. There are other advantages of two aperture APS usage: increasing the number of simultaneously detected targets by twofold time reducing of area survey; improvement the radar resolution capability.

Поступила 7 апреля 2016 года.

УДК 621.391:621.396.96

АВТОКОМПЕНСАТОРЫ ДОПЛЕРОВСКОЙ ФАЗЫ ПАССИВНЫХ ПОМЕХ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

© Автор, 2016

Д.И. Попов доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры радиотехнических систем, ФГБОУ ВО «РГРТУ», г. Рязань
E-mail: adop@mail.ru

Методом максимального правдоподобия синтезированы дискриминаторы и предложены принципы построения и структурные схемы на их основе автокомпенсаторов доплеровской фазы пассивных помех с обратной связью. Проведён анализ точности автокомпенсации в зависимости от свойств помехи и параметров узлов предложенных автокомпенсаторов.

Ключевые слова: автокомпенсаторы, дискриминаторы, доплеровская фаза, обучающая выборка, пассивные помехи, точность компенсации, устойчивость.

Through the maximum likelihood method the discriminators were synthesized and the design concept and structural schemes of close-loop clutter Doppler phase autocancellers were suggested basing on it. The analysis of self-cancellation accuracy was carried out depending on clutter properties and nodes parameters of proposed autocancellers.

Keywords: autocancellers, discriminators, Doppler phase, training sample, clutter, cancellation accuracy, robustness.

В статье методом максимального правдоподобия синтезированы дискриминаторы и предложены принципы построения и структурные схемы автокомпенсаторов доплеровской фазы пассивных помех с обратной связью. Автокомпенсаторы позволяют существенно упростить адаптивные режекторные фильтры путём их выполнения с действительными весовыми коэффициентами. Проведён анализ точности автокомпенсации в зависимости от свойств помехи и параметров узлов автокомпенсаторов.

Принципы построения и структурные схемы автокомпенсаторов с обратной связью, предложенные на основе синтезированных дискриминаторов, допускают широкий выбор структур и параметров их узлов в зависимости от требований к точности компенсации, длительности процесса установления и сложности аппаратной реализации.

Использование упрощённого дискриминатора приводит к несущественному снижению точности компенсации, позволяющему рекомендовать его для практического применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по радиолокации: в 2 кн. Кн. 1 / под ред. М.И. Сколника; пер. с англ. под ред. В.С. Вербы. – М.: Техносфера, 2014. – 672 с.
2. **Попов Д.И.** Синтез и анализ эффективности систем адаптивной междупериодной обработки сигналов на фоне помех с неизвестными корреляционными свойствами // Радиотехника и электроника. – 1983, Т. 28, № 12. – С. 2373–2380.
3. **Попов Д.И.** Адаптивные режекторные фильтры с комплексными весовыми коэффициентами // Вестник Концерна ПВО «Алмаз – Антей». – 2015, № 2(14). – С.21–26.
4. **Попов Д.И.** Автокомпенсаторы доплеровской фазы пассивных помех с прямой связью // Вестник Концерна ПВО «Алмаз – Антей». – 2015, № 3(15). – С.76–80.
5. А. с. № 687941 СССР, МПК5 G 01 S 7/36, H 04 B 1/10. Устройство для подавления пассивных помех / Д. И. Попов; заявл. 19.09.1977; опубл. 30.09.1980, Бюл. № 36. – 13 с.
6. А. с. 711849 СССР, МПК6 G 01 S 7/36, G 01 S 13/52. Устройство для подавления пассивных помех / Д.И. Попов; заявл. 25.11.1977; опубл. 27.11.1998, Бюл. № 33. – 10 с.
7. А. с. 875960 СССР, МПК6 G 01 S 7/36, G 01 S 13/52. Устройство для подавления пассивных помех / Д.И. Попов; заявл. 07.01.1980; опубл. 27.11.1998, Бюл. № 33. – 11 с.
8. А. с. 633353 СССР, МПК6 G 01 S 7/292. Устройство цифровой когерентной обработки сигналов / Д.И. Попов; заявл. 12.07.1976; опубл. 27.11.1998, Бюл. № 33. – 9 с.

CLOSED-LOOP CLUTTER DOPPLER PHASE AUTOCANCELERS

D.I. Попов

The article considers the maximum likelihood method through which the discriminators were synthesized and the design concept and structural schemes of close-loop clutter Doppler phase autocancellers were suggested basing on it. The autocancellers permit to significantly simplify an adaptive notch filters through its running with actual weight coefficients. The analysis of self-cancellation accuracy was carried out depending on clutter properties and autocancellers nodes parameters.

The closed-loop autocancellers design concept and structural schemes, proposed on the basis of the synthesized discriminators, allow an extensive selection of structures and parameters of its nodes depending on requirements to cancellation accuracy, duration of adjustment process and complexity of hardware implementation.

The usage of simplified discriminator leads to inessential accuracy decreasing of cancellation permitting to recommend it for practical implementation.

Поступила 13 июля 2016 года.

УДК 621.396.967

ВЫДЕЛЕНИЕ ПАРЦИАЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИНТЕЗИРУЕМОЙ ВИРТУАЛЬНОЙ АПЕРТУРЫ АНТЕННЫ РЛС

© Авторы, 2016

В.И. Порсев доктор технических наук,
зам. генерального директора по научной работе, АО «ВНИИРТ», г. Москва

А.И. Гелесев доктор технических наук,
начальник сектора, АО «ВНИИРТ», г. Москва

Е.П. Ворошилин кандидат технических наук,
начальник сектора, АО «ВНИИРТ», г. Москва

А.И. Сивков
ведущий инженер, АО «ВНИИРТ», г. Москва

А.Р. Молочников
инженер 1 категории, АО «ВНИИРТ», г. Москва
E-mail: a.molochnikov@inbox.ru

В статье проводится рассмотрение новых подходов к решению задачи выделения парциальных траекторий из близкорасположенных подвижных объектов. Авторами проведён обзор известных подходов к решению этой задачи. Результаты моделирования подтверждают, что рассмотренные подходы позволяют: уменьшить интервал времени, необходимый для выделения парциальных траекторий, за счёт совместной адаптивной обработки оценок дальности, радиальной скорости, азимута и угла места; увеличить угловую разрешающую способность и точность оценок угловых координат за счёт применения виртуальной апертуры.

Ключевые слова: радиолокатор, траектория, группирование, радиальная скорость, сверхразрешение, виртуальная апертура.

The article considers new approaches to problem solving of partial trajectories discrimination (extraction) from closely spaced moving objects. The authors review the known approaches to the problem solving. The modeling results confirm that examined approaches permit: to reduce time interval, necessary for partial trajectories discrimination through combined adaptive processing of range estimations, radial velocity, azimuth and elevation; to increase the angular resolution and angular coordinates estimations accuracy due to usage of virtual aperture.

Keywords: radar, trajectory, classification (clustering), radial velocity, superresolution, virtual aperture.

Необходимая точность определения координат баллистического объекта напрямую зависит от способности радиолокатора разрешать элементы сложных целей и воссоздавать траектории их движения.

Рассмотрен способ выделения парциальных траекторий из разрешённых элементов, реализованный в двух алгоритмах: с разбиением входных замеров на группы только по экстраполированной дальности и с дополнительным учётом радиальной скорости. Проведено моделирование и сравнительный анализ этих алгоритмов.

Для получения сверхразрешения по угловым координатам рассмотрен метод экстраполяции сигналов каналов виртуальной апертуры, использующий сигналы каналов реальной апертуры антенной решётки. Данный метод позволит повысить угловое разрешение источников сигналов за счёт формирования виртуальной апертуры антенной решётки не менее чем в 3-5 раз. Представлены результаты моделирования алгоритма, подтверждающие реализуемость предлагаемого метода.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Саврасов Ю.С.** Алгоритмы и программы в радиолокации. – М.: Радио и связь, 1985.
2. **Алферьев В.Л.** Вариационные задачи на траекториях движения космических объектов // Сборник трудов «Методология системных исследований. Теоретические вопросы физики, баллистики» (Москва). – М.: Издательство «ПСТМ», 2011, Выпуск 20. – С.4–30.
3. **Алферьев В.Л.** Свойства матриц частных производных на кеплеровой дуге // Труды РТИ им. академика А.Л. Минца. – М., 2011, вып.3(47).

4. Есть ли в России современное гидроакустическое вооружение? // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://vpk.name/news/109649_est_li_v_rossii_sovremennoe_gidroakusticheskoe_vooruzhenie_chast_3.html. ЗАО «НПП «СОЮЗ». 04.05.2014.
5. **Лаговский Б.А.** Сверхразрешение на основе синтеза апертуры цифровыми антенными решетками // Журнал Антенны. – М.: Радиотехника, 2013, № 6.
6. **Зацерковский Р.А., Ковальчук К.В., Смидович О.В.** Метод фантомов для разреженных антенных решеток // Гидроакустичний журнал «Проблеми, методи та засобидосліджень Світового океану». – 2010. № 7.

PARTIAL TRAJECTORIES DISCRIMINATION USING RADAR ANTENNA SYNTHESIZED VIRTUAL APERTURE

V.I. Porsev, A.I. Gelesev, E.P. Voroshilin, A.I. Sivkov, A.R. Molochnikov

The necessary accuracy of ballistic object positioning directly depends on radar resolution capability of complex target elements and reconstruction capability of its movement pattern.

The partial trajectories partition technique from resolved elements was examined. The technique is realized in two algorithms: with input measurements partition into groups by extrapolated range and by radial velocity. The modeling and comparative analysis of these algorithms was performed.

To get an angular coordinates superresolution the signals extrapolation method of virtual aperture channels was examined. The method permits to increase the angular resolution of signal sources via antenna array virtual aperture forming not less than in 3-5 times. The algorithm modeling results were presented confirming the feasibility of proposed technique.

Поступила 19 мая 2016 года.

УДК 621.396.969.12

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОБНАРУЖЕНИЯ И ТОЧНОСТИ УГЛОВОГО ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОЛОКАТОРА

© Авторы, 2016

В.Т. Яковлев доктор технических наук,
начальник научно-технического отдела, АО «ВНИИРА», г. Санкт-Петербурга
E-mail: aspirantura@vniira.ru

А.А. Топилин
инженер, АО «ВНИИРА», г. Санкт-Петербурга
E-mail: slavjanin@bk.ru

Представлен анализ алгоритмов сигнальной обработки с целью улучшения характеристик обнаружения и точности измерения азимута радиолокатором при наличии дополнительной фильтровой обработки. Анализ выполнен на основе результатов имитационного моделирования в среде Matlab и сопровождается описанием когнитивной модели исследуемых алгоритмов. Предложенные алгоритмы доступны для практической реализации на современной электронной базе.

Ключевые слова: фильтрация, сигнальная обработка, обнаружение, измерение.

The analysis of signal processing algorithms was performed in order to improve the detection characteristics and azimuth measurement accuracy by the radar with presence of additional filter processing. The analysis was carried out on the basis of simulation modelling results in Matlab and accompanied by the cognitive model description of studied algorithms. The suggested algorithms are available for practical realization on the modern electronic base.

Keywords: filtration, signal processing, detection, measurement.

Проблема повышения дальности действия и точности измерения координат традиционного возникла при проектировании и модернизации систем радиолокации и является актуальной. Авторы приводят сравнительный анализ алгоритмов сигнальной обработки с целью решения данной проблемы. Предложенные в статье методы обработки доступны для практической реализации на современной электронной базе, например, на микросхемах программируемой логики.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Коростелев А.А. и др.** Теоретические основы радиолокации / под ред. В. Е. Дулевича. – М.: Сов. радио, 1978. – 608 с.
2. **Акимов П.С. и др.** Обнаружение радиосигналов / под ред. А. А. Колосова. – М.: Радио и связь, 1989. – 288 с.
3. **Шебшаевич В.С. и др.** Сетевые спутниковые радионавигационные системы / под ред. В. С. Шебшаевича. – М.: Радио и связь, 1993. – 408 с.
4. **Бакитко Р.В. и др.** ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. – М.: Радиотехника, 2005. – 688 с.
5. Прикладная наука и организация производства: монография. – СПб.: ГУАП, 2011. – 310 с.: ил.
6. Справочник по радиолокации: пер. с англ. / под ред. М. Скольника. – М.: Сов. радио, 1978, Т.1.

ANALYSIS OF RADAR DETECTION CHARACTERISTICS AND ANGULAR MEASUREMENT ACCURACY

V.T. Yakovlev, A.A. Topilin

The problem in increasing the coverage and coordinates measurement accuracy traditionally arises during radio detection and ranging systems design and modernization and is still relevant. The authors provide the signal processing algorithms comparative analysis to solve this problem. The suggested processing methods in the article are available for practical realization on the modern electronic base, for example, on chips of programmable logic.

Поступила 21 апреля 2016 года.

ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 621.394.76

СПОСОБ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ УЗЛА КОММУТАЦИИ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ОЧЕРЕДЕЙ

© Авторы, 2016

Д.Ф. Ткачев кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург
E-mail: dimas.portnoy@inbox.ru

А.Ф. Ткачев
инженер, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург
E-mail: aleks.tk@mail.ru

Представлен способ, позволяющий распределять ресурсы узла коммутации инфокоммуникационной сети специального назначения в зависимости от требований к качеству обслуживания.

Ключевые слова: инфокоммуникационная сеть специального назначения, узел коммутации, трафик, качество обслуживания, алгоритмы организации и планирования очередей.

The article proposes the process permitting to allocate switching node resources of special-purpose info-communication network depending on requirements to service quality.

Keywords: special-purpose info-communication network, switching node, traffic, quality of service (QoS), organization and queues planning algorithms.

На основе анализа существующих механизмов по оценке и обеспечению качества обслуживания речевого трафика, которые рассчитаны на функционирование сетей связи в условиях повседневной деятельности мирного времени и не учитывают особенности инфокоммуникационной сети специального назначения, а также не в полной мере позволяют обеспечить выполнение требований по качеству обслуживания трафика в режиме реального времени, было принято решение о необходимости совершенствования методического аппарата оценки и обеспечения качества обслуживания трафика в условиях изменяющейся пользовательской нагрузки.

В статье описан разработанный способ распределения ресурсов узла коммутации инфокоммуникационной сети специального назначения на основе динамического планирования обслуживания очередей, который осуществляет перераспределение ресурсов узла коммутации, выделенных потокам трафика, в зависимости от требований к качеству обслуживания, предъявляемых к каждому потоку, а также с учётом экспресс-оценки качества обслуживания трафика в режиме реального времени на основе предложенной методики оценки.

Особенностью предлагаемого способа является то, что в процессе поступления пакетов осуществляется контроль загрузки узла коммутации и, в случае превышения текущей загрузкой допустимого значения, происходит ограничение доступа трафика низкоприоритетных пользователей к ресурсам узла коммутации. Входящий трафик делится на классы в зависимости от класса обслуживания, а поток каждого класса – на группы в зависимости от приоритета пользо-

вателя. Перед началом передачи пакетов каждому классу и каждой группе трафика выделяют часть ресурсов узла коммутации – время обслуживания, в течение которого пакеты будут поступать на обслуживание, и буферное пространство узла коммутации – буфер определённой длины. Данные ресурсы изменяются динамически с учётом текущего значения интегрального показателя качества обслуживания трафика для каждого класса и отдельно для каждой группы, а также со степенью использования ресурсов узла коммутации.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Воробьев И.Г., Лисейкин Р.Е., Ткачев Д.Ф.** Концептуальные подходы к построению региональной защищённой мультисервисной сети связи // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании // III международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. – СПб.: СПбГУТ, 2014. – С.222–224.
2. **Воробьев Л.В., Ткачев Д.Ф.** Построение модели инфокоммуникационной сети специального назначения // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании // III международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. – СПб.: СПбГУТ, 2014. – С.767–771.
3. **Воробьев Л.В., Ткачев Д.Ф.** Модель инфокоммуникационной сети специального назначения по оценке качества обслуживания трафика реального времени и данных // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов. – Наука и образование, 2014, № 9(64). – С.23.
4. **Ткачев Д.Ф.** Методика оценки качества обслуживания речевого трафика // Итоги науки и техники: Научно-технический сборник № 89. Труды академии. – СПб.: ВАС, 2015. – С.18–23.
5. **Ткачев Д.Ф.** Модель инфокоммуникационной сети специального назначения // Сборник трудов Всероссийской научной конференции «Современные тенденции развития теории и практики управления в системах специального назначения». – М.: ОАО «Концерн «Системпром», 2014. – С.350–365.
6. **Воробьев Л.В., Ткачев Д.Ф.** Предложение по реализации механизмов обеспечения качества передачи речи в инфокоммуникационных сетях специального назначения // Т-Com: Телекоммуникации и транспорт. – 2015, Т. 9, № 1. – С.28–31.
7. **Ткачев Д.Ф.** Оценка качества передачи речи в инфокоммуникационных сетях специального назначения // Техника и технология: новые перспективы развития. – 2014, № XV. – С.44–47.
8. **Ткачев Д.Ф.** Устройство оценки качества передачи речи в инфокоммуникационных сетях специального назначения // Итоги науки и техники: Научно-технический сборник № 87. Труды академии. – СПб.: ВАС, 2015. – С.312–317.
9. **Ткачев Д.Ф.** Планирование эксперимента на модели инфокоммуникационной сети специального назначения // Наука и образование: тенденции и перспективы: материалы Международной научно-практической конференции. – Уфа: РИО ИЦИПТ, 2014. – С.157–160.
10. **Ткачев Д.Ф., Ткачев А.Ф.** Динамическое планирование обслуживания очередей // Сборник трудов юбилейной 70-й Всероссийской научно-технической конференции, посвященной Дню радио. – СПб.: ООО «АСТ», 2015. – С.134–135.

PROCESS OF SWITCHING NODE RESOURCES ALLOCATION OF SPECIAL-PURPOSE INFO-COMMUNICATION NETWORK ON THE BASIS OF QUEUES SERVICE DYNAMIC SCHEDULING

D.F. Tkachev, A.F. Tkachev

Based on the existing mechanisms analysis on assessment and ensuring of voice traffic service grade, which are designed for the operation of communication networks in everyday peacetime activities, and do not consider the peculiarities of special-purpose info-communication network and are not fully allow for compliance with the requirements on the traffic service quality in real time, the decision was made on the necessity to improve the methodical evaluation instrument and traffic service quality support in conditions of changing user load.

This article describes a developed resources allocation method of special-purpose info-communication network switching node based on queue service dynamic scheduling, which carries out the switching node resources distribution, allocated to traffic flows, depending on the requirements to service quality for each flow, and with regard to rapid assess of the traffic service quality in real time mode based on the proposed assessment methodology as well.

A special feature of the proposed method is that during the package receipt process the switching node download control is carried out, and in case of exceeding the permitted value of current load, the traffic access restriction of low-priority users to switching node resources is done. Incoming traffic is divided into classes depending on the service class, and the flow of each class – into groups according to the user priority. Before onset of packets transmitting the switching node resources portion is allocated for each traffic class and each traffic group – service time, during which the packets will come for service, and switching node buffer space – a buffer of a certain length. These resources are changed dynamically based on the traffic QoS integral parameter current value for each class and separately for each group, and with the utilization degree of switching node resources as well.

Поступила 18 марта 2016 года.

УДК 621.396.962.23

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАДИОСИСТЕМ БЛИЖНЕГО ДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

© Автор, 2016

Е.Г. Токарев

начальник группы, АО «МКБ «Факел», г. Химки, Московская обл.

E-mail: Tokarev.Eugene@gmail.com

Проведение натурных экспериментов для оценки возможности выполнения требований тактико-технических заданий (ТТЗ) к зенитным управляемым ракетам (ЗУР) в полном объеме требует больших материальных и временных затрат. Наименьшее количество натурных лётных экспериментов в процессе разработки проводится в полной комплектации ЗУР. Это обстоятельство не позволяет гарантированно проверить полноценную работоспособность ЗУР, в особенности аппаратуру системы подрыва на базе различных радиосистем ближнего действия (РБД). В рамках статьи рассмотрены принципы построения аппаратно-программного комплекса (АПК), позволяющего проводить полунатурное моделирование РБД различного типа. Моделирование требует существенно меньших затрат, чем проведение натурных работ, и позволяет достоверно прогнозировать функционирование как РБД в целом, так и её подсистем, практически для любых условий их применения. Приведены основные принципы и особенности работы АПК, его функциональная схема.

Ключевые слова: радиосистема ближнего действия, полунатурное моделирование, бортовая аппаратура ЗУР, имитационная модель отражённого сигнала.

The realization of full-scale experiments for possibility assessment of requirements fulfilment of request for proposals (RFP) to surface-to-air missiles (SAM) at full-scale requires time and material expenses. The minimal amount of full-scale flight tests at development stage are conducted in full configuration of surface-to-air missile. This fact doesn't permit to guaranteed check the surface-to-air missile functionability especially the fuze system equipment on the base of different short-range radio systems (SRS). Within the article frameworks the hardware-software complex (HSC) design principles are examined permitting to carry out the semirealistic simulation of different type SRS. The modeling requires less expanses than conducting of full-scale experiments, and permits reliably predict the functioning of the SRS as a whole, and its subsystems, sensibly for any conditions of its application.

Keywords: short-range radio system, semirealistic simulation, surface-to-air missile airborne equipment, simulation model of return signal.

В статье рассматриваются проблемы оценки выполнения требований тактико-технических заданий (ТТЗ) к зенитным управляемым ракетам (ЗУР) в рамках опытно-конструкторских работ (ОКР). В целях экономии материальных и временных затрат на осуществление ОКР широко используется метод проведения полунатурного моделирования работы блоков бортовой аппаратуры (БА) в различных условиях применения ЗУР. С учётом того, что системы подрыва на базе различных радиосистем ближнего действия (РБД) используются в ограниченном количестве натурных лётных экспериментов в рамках ОКР, моделирование работы таких систем имеет немаловажную роль. В статье предлагаются основные принципы построения аппаратно-программного комплекса (АПК) полунатурного моделирования РБД и пример практической реализации описанного подхода при создании имитационных моделирующих стендов.

В статье формулируются основные цели и задачи полунатурного моделирования РБД, а также типовые условия применения ЗУР, которые могут быть симитированы на АПК. Отмечены недостатки моделирования и пути их нивелирования. Сформулированы основные требования и общая концепция построения АПК – использование многофункциональной платформы РХИ (универсальная часть АПК) в сочетании со специализированными СВЧ-блоками, учитывающими особенности работы конкретного РБД. В статье рассматриваются вопросы полунатур-

ного моделирования работы РБД двух вариантов исполнения: фазодоплеровского типа с непрерывным подсветом; импульсного типа с использованием сигнала с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ). Представлены структурно-функциональные схемы АПК для обоих вариантов.

Рассмотренные в статье принципы построения АПК полунатурного моделирования РБД позволяют существенно снизить затраты на проведение ОКР за счёт минимизации количества натуральных лётных экспериментов в полной комплектации ЗУР и использования унифицированной части АПК для моделирования работы РБД различных типов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. ИСО 9000:2000.
2. **Борзов А.Б., Быстров Р.П. и др.** Миллиметровая радиолокация: методы обнаружения наведения в условиях естественных и организованных помех. – М.: Радиотехника, 2010.
3. **Борзов А.Б., Соколов А.В., Сучков В.Б.** Цифровое моделирование входных сигналов систем ближней радиолокации от сложных радиолокационных сцен / «Журнал радиоэлектроники». – 2004, №4.

HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX DESIGN CONCEPT OF SEMIREALISTIC SIMULATION OF DIFFERENT TYPE SHORT-RANGE RADIO SYSTEMS

E.G. Tokarev

The article states the assessment problem of request for proposals (RFP) requirements fulfillment to surface-to-air missiles (SAM) in the frames of research and development works (R&D). In order to save time and material expanses for R&D the semirealistic simulation method of onboard equipment (OE) blocks operation in different conditions of SAM utilization is widely used. Given that the fuze systems on the base of different short-range radio systems (SRS) are used in limited amount of full-scale flight experiments in the frames of R&D works, the operation modeling of such systems has a not insignificant role. The article suggests the basic design principles of hardware-software complex (HSC) of SRS semirealistic simulation and example of practical implementation of described method during build-up of simulation modeling stands.

The main tasks and purposes of the SRS semirealistic simulation are formulated in the article as well as typical conditions of SAM utilization which could be simulated on HSC. The modeling shortages and its elimination techniques were mentioned. The main requirements and general conception of HSC design were formulated – the PXI multifunction platform usage (HSC integrated part) coupled with application-specific UHF blocks considering the operation peculiarities of certain SRS. The issues of SRS operation semirealistic simulation of two design variants are examined: phase-doppler type with continuous illumination; burst-type using the linear frequency modulation (LFM) signal. The structural-functional schemes of HSC for both variants were presented.

The examined principles of HSC design of SRS semirealistic simulation permit to essentially decrease the expanses for R&D works due to minimization of full-scale flight experiments amount in full SAM configuration and usage of HSC integrated part for SRS operation modeling of different types.

Поступила 14 апреля 2016 года.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА

УДК 623.764

ОПЫТ СОЗДАНИЯ И НАРАЩИВАНИЯ БОЕВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МНОГОРУБЕЖНОЙ ПРОТИВОРАКЕТНОЙ ОБОРОНЫ ИЗРАИЛЯ

© Авторы, 2016

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

М.В. Жестев кандидат технических наук,
первый зам. начальника, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
В.И. Колесниченко доктор технических наук, профессор,
зам. начальника, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
В.К. Новиков кандидат военных наук, доцент,
профессор, ВА РВСН им. Петра Великого, г. Москва

В статье рассматривается история создания, текущее состояние и перспективы развития противоракетной обороны государства Израиль, поставленные задачи и боевые возможности системы эшелонированной (многорубежной) противоракетной обороны (ПРО) в условиях распространения и расширения сферы применения ядерных вооружений. Показаны состав, структура, схема и принципы работы различных рубежей системы ПВО-ПРО Израиля.

Ключевые слова: противоракетная оборона, рубежи ПРО, баллистическая ракета, противоракета, противоракетный комплекс, радиолокационная станция, эффективность ПРО.

The article reviews the development history, current state and development prospects of the Israel Ballistic Missile Defense, the objectives and combat capabilities of the layered (multilayered) air and missile defense system (AMDS) in condition of proliferation and application area extension of nuclear weapons. The article covers the composition, structure, scheme and operation principles of the Israel Ballistic Missile Defense lines.

Keywords: Ballistic Missile Defense (BMD), Missile Defense lines, ballistic missile, interceptor, antiballistic missile defense system, radar station, BMD effectiveness.

На сегодняшний день Израиль занимает шестое место в мире после США, Российской Федерации, Великобритании, Франции и КНР по ядерному потенциалу. Обладая ядерным потенциалом, Израиль также целенаправленно решает задачу обеспечения обороны государства от угрозы возможного ракетного нападения вероятного противника системами наземного, воздушного и морского базирования. Данная задача реализуется посредством создания первой в мире реальной системы противоракетной обороны.

Рассматриваемая многорубежная система ПРО Израиля, обеспечивающая перехват ракет с дальностью действия от семи до двух тысяч километров, и включающая четыре рубежа перехвата целей, способна решать следующие задачи:

1. Перехват МБР, находящихся за пределами атмосферы, – система Arrow-3 («Эрроу-3»).
2. Перехват баллистических ракет средней дальности (1000-5500 км) и ББ МБР после вхождения в атмосферу – система Arrow-2 («Эрроу-2»).

3. перехват баллистических ракет малой (500-1000 км) дальности или оперативно-тактических и тактических баллистических ракет обеспечивается ЗРК Patriot PAC-3 и ЗРК David's Sling («Праща Давида»), составляющие 3-й рубеж системы ПРО.

4. Поражение неуправляемых ракет, артиллерийских и миномётных снарядов на дальности от 4 до 70 км, а также перехват самолётов, вертолётов и беспилотных летательных аппаратов на высоте до 10 км – ЗРК Iron Dome («Железный купол»).

С учётом перехвата воздушных целей системой Iron Dome можно назвать ПРО Израиля интегрированной системой ПВО-ПРО, однако так как все четыре рубежа ПРО, как предполагается, будут объединены общей сетью РЛС, связанной со спутниковой группировкой Израиля, и будут использоваться совместно, то можно говорить о многорубежной ПРО.

Кроме того, Израиль разрабатывает мобильную боевую лазерную систему под обозначением Iron Beam («Железный луч»), которую планируется использовать в составе национальной эшелонированной системы ПВО-ПРО в качестве пятого активного рубежа при перехвате целей на дальности менее семи километров.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Виктор Есин.** Тенденции развития ядерных сил в XXI веке (Первая часть). Ежедневный журнал & *Vabr.ru*, 15 октября 2007. – URL: <http://nuclearno.ru/text.asp?12253>.
2. Национальное противоракетное вооружение Израиля может сбивать спутники с орбиты. – URL: <http://topwar.ru/38420-nacionalnoe-protivoraketnoe-vooruzhenie-izrailya-mozhet-sbivat-sputniki-s-orbity.html>.
3. Израиль и США готовятся к масштабным учениям ПРО и ПВО. – URL: <http://topwar.ru/9930-izrail-i-ssha-gotoviyatsya-k-masshtabnym-ucheniym-pro-i-pvo.html> (дата обращения: 6 января 2012).
4. Израиль ускорил разработку системы противоракетной обороны Hetz-3. – URL: <http://itar-tass.com/mezhdunarodnaya-panorama/594514> (дата обращения: 4 июня 2013).
5. Радиолокационная станция дальнего обнаружения TERRA (Израиль). – URL: <http://nevskii-bastion.ru/terra-israel/> (дата обращения: 15.01.2016).
6. *Boeing* поможет Израилю создать систему ПРО «Стрела-3». – URL: [Lenta.ru](http://lenta.ru) (дата обращения: 27.01.2012).
7. **Вадим Политаев.** Железный купол Израиля. – URL: [Lenta.ru](http://lenta.ru) (дата обращения: 24.03.2008).
8. Система ПРО Хец-2. – URL: <http://topwar.ru/5174-sistema-pro-hec-2.html>.
9. Комплекс противоракетной обороны «Хец-2» / «Arrow-2». – URL: <http://ilgid.ru/science/arrow-2.html>.
10. **Виктор Мясников.** На противоракетный щит денег не жалеют. Характеристики комплекса «Эрроу-2» вызывают уважение. – Независимое военное обозрение (31 мая 2004).
11. Израиль создаст глобальную систему противоракетной обороны. – URL: <http://www.gazeta.ru> (дата обращения: 15.07.2011).
12. Израиль испытал противоракетную «Пращу Давида». – URL: http://dokwar.ru/publ/voenny_vestnik_armii_mira_izrail_ispytal_protivoraketnuju_prashhu_davida/3-1-0-1081.
13. «Праща Давида»: ракеты будут сбивать над территорией врага. – URL: MIGnews.com (дата обращения: 14.11.2012).
14. Система «Железный купол» может быть запущена уже в ноябре текущего года. – URL: <http://ru.tsn.ua/svit/izrail-zaschitit-svoi-granicy-zhelezny-kupolom.html> (21 июля 2010).
15. Противоракетный комплекс «Железный купол» (*iron dome*) (Израиль). – URL: http://bastion-karpenko.ru/iron_dome/.
16. Операция «Облачный стопп». Итоги. – URL: <http://www.politforums.ru/world/1353607593.html> (дата обращения: 03.04.2013).
17. Израиль развернет лазерную противоракетную систему. – URL: <http://rbase.new-factoria.ru/news/izrail-razvernet-lazernuyu-protivoraketnuyu-sistemu> (дата обращения: 22.01.2014).
18. **Васильев В.А., Голубчиков С.В., Новиков В.К.** Основы противодействия перспективным системам противоракетной обороны. – М.: РВСН, 2000. – 348 с.
19. **Голубчиков С.В., Новиков В.К.** Противоракетная оборона Израиля – основа тактической ПРО и ПРО на театре военных действий. – Вестник Академии Военных Наук, № 2 (43), 2013. – С.84–89.

DEVELOPMENT AND COMBAT CAPABILITIES BUILD-UP EXPERIENCE OF ISRAEL MULTIFUNCTION MULTILAYERED BALLISTIC MISSILE DEFENSE

S.V. Golubchikov, M.V. Zhestev, V.I. Kolesnichenko, V.K. Novikov

Nowadays the State of Israel ranks the sixth position in the world after the United States, Russian Federation, Great Britain, France and China in nuclear potential. With its nuclear potential Israel intentionally solves the task of defending the country against possible missile attacks of potential enemies from the land, air and sea. This task is carried out by providing the world's first real missile defense system.

The multilayered Israel Ballistic Missile Defense, enabling to intercept missiles at range of seven to two thousand kilometers and including four targets interception lines of the Israel Ballistic Missile Defense, is able to fulfill the following tasks:

- Interception of exoatmospheric intercontinental ballistic missiles – Arrow-3 system;
- Interception of intermediate range ballistic missiles (1,000 – 5,500 km) and warheads of intercontinental ballistic missiles after return to the atmosphere – Arrow-2 system;
- Interception of short-range ballistic missiles (500 – 1,000 km) or theater ballistic missile defense and tactical ballistic missile defense. Such defense is provided by the Patriot PAC-3 and David's Sling air defense systems, constituting the third line of Ballistic Missile Defense system.

Engagement of rockets, artillery and mortar projectiles at range of 4 to 70 km, as well as interception of aircraft, helicopters and unmanned drones at attitudes up to 10 km – Iron Dome air defense system.

The Israel Ballistic Missile Defense can be called as the integrated air and missile defense system taking into account air targets interception by the Iron Dome system, but since all four layers of the Ballistic Missile Defense is supposed to be integrated by a common network of radars associated with the Israel satellite constellation and to be mutually interoperable, we may talk about the Israel multilayered Ballistic Missile Defense.

Besides, Israel is developing a mobile combat laser system, known as Iron Beam, which will be integrated to the national layered air and missile defense architecture as the fifth active layer against targets at range of less than seven kilometers.

Поступила 8 февраля 2016 года.

УДК 623.55.02/623.4

СОВМЕСТНАЯ РАЗРАБОТКА США И ЯПОНИЕЙ РАКЕТЫ-ПЕРЕХВАТЧИКА SM-3 BLOCK IIA ДЛЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРО США AEGIS И AEGIS ASHORE

© Авторы, 2016

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 этапы создания и модернизации ракет-перехватчиков системы ПРО AEGIS, процесс совместной американо-японской разработки ПР SM-3 Block IIA для последующей установки на наземные комплексы ПРО AEGIS ASHORE, а также на эскадренные миноносцы ВМС США и Японии.

Ключевые слова: система ПРО, многофункциональная система управления оружием Aegis, ракета-перехватчик, кинетическая БЧ, ГСН, программа поэтапного развёртывания систем ПРО в Европе.

The article considers the AEGIS Ballistic Missile Defense System interceptors development and upgrading stages, process of joint SM-3 Block IIA interceptor development for further deployment on AEGIS ASHORE BMD systems and the US and Japan Navies destroyers.

Keywords: missile defense system, Aegis BMD Weapon System (AWS), interceptor, kinetic kill vehicle, seeker, European Phased Adaptive Program.

Наиболее перспективной системой ПРО США, обеспечивающей перехват ТБР и БРСД на среднем и конечном участке траектории полёта, является региональная система ПРО AEGIS. Одним из преимуществ данной системы является возможность её развёртывания как на боевых кораблях ВМС США (AEGIS), так и на специально оборудованных наземных военных базах (AEGIS ASHORE). В настоящее время эскадренные миноносцы оборудованы системой ПРО AEGIS с новейшей версией Многофункциональной системы управления оружием (МСУО) 5.0 CU. Основным направлением развития системы ПРО AEGIS, кроме совершенствования алгоритмов МСУО, является создание и модернизация ракет-перехватчиков комплекса.

Развёртывание данной системы в корабельной и наземной модификации на территории Европы осуществляется в рамках программы поэтапного развёртывания систем ПРО ЕРАА.

Так, кроме переоснащения кораблей, развёрнутых в Средиземном море, ПР SM-3 Block IB и развёртывания в Румынии на территории базы ВВС Девеселу комплекса ПРО AEGIS ASHORE, к 2018 году предусматривается переоснащение морских и наземных систем ПРО AEGIS ПР SM-3 Block IIA, а также развёртывание в Польше (военная база Редзиково) комплекса AEGIS ASHORE с ПР SM-3 Block IIA.

В рамках программы совместной между США и Японией разработки ПР SM-3 Block IIA, которая находится на этапе технологической разработки, предполагается повышение ТТХ ПР по сравнению с предыдущей модификацией ПР SM-3 Block IB. Противоракета SM-3 Block IIA будет интегрирована в систему ПРО AEGIS, оборудованную МСУО версии 5.1, что позволит наводить ПР на цель, используя данные с дистанционных датчиков (сценарии удалённого запуска ПР и удалённого обстрела), в связи с чем значительно увеличится дальность, на которой будет осуществляться перехват БР противника.

Несмотря на ряд возникших технических трудностей и высокую вероятность снижения бюджетного финансирования по причине перерасхода денежных средств представители Агентства ПРО США заявляют о своей готовности к 2018 финансовому году осуществить установку ПР данного типа на наземные комплексы ПРО AEGIS ASHORE, а также на эскадренные миноносцы ВМС США и Японии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Report: Japan Interested in Aegis Ashore for Ballistic Missile Defense.* – URL: <https://news.usni.org/2014/09/16/report-japan-interested-aegis-ashore-ballistic-missile-defense>.
2. *Jane's Naval Weapon Systems, IHS Jane's 2011.*
3. *Raytheon's Standard Missile-3 Is Revolutionizing Missile Defense, Raytheon 2013.*
4. *Making Sense of Ballistic Missile Defense: An Assessment of Concepts and Systems for U.S. Boost-Phase Missile Defense in Comparison to Other Alternatives, National Academic Press Washington, D.C. 2012.*
5. *SM-3.* – URL: <https://www.defenseindustrydaily.com/raytheons-standard-missile-naval-defense-family-updated-02919>.
6. *SM-3 IIA Team Completes TDACS Preliminary Design Review, 2012.* – URL: <http://raytheon.mediaroom.com/index.php?s=43&item=2064>.
7. *SM-3 Block IIA First Flight Test, 2015.* – URL: <http://www.mda.mil/news/15news0006.html>.
8. *U.S.-Japan Cooperative Development Project Conducts Successful Flight Test of Standard Missile-3 Block IIA, 2015.* – URL: <http://www.mda.mil/news/15news0009.html>.
9. *SM-3 Block 2A Flight Tests Slated To Begin This Year, 2015.* – URL: <http://spacenews.com/sm-3-block-2a-flight-tests-slanted-to-begin-this-year/#sthash.uiMV2Qyc.dpuf>.
10. *Department of Defense Fiscal Year (FY) 2016 President's Budget Submission, 2015.*
11. *Defense Programs and Budget of Japan, 2015.*
12. *Vice Admiral J.D. Syring, USN Director, Missile Defense Agency Before the House Armed Service Committee Subcommittee on Strategic Forces Thursday, March 19, 2015.*
13. *Контракты Министерства обороны США.* – URL: <http://defense.gov/contracts>.
14. *Navy Aegis Ballistic Missile Defense (BMD) Program: Background and Issues for Congress Ronald O'Rourke Specialist in Naval Affairs March 28, 2016 Congressional Research Service.*

US AND JAPAN COOPERATIVE DEVELOPMENT OF SM-3 BLOCK IIA INTERCEPTOR FOR AEGIS AND AEGIS ASHORE REGIONAL BALLISTIC MISSILE DEFENSE SYSTEMS

A.E. Svistunov, N.A. Maleeva

The most advanced US BMD system is the regional AEGIS BMD system providing interception of MRBMs and IRBMs at mid and terminal phase. One of the system advantages is its deployment possibility both on the US combat NAVY ships (AEGIS) and specially equipped surface military bases (AEGIS ASHORE). Nowadays the destroyers are equipped with AEGIS BMD system with up-to-date Aegis BMD Weapon System (AWS) 5.0 CU (Capability Update). The main AEGIS BMD system development course besides AWS algorithms updating is development and modernization of the system interceptors.

The surface- and sea-based modification versions deployment of the system on the territory of Europe is carried out in the frames of the European Phased Adaptive Program to ensure the regional BMD capabilities.

Thus, besides operating in Mediterranean ships retrofit by SM-3 Block IB interceptors and AEGIS ASHORE site construction in Romania, it's anticipated the retrofit of surface- and sea-based AEGIS BMD systems by SM-3Block IIA interceptors and deployment of another Aegis Ashore facility in Poland with SM-3Block IIA interceptors in 2018. In frames of US and Japan cooperative development program on SM-3Block IIA interceptors (engineering development stage), it's specified to increase interceptors capabilities as compared to previous SM-3 Block IB version. The SM-3Block IIA interceptor will be integrated in AEGIS BMD system equipped with AEGIS AWS 5.1 that provides to aim interceptor using remote sensors (Launch on Remote and Engage on Remote scenario) consequently the enemy ballistic missiles interception range will be sufficiently increased.

Despite of a series of emerged technical difficulties and high possibility of budget financing reduction due to funds overrun the US Missile Defense Agency representatives state its readiness to install the missiles on surface AEGIS BMD facility and the US and Japan Navies destroyers by 2018 as well.

Поступила 10 мая 2016 года.

НАУЧНЫЕ РЕЦЕНЗИИ И ОТЗЫВЫ



Елизаров В.С. Инерциальные системы управления летательных аппаратов. Комплексные имитационно-моделирующие стенды. Монография. – М.: Радиотехника, 2016. – 160 с.: ил.

Рецензенты: д-р техн. наук, профессор Е.Р. Рахтеенко, д-р техн. наук, профессор В.Я. Мизрохи.

В материалах монографии автором на примере типовой структуры инерциальной системы управления (ИСУ) летательных аппаратов рассмотрены вопросы её комплексной отладки при полунатурном моделировании на неподвижном основании. Приведены принципы построения комплексных имитационно-моделирующих стендов (КИМС) для отладки и полунатурного моделирования ИСУ, особенности структуры, программно-алгоритмического обеспечения КИМС. Проведён анализ динамических погрешностей КИМС при воспроизведении аэродинамических характеристик летательного аппарата в реальном масштабе времени, оказывающих негативное влияние на результаты отладки системы стабилизации ИСУ; предложен метод коррекции динамических погрешностей КИМС.

Книга предназначена для специалистов, занимающихся разработкой, отладкой, эксплуатацией инерциальных систем управления летательными аппаратами, а также входящих в состав инерциальных систем управления бортовых цифровых вычислительных машин и их программно-алгоритмического обеспечения. Книга может быть использована в качестве пособия при разработке КИМС ИСУ широкого класса летательных аппаратов.