

ВЕСТНИК

воздушно-космической обороны

Научно-технический рецензируемый журнал

Выпуск № 3(23), 2019 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:

Б.М. Вовшин, д-р техн. наук

М.А. Горбачёв, д-р техн. наук

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

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

А.И. Даниленко, д-р техн. наук

М.В. Жестев, канд. техн. наук

Г.В. Зайцев, д-р техн. наук

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

В.А. Кашин, д-р техн. наук, профессор

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

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

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

В.С. Оконешиников, д-р техн. наук

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

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

С.П. Соколов, д-р техн. наук

П.И. Стариковский, д-р техн. наук

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

А.А. Трухачев, д-р техн. наук

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

Технический редактор: М.А. Лайков

Корректор: А.Н. Борзова

Компьютерная верстка: О.А. Пыхонина

☎ редакции (499) 940-02-22

доб. 1-79-06, 1-14-99, 1-17-23, 1-16-00

E-mail: aspirantura@gskb.ru

izd.group@gskb.ru

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

В.И. Емелин, А.А. Кузнецов, В.Т. Яковлев

*Обоснование направлений асимметричного ответа
на развитие информационных технологий для ведения*

«сетевцентрической войны» корабельным соединением ВМФ 5

Т.П. Павлова

Методологические аспекты системного анализа

в инженерной деятельности 14

► **Применение сил и средств ВКО**

И.Г. Приступа

Метод целераспределения огневых средств ПВО

по воздушным целям противника,

обеспечивающий сохранение важнейших объектов обороны 21

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

А.Н. Бруевич

Мощность, рассеиваемая в кварцевом резонаторе

при параллельной схеме кварцевого генератора 32

Б.М. Вовшин, И.С. Вылегжанин, В.А. Атряхин,

Д.С. Гаврилов, А.Н. Корнеев

Принципы построения обзорного радиолокатора обнаружения

беспилотных летательных аппаратов 38

А.В. Голубев, А.Б. Силантьев

Особенности реализации алгоритма многообзорного наблюдения

в ходе цифровой обработки радиолокационной информации 47

С.Б. Жиронкин, А.В. Макарычев, И.Ю. Котенко

Оптимизация решений по информационным критериям

при трёхальтернативном обнаружении 53

А.М. Лаврентьев, С.А. Зайцев

Методика определения параметров зондирующего сигнала

*для минимизации воздействия пассивной помехи в фильтровых каналах,
настроенных на доплеровскую частоту 61*

Вестник воздушно-космической обороны:
Научно-технический журнал/
ПАО «НПО «Алмаз», 2019 г.
№ 3(23). С. 1–132

Подписано в печать 9.09.2019 г.
Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 7,2. Тираж 1000 экз.
Заказ №149491

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», 2019

ISSN 2311-830X

Цена за 1 экз. – 600 руб.

А.А. Николаев, Р.В. Комягин, Н.В. Дрожжина
*Измерения и анализ комплексных коэффициентов передачи каналов
перспективной АФАР*.....67

С.И. Струков, А.А. Парамонов, С.А. Литвинов
*Методика создания системы распределения сигналов
с помощью диаграммообразующей матрицы*.....77

И.С. Шурыгина, Ю.А. Хмеленко
*Амплитудно-фазовый синтез управляемых нулей
в диаграммах направленности моноимпульсной АФАР
со сложной формой раскрытия*.....83

► Прикладные задачи применения информационных технологий

В.М. Алдошин, И.И. Ковтун
*Функциональный метод сбора исходных данных
для задач оптимизации опытных производств*.....93

П.А. Созинов, А.П. Коновальчик, В.П. Саушкин
*Актуальные вопросы создания отечественной САПР
для проектирования РЛС*.....106

► Аналитические исследования зарубежного опыта

**Е.А. Лаврентьев, И.С. Вылегжанин, С.Ю. Нестеров,
Д.П. Шабанов, Е.Н. Артемова**
*Анализ тенденций уязвимости GNSS
и основные направления снижения угроз*.....120

► Научные рецензии и отзывы.....132

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

CONTENTS

► Topical issues on Aerospace defense system and elements arrangement

V.I. Emelin, A.A. Kuznetsov, V.T. Yakovlev

Validation of asymmetric respond vectors to information technology development intended to conduct «Network-centric warfare» by naval surface force5

T.P. Pavlova

Methodological aspects of system analysis in engineering activity 14

► Aerospace defense systems and components application

I.G. Pristupa

Target distribution method of air defense weapons against enemy aerial targets to protect high-priority defense facilities21

► Design-engineering and technological research works

A.N. Bruevich

Dissipated power in quartz resonator with parallel circuit of quartz oscillator32

B.M. Vovshin, I.S. Vylegzhanin, V.A. Atryakhin, D.S. Gavrilov, A.N. Korneev

Surveillance radar design concept for UAV detection38

A.V. Golubev, A.B. Silantsev

Specifics of multi-observation surveillance algorithm implementation during digital processing of radar information47

S.B. Zhironkin, A.V. Makarichev, I.U. Kotenko

Decisions optimization on information criterion at three- alternative detection53

A.M. Lavrentiev, S.A. Zaitcev

Sounding signal parameter determination technique to minimize clutter effect in filtering channels adjusted on doppler frequency61

A.A. Nikolaev, R.V. Komyagin, N.V. Drozhzhina

Measurement and analysis of complex transmission coefficient of advanced APAA channels67

S.I. Strukov, A.A. Paramonov, S.A. Litvinov

Signal distribution system engineering technique using beam-forming matrix77

I.S. Shurigina, U.A. Hmelenko

Amplitude-phase synthesis of controlled nulls in directional patterns of monopulse APAA with irregular aperture shape83

IT applied application tasks

V.M. Aldoshin, I.I. Kovtun

Functional method of Initial data gathering for pilot production optimization93

P.A. Sozinov, A.P. Konovalchik, V.P. Saushkin <i>Relevant questions of indigenous cad development for radar engineering</i>	106
► Foreign experience analytic research	
E.A. Lavrentiev, I.S. Vilegzhanin, S.U. Nesterov, D.P. Shabanov, E.N. Artemova <i>GNSS vulnerability trends analysis and main directions for threat reduction.....</i>	120
► Scientific reviews and reference.....	132

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

Распоряжением Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 28.12.2018 года № 90-р журнал «**Вестник воздушно-космической обороны**» включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

URL: <http://www.vak.ed.gov.ru/documents/10179/0/Приложение.pdf>.

Включён в перечень ВАК по группам научных специальностей:

- 05.12.00 – Радиотехника и связь;
- 05.27.00 – Электроника.

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ И СРЕДСТВ ВКО

УДК 004.77

ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ АССИМЕТРИЧНОГО ОТВЕТА НА РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ «СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОЙ ВОЙНЫ» КОРАБЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ВМФ

© Авторы, 2019

В.И. Емелин доктор технических наук, старший научный сотрудник,
ведущий специалист, АО «ВНИИРА», г. Санкт-Петербург
E-mail: emelin0841yandex.ru

А.А. Кузнецов кандидат военных наук,
начальник отдела, ООО «СЗРЦ Концерна ВКО «Алмаз–Антей», г. Санкт-Петербург
E-mail: akuznetsov@dsszrc.ru

В.Т. Яковлев доктор технических наук,
гл. научный сотрудник, научный отдел УСП, АО «ВНИИРА», г. Санкт-Петербург
E-mail: YakovlevVT@vniira.local

В статье рассматриваются два взаимосвязанных подхода к ведению «сетевцентрической войны» – современной концепции ведения боевых действий, при которой все участники (командование, военная техника, живая сила) объединены в единую информационную сеть. Первый из них предусматривает разрушение радиоэлектронной сетевцентрической системы противника. Второй – создание наиболее защищённой аналогичной системы, как совокупности оснащённых компьютерным интеллектом разнородных объектов (надводных кораблей), объединённых единой глобальной сетью и способных действовать как самостоятельно, так и в группе для достижения общей целевой функции в условиях информационного противоборства. Целью системы является повышение эффективности действий соединения надводных кораблей в условиях деструктивных информационных воздействий. Достижение поставленной цели обеспечивается путём измерения, передачи и обработки совокупности демаскирующих признаков источников радиоэлектронного излучения и принятия решения по их уничтожению у противника, а также наиболее рационального использования своих средств в реальном времени.

Ключевые слова: наукоёмкие технологии, радиоэлектронный мониторинг, деструктивное воздействие, информационное противоборство, интеллект.

The article examines two interconnected approaches to performing of «network-centric warfare» – a modern combat operations concept where all the participants (command, military hardware and personnel) are joined into single information network. The first one stipulates defeating of the enemy net-centric radioelectronic system. The second includes the buildup of the most-protected analog system as aggregate of multi-type objects (surface vessels) equipped with computer intelligence, combined in a single global network and capable to operate both autonomously and

in a group in order to achieve the common target function in information confrontation environment. The system targets to increase surface vessels operation effectiveness in destructive information influence conditions. The achievement of stated task is provided through measurement, transmitting and processing of telltale signature aggregate of radioelectronic radiation sources and via decision making on its destruction as for the enemy, both by the most rational use of resources in real time mode.

Keywords: science-driven technology, radioelectronic monitoring, destructive effect, information confrontation, intelligence.

Актуальность. Принятие на вооружение средств и систем, основанных на применении наукоемких информационных технологий, позволяет флоту России успешно решать целый ряд новых задач в войнах XXI века. Такие технологии должны быть основаны на достаточно высоком уровне знаний, которые реализуются в средствах и методах управления соединением надводных кораблей. Недооценка этой составляющей ведения войны создает опасность закупки оружия вчерашнего дня в качестве «нового», в то время как оно создавалось для других войн. В работе рассматриваются два направления развития информационных технологий, реализация которых обеспечивает выбор наиболее рациональной стратегии поведения в условиях ведения сетецентрической войны корабельным соединением ВМФ. Оба направления по сути представляют собой универсальный асимметричный ответ на широкомасштабное развитие разнородных информационных технологий за рубежом. Предложенные направления развития информационных технологий выявлены в результате анализа и синтеза современных достижений и требований к системам управления и могут быть использованы при проектировании и создании систем информационно-технической безопасности надводных кораблей.

Целью работы является формирование системы взглядов и подходов, на основе которой при проведении дальнейших исследований разрабатывается специальное математическое обеспечение для эффективного управления корабельными соединениями ВМФ.

Новизна определяется разработанной современной концепцией развития информационных технологий и систем надводных кораблей, которая, в свою очередь, тесно увязана с системой взглядов, четко определяющей облик вооруженных сил будущего.

Практическая значимость работы состоит в том, что реализация предложенных методов и средств формирования знаний в составе специального математического обеспечения позволит, с одной стороны, повысить эффективность системы управления корабельного соединения ВМФ и, с другой стороны, - в значительной степени ограничить условия, необходимые для успешного применения сетевых технологий, использование вероятным противником всех преимуществ созданной им сетецентрической среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Борисов Ю.И.** Основные направления развития вооружения, военной и специальной техники // Федеральный справочник [Электронный ресурс]. 2014. – URL: <http://federalbook.ru/files/OPK/Soderjanie/OPK-10/III/Borisov.pdf> (дата обращения 03.08.2018).
2. **Буренок В.М.** Принципы обеспечения инновационного развития Вооруженных Сил Российской Федерации // Вооружение и экономика. – 2016, №1(34). – С.3–8.
3. **Емелин В.И., Федотов А.А.** Технологии радиоэлектронного мониторинга в системах вооружения и военной техники ВМФ. – СПб.: Отраслевые журналы, 2017. – 120 с.
4. **Котенко И.В., Саенко И.Б., Юсупов Р.М.** Аналитический обзор докладов Международного семинара «Научный анализ и поддержка политик безопасности в киберпространстве» (SA&PS4CS 2010) // Труды СПИИРАН. – 2010, Выпуск 13. – С.226–248.
5. **Макаренко С.И.** Информационное противоборство и радиоэлектронная борьба в сетецентрических войнах начала XXI века. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2017. – 546 с.
6. **Юсупов Р.М.** Наука и национальная безопасность. 2-е издание. – СПб.: Наука, 2011. – 369 с.

VALIDATION OF ASYMMETRIC RESPOND VECTORS TO INFORMATION TECHNOLOGY DEVELOPMENT INTENDED TO CONDUCT «NETWORK-CENTRIC WARFARE» BY NAVAL SURFACE FORCE

V.I. Emelin, A.A. Kuznetsov, V.T. Yakovlev

The relevance. The introduction into service of systems based on science-driven information technology application permits the Russian Fleet to fulfil successfully a wide range of new tasks in XXI century wars. Such technologies should be based on quite high level of knowledge, which is implemented in controls, and control methods of naval surface force. Underestimation of this warfighting component creates a risk of yesterday weapons procurement as a «new one» while it was developed for another war. The article examines two development directions of information technology the implementation of which provides the selection of the most rationale behavior strategy in network-centric warfare conditions by the Navy squadron. Both directions are inherently represent the multiple-purpose asymmetric respond to large-scale development of different-type information technologies abroad. The proposed development directions of information technology were unveiled after analysis and synthesis of present-day achievements and requirements to control systems and can be used during design and development works of information-engineered safety systems for surface vessels.

The work objective is to create a strategic concept and approaches based on which during conducting of further researches the special-purpose mathematical support (software) is developed for efficient command and control of Naval Surface Forces.

The originality is determined by the created up-to-date concept of information technology development and surface vessels systems, which in its turn is closely connected with a concept system, clearly defining the advanced Armed Forces structure. The practical implications lie in the fact that the realization of proposed methods and instruments of knowledge shaping in composition of special-purpose mathematical support permits on one side to increase control system effectiveness of Naval Surface Forces, and on the other side – to considerably limit the enemy conditions, necessary for successful application of network technologies, for using of all advantages of the built-up network-centric environment.

19 апреля 2019 года.

Уважаемые читатели!

Создание сложных наукоёмких образцов техники, к которым напрямую относятся системы и комплексы ВКО, тесно связано с бурным развитием науки и техники.

При этом процесс развития, являясь многомерным, зачастую интерпретируется различными научными школами по-разному. Различные группы учёных, опираясь на практику в той или иной сфере деятельности, привязанной к предприятиям-разработчикам новой техники, могут придавать особое значение таким подходам при решении сложных проблем, которые наиболее совместимы с используемой ими методологией.

В связи с этим редакция журнала предлагает своим читателям статью Т.П. Павловой «Методологические аспекты системного анализа в инженерной деятельности», в которой всесторонне с гносеологических позиций проводится углубленный анализ методологических аспектов системного анализа применительно к инженерной деятельности. Автором показано, что системный анализ предназначен для рационального отбора системного инструментария для решения проблем, поставленных перед исследователями или конструкторами.

УДК 62, 65

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА В ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

© Автор, 2019

Т.П. Павлова кандидат философских наук,
доцент, МАИ, г. Москва
E-mail: vptp52@mail.ru

В данной статье затрагиваются методологические аспекты системного анализа, этапы его развития, этапы развития науки о системах. Подтверждён единообразный подход с позиций системного анализа как для естественных, так и искусственных технических систем. Подчёркивается необходимость применения системного анализа при решении инженерных задач.

Ключевые слова: система, системный анализ, управление, виды системной деятельности, методы системного исследования.

The paper refers to methodological aspects of system analysis, phases of its evolution as well as evolution of science on systems. The unified system approach has been confirmed for analysis of natural and artificial systems. The need for system analysis for decision of engineering tasks has been underlined.

Keywords: system, system analysis, control, types of system activity, methods of system research.

Предопределенная последовательность шагов по определению структурных интерфейсов между элементами исследуемого объекта является основой инженерной деятельности, связанной с разработкой сложных технических систем, таких как системы и комплексы военно-космической обороны (ВКО). Не каждый исследователь, использующий принципы системного анализа, имеет представление о методологических аспектах и фазах их эволюции.

В системной инженерии имеет значение оптимизация. Если оптимум не достижим осуществляется поиск наиболее приемлемого решения. Настоящая статья представляет базовые аспекты системного анализа, имеющие отношение к инженерной деятельности, позволяющие однозначно применять методологию системного анализа при разработке систем ВКО. К настоящему времени вопреки наличию многочисленных технических средств и методологических подходов, исследование сложных систем остается искусством. Работая с системой, инженер становится частью этой системы, в то время как система приобретает человеческое измерение.

Системный подход в современной интерпретации, так же, как и методы исследования операций, функционально-стоимостной анализ и т.д., представляют собой инструменты инженерной деятельности, позволяющие повышать качество и эффективность модернизируемых и управляемых систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Аристотель.** Физика. – М.: Издательство URSS, 2016. – 228 с.
2. **Огурцов А.П.** Этапы интерпретации системности научного знания (Античность и Новое время) // Системные исследования. – М.: 1974. – С.154–186.
3. **Поваров Г.Н.** Ампер и кибернетика. – Изд. 2 URSS, 2007. – 96 с.
4. **Моисеев Н.Н.** Люди и кибернетика. – М.: Молодая гвардия, 1984. – 224 с.
5. **Поков В.В.** Наука и вера Александра Богданова // Философия и культура. – 2013, №4. – С.437–448.
6. **Винер Н.** Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. – 2-е издание / Пер. с англ. И.В. Соловьева и Г.Н. Поварова; под ред. Г.Н. Поварова. – М.: Наука; Главная редакция изданий для зарубежных стран, 1983. – 344 с.
7. **Берталанфи Л.** Общая теория систем – критический обзор // Исследования по общей теории систем: Сборник переводов / под общ. ред. и вст. ст. В. Н. Садовского и Э. Г. Юдина. – М.: Прогресс, 1969. – С. 23–82.
8. **Волкова В.Н., Денисов А.А.** Теория систем и системный анализ. – М.: Издательство ЮРАЙТ, 2014.
9. **Пригожин И., Стенгерс И.** Время. Хаос. Квант. – М.: Прогресс, 1994. – 266 с.
10. **Новиков А.М. Новиков А.А.** Методология научного исследования – М.: Либроком, 2010.
11. **О'Коннор Макдермот Дж.** Искусство системного мышления, необходимые знания о системах и творческом подходе к решению проблем. – М.: Альпина Паблишер, 2013.
12. **Холл А.** Опыт методологии для системотехники. Пер. с англ. / под ред. Г.Н. Поварова – М.: Советское Радио, 1975.

METHODOLOGICAL ASPECTS OF SYSTEM ANALYSIS IN ENGINEERING ACTIVITY

T.P. Pavlova

The predefined consequence of steps on definition of structural interfaces between components of researched objects is the basis of engineering activity related to engineering of complex technical systems such as systems and complexes of military-space defense (MSD). Aerospace Defense (ASD). Not every researcher using the principles of systems analysis is aware of methodological aspects and phases of its advancing.

Optimization is significant in system engineering. If the optimum can't be achieved, one should search for the most acceptable decision. The paper introduces the basic aspects of system analysis in relation with engineering activity permitting the specialists definitely apply the methodology of system analysis in ASD engineering. To date, despite the availability of numerous technical aids and methodological approaches the research of complex systems remains an art. Operating with the system, an engineer becomes a part of the system, while the system acquires the human dimension. System approach in modern interpretation as well as methods of operation research, function-cost analysis etc. is the major instruments of engineering activity permitting to improve quality and efficiency of upgraded and controlled systems.

Поступила 1 ноября 2018 года.

ПРИМЕНЕНИЕ СИЛ И СРЕДСТВ ВКО

УДК 623.4.02

МЕТОД ЦЕЛЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОГНЕВЫХ СРЕДСТВ ПВО ПО ВОЗДУШНЫМ ЦЕЛЯМ ПРОТИВНИКА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ СОХРАНЕНИЕ ВАЖНЕЙШИХ ОБЪЕКТОВ ОБОРОНЫ

© Автор, 2019

И.Г. Приступа

начальник сектора, АО «РТИ», г. Москва

E-mail: inna_pristupa@mail.ru

В статье рассматривается метод целераспределения огневых средств ПВО по воздушным целям противника, обеспечивающий сохранение важнейших объектов обороны в случае массированного удара противника при условии ограниченности ресурсов огневых средств. Метод отличается тем, что обеспечивается повышение эффективности целераспределения, оцениваемой по критерию минимизации показателя нанесённого ущерба; показатель нанесённого ущерба формируется с использованием линейных дифференциальных уравнений, описывающих процессы уничтожения противником объектов обороны и процессы уничтожения огневыми средствами ПВО воздушных целей противника. Раскрытие замысла противника на уничтожение объектов обороны, находящихся в зоне ответственности группировка ЗРВ и ИА, производится с привлечением математического аппарата теории линейной оптимизации и метода последовательного анализа Вальда.

Ключевые слова: целераспределение, объект обороны, огневые средства ПВО, массированный удар, интенсивность воздействия, метод последовательного анализа Вальда, нанесённый ущерб.

The article considers a target distribution method of air defense weapons against enemy aerial targets providing protection to high-priority defense facilities in case of enemy massive attack within limited capabilities of firepower environment. A distinguishing feature of this method concludes in target-distribution efficiency improving estimated by the criterion of inflicted damage minimization, which is calculated using the linear differential equations describing processes of defense facilities elimination by the enemy and processes of air defense weapons destruction of enemy aerial targets. An enemy intent uncovering towards defense facilities destruction, located in responsibility zone of air defense forces and fighter aviation grouping, is conducted using mathematical apparatus technique of linear optimization theory and sequential Wald analysis method.

Keywords: target distribution, defense object, air defense weapons, massive attack, level of effect, sequential Wald analysis method, inflicted damage.

В статье рассматривается метод целераспределения огневых средств ПВО по воздушным целям противника, обеспечивающий сохранение важнейших объектов обороны в случае массированного удара противника при условии ограниченности ресурсов огневых средств.

В начале статьи автор отмечает, что традиционные подходы к задаче целераспределения не учитывают в полной мере ущерб, наносимый воздушным противником объектам обороны. По мнению автора в условиях массированного удара воздушного противника в первую очередь

должны уничтожаться цели, которые могут нанести наибольший ущерб важнейшим объектам обороны.

Автор приводит качественную описательную модель объекта обороны и лексическую модель задачи целераспределения, что позволяет далее перейти к формулировке математической модели целераспределения. Сущность предложенного автором метода целераспределения сводится к следующему:

- метод обеспечивает целераспределение, эффективность которого оценивается по критерию минимизации показателя нанесенного ущерба;
- показатель нанесенного ущерба формируется как результат решения системы линейных дифференциальных уравнений, описывающих процессы уничтожения воздушным противником объектов обороны и процессы уничтожения огневыми средствами ПВО воздушных целей противника;
- при формировании дифференциальных уравнений используются результаты решения задачи вскрытия замысла противника на уничтожение объектов обороны с использованием методов оптимизации и последовательного анализа Вальда.

В заключение автор делает вывод о том, что использование описанного метода целераспределения обеспечивает минимальный ущерб охраняемым объектам обороны в условиях ограниченности ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. «Военная доктрина Российской Федерации» // Российская газета. – № 298(6570). – 30 декабря 2014 года.
2. Локк А.С. Управление снарядами. Пер. с англ. – М.: Гос. изд. технико-теоретической литературы, 1957. – С.497–506.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. – 6-е изд. стер. – М.: Высш. шк., 1999. – 576 с.
4. Вальд А. Последовательный анализ. – М.: Физматлит, 1960. – 328 с.
5. Новиков О.А., Петухов С.И. Прикладные вопросы теории массового обслуживания. – М., 1969. – 211 с.
6. Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории массового обслуживания. – М., 1969. – 162 с.

TARGET DISTRIBUTION METHOD OF AIR DEFENSE WEAPONS AGAINST ENEMY AERIAL TARGETS TO PROTECT HIGH-PRIORITY DEFENSE FACILITIES

I.G. Pristupa

The article considers a target distribution method of air defense weapons against enemy aerial targets providing protection to high-priority defense facilities in case of enemy massive attack within limited capabilities of firepower.

The traditional approaches to the target distribution problem do not calculate the damage in full measure delivered by enemy aerial attacks towards defense objects. Under the massive aerial enemy attack conditions, the first destruction priority will be given to targets, which are capable to cause maximum damage to the vital defense facilities.

The article states the quality descriptive model of defense object and lexical model of target distribution problem that permits further formulating the mathematical model of target distribution. The main point of proposed target distribution method reduces to the following:

- the method provides the target distribution, the effectiveness of which is estimated in minimization criteria of inflicted damage index;
- the index of inflicted damage is shaped as a result of linear differential equation system problem solution describing the destruction processes by aerial enemy of defense objects and destruction processes of enemy aerial targets by air defense weapons;
- at formulating of differential equations the problem solution results of enemy intent disclosure on destruction of defense objects using the linear optimization and sequential Wald analysis methods are used.

The article concludes that application of described target distribution method provides a minimum damage to secured defense facilities in limited resources environment.

Поступила 20 мая 2019 года.

ИССЛЕДОВАНИЯ В СФЕРЕ ПРОЕКТНО- КОНСТРУКТОРСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ

УДК 621.373

МОЩНОСТЬ, РАСSEИВАЕМАЯ В КВАРЦЕВОМ РЕЗОНАТОРЕ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СХЕМЕ КВАРЦЕВОГО ГЕНЕРАТОРА

© Автор, 2019

А.Н. Бруевич доктор технических наук, старший научный сотрудник,
ведущий инженер, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: bruevich37@mail.ru

Приведены соотношения для расчёта мощности, рассеиваемой в кварцевом резонаторе, работающем в генераторе на гармониках резонатора. Подробно описана методика измерений, позволяющих получить данные для подобных расчётов.

Ключевые слова: генератор на гармониках кварцевого резонатора, побочные колебания, предельная мощность на резонаторе.

The relations for calculation of power, dissipated in quartz resonator operating in generator on resonator harmonics are given. Detailed description of measurements technique permitting to obtain data for similar calculations is performed.

Keywords: harmonic oscillator crystal, unwanted oscillations, ultimate power in resonator.

Обобщены известные соотношения, позволяющие рассчитать мощность, рассеиваемую кварцевым резонатором в генераторе по трёхточечной схеме с кварцем между базой и коллектором. Данные соотношения предполагают, что в генераторе ток транзистора отсутствует. Получены новые соотношения, позволяющие учесть ток транзистора. Подробно описан процесс измерения проводимостей Y_1 и Y_2 цепей, внешних по отношению к транзистору. Выведены расчетные соотношения для этого случая. Подробно описан процесс измерений, который позволяет получить данные, необходимые для расчёта.

Показано, что учет токов транзистора, может существенно увеличить мощность, рассеиваемую в резонаторе.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бруевич А.Н.** Опыт разработки генератора на гармониках кварцевого резонатора // Журнал «Вестник воздушно-космической обороны». – М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2015, Выпуск №4(8). – С.116–118.
2. **Шитиков Г.Т., Цыганов П.Я., Орлов О.М.** Высокостабильные кварцевые автогенераторы / под ред. Г.Т. Шитикова. – Москва, «Советское радио», 1974.
3. **Шитиков Г.Т.** Стабильные автогенераторы метровых и дециметровых волн. – Москва, «Радио и связь», 1983.

4. **Бруевич А.Н.** Кварцевые генераторы на биполярных транзисторах // Аннотированный библиографический указатель «Депонированные научные работы», рукопись (депонирована в ВИНТИ 18.10.2016 № 139-B2016). – М., 2016, №6.
5. Полупроводниковые приборы: транзисторы: справочник / под общей ред. Н.Н. Горюнова. – М.: Энергоиздат, 1982.

DISSIPATED POWER IN QUARTZ RESONATOR WITH PARALLEL CIRCUIT OF QUARTZ OSCILLATOR

A.N. Bruevich

The known relations allowing calculating the power dissipated by the quartz resonator in the generator according to the three-point scheme with quartz between the base and the collector are generalized. These relations assume that there is no transistor current in the generator. The resulting new relations, which take into account the current of the transistor, were obtained. The measuring process of conductivities of Y_1 and Y_2 circuits, which are external to the transistor, is described in details. The calculated relations for this case are derived. Detailed description of the measurement process, which allows to obtain the data necessary for the calculation, was performed. It is shown that the consideration of transistor currents can significantly increase the power dissipated in the resonator.

Поступила 17 апреля 2019 года.

УДК 621.396.96

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ОБЗОРНОГО РАДИОЛОКАТОРА ОБНАРУЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© Авторы, 2019

Б.М. Вовшин доктор технических наук, старший научный сотрудник,
начальник отдела, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: boris@eleron.net

И.С. Вылегжанин кандидат физико-математических наук,
начальник ОКБ, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: isv1980@yandex.ru

В.А. Атряхин
инженер-программист 1 категории, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: atrytech@gmail.com

Д.С. Гаврилов
инженер-программист 1 категории, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: deltadan@yandex.ru

А.Н. Корнеев
начальник сектора, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: korneevcherv@rambler.ru

Анализируются основные подходы к созданию обзорной РЛС для обнаружения малоразмерных малоскоростных БЛА. На основе экспериментально-теоретического подхода для РЛС обнаружения сформулированы основные принципы построения.

Ключевые слова: радиолокация БЛА, адаптивная СДЦ, фазовый метод измерения высоты, поляризационные измерения, широкополосные сигналы.

The article analyses the main approaches for development of surveillance radar for detection of small-sized low-velocity unmanned aerial vehicles (UAV). Based on experimental-theoretical approach the basic design principles for detection radar were formulated.

Keywords: UAV radio detection and ranging, adaptive moving target discrimination (MTD), phase method for altitude measurement, polarization measurements, wideband signals.

Одной из проблемных задач современной радиолокации является создание средств наблюдения малоразмерных, малоскоростных, быстроманеврирующих целей типа БЛА. Попытки использовать универсальные технические решения, принятые в традиционных РЛС, для этого типа целей из-за ряда особенностей часто оказываются малоэффективными. Поэтому в статье обосновывается и рассматривается ряд новых подходов к построению обзорной РЛС наблюдения, вошедшей в состав комплекса противодействия БЛА.

На основе экспериментально-теоретического подхода для этой РЛС был сформулирован ряд принципов построения, к числу которых относятся:

1. Работа на двух ортогональных поляризациях, позволяющая «сгладить» поляризационные флуктуации БЛА. Объединение решений о наличии целей в обоих каналах повышает вероятность их обнаружения. При этом БЛА следует рассматривать как цель малого размера с дружными флуктуациями ЭПР (модель Сверлинг-2);

2. Применение сложных широкополосных ($\Delta f = 25$ МГц) ступенчато-фазо-модулированных (СФМ) сигналов с сверхнизким (~минус 60 дБ) уровнем боковых лепестков (БЛ) корреляционной функции (КФ). К основным достоинствам этого сигнала можно отнести:

- высокую разрешающую способность при работе по групповым целям;
- исключение возможности «маскировки» БЛ КФ цели с большой ЭПР главного максимума цели с малой ЭПР;

- возможность обнаруживать БЛА с близкими к нулю радиальными скоростями;

Важно отметить, что низкий уровень БЛ КФ обеспечивается при согласованной обработке без потерь на «взвешивание»;

3. Адаптивная система СДЦ, обеспечивающая обнаружение малозаметных БЛА на фоне интенсивных пассивных помех (ПП) с различной формой спектров флуктуаций, в том числе многомодовой. Она выполнена в виде 4х ступенчатого адаптивного решетчатого фильтра, и в отсутствие априорных данных о динамично изменяющейся сигнально-помеховой обстановке позволяет реализовать:

- автоматическое формирование провалов ЧХ в зоне максимумов доплеровского спектра ПП;
- приближение к потенциально достижимой «подпомеховой» видимости для заданной разности цели и ПП, независимо от их абсолютных значений
- автоматическое отключение когерентной компенсации помех при работе на фоне некоррелированных помех.

4. Режим фазового измерения высоты обнаруженных БЛА за счет разноса облучателей зеркальной антенны в угломестной плоскости. Устранение неоднозначности таких измерений осуществляется путем сравнения амплитуд в каналах приема на одноименных поляризациях.

Вышеуказанные принципы построения являются новыми для практики радиолокации, и они реализованы за счет применения высокопроизводительной цифровой элементной базы формирования и обработки сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ritchie M. et al.** *Micro-drone RCS analysis // Radar Conference*, 2-15 IEEE. – IEEE, 2015. – P.452–486.
2. **Ананенков А.Е. и др.** К вопросу о наблюдении малоразмерных беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. – 2016, №91.
3. **Хастингс Н., Пикок Дж.** Справочник по статистическим распределениям. – М.: Статистика, 1980.
4. Радиозлектронные системы. Основы построения и теория: справочник / под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007.
5. **Sedletsky R.** *Polyphase Codes with Supersmall Side lobes of Correlation Function // IRS-2013, Proceeding.* – Dresden, Germany, June 2013. – P.903–910.
6. **Вовшин Б.М., Вылегжанин И.С., Корнеев А.Н., Лаврукевич В.В., Пушков А.А.** Результаты экспериментальных исследований свойств и характеристик пассивных помех в импульсных РЛС // Успехи современной радиоэлектроники. – М., 2018, №2. – С.51–67.
7. **Вовшин Б.М., Вылегжанин И.С., Корнеев А.Н., Лаврукевич В.В., Пушков А.А.** Сравнение адаптивных и традиционных устройств СДЦ в импульсных РЛС на основе теории и эксперимента // Успехи современной радиоэлектроники. – М., 2018, №4. – С.40–56.
8. **Стренг Г.** Линейная алгебра и её приложения / пер. с англ. – М.: МИР, 1980.
9. **Леховицкий Д.И.** Обобщенный алгоритм Левинсона и универсальные решётчатые фильтры // Изв. ВУЗов: Радиофизика. – 1992, т.35, №9-10. – С.790–808.
10. **Вовшин Б.М., Вылегжанин И.С., Корнеев А.А., Лаврукевич В.В., Пушков А.А.** Теоретические основы и пути практической реализации адаптивных систем компенсации пассивных помех в импульсных РЛС // Успехи современной радиоэлектроники. – М., 2018, №6. – С.12–29.
11. **Профатилова Г.А., Соловьев Г.Н.** Измерение угла места в двухкоординатных радиолокационных станциях. – Вестник МГТУ им. Баумана, сер. «Приборостроение», №1, 204. – С.81–90.
12. **Лаврукевич В.В., Пушков А.А.** Оценивание спектральных характеристик метеорообразований в перспективных ДМРЛ // Труды II Всероссийской НТК «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды. – 2012, т.2. – С.9–16.

SURVEILLANCE RADAR DESIGN CONCEPT FOR UAV DETECTION

B.M. Vovshin, I.S. Vylegzhanin, V.A. Atryakhin, D.S. Gavrilov, A.N. Korneev

One of the problem in the radio detection and ranging is the development of surveillance systems capable to detect small-sized low-velocity and highly maneuverable targets of UAV type. Attempts to use general technical solutions, adopted in traditional radars for these target types due to set of particularities, are often less effective. Therefore, a number of new approaches for development of surveillance radar is examined and validated, which is a part of counter UAV (C-UAV) complex.

Based on experimental-theoretical approach a following set of basic design principles for this radar was formulated:

1. Operation on two orthogonal polarizations, permitting to «smooth» the UAV polarization fluctuations. Joining of solutions on target presence in both channels increases the probability of its detection. Herewith, UAV should be considered as a target of small size with harmonious RCS fluctuations (Swerling-2 model);

2. Application of complex wideband ($\Delta f = 25$ MHz) step-phase-modulated (SPM) signals with ultralow (~ minus 60 dB) side-lobe level (SLL) of correlation function (CF). Basic advantages of this signal are:

- high resolution at operation on multiple targets;
- exclusion of a target CF SL «concealing» possibility with high radar cross section (RCS) of primary target maximum with low RCS;
- detection possibility of UAV with close to zero radial velocities

It's vital to mention that low level of CF SL is provided at coordinated lossless processing in «weighting»;

3. Adaptive moving target discrimination (MTD) provides detection of low observable (low-signature) UAV in intense passive jamming (PJ) background with different fluctuations spectrum profile including the multimode one. It's performed in form of 4-step adaptive lattice filter, and when there is no priori data on dynamically changed signal-to-noise environment it permits to fulfil the following:

- automatic forming of frequency characteristics (FC) nulling in peaks zone of PJ Doppler spectrum;
- closing to potentially achieved «subclutter» visibility for preset difference of target and PJ, irrespective of its absolute values.

4. The phased altitude measurement mode of detected UAVs due to mirror antenna feed elements spreading in elevation plane. Disambiguation of such measurements is carried out through amplitudes comparing in receiving channels at similar polarizations.

The abovementioned design principles are the new one for the radio detection and ranging practice, and it is realized via applied high-performance digital hardware components in signals forming and processing.

Поступила 29 марта 2019 года.

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА МНОГООБЗОРНОГО НАБЛЮДЕНИЯ В ХОДЕ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

© Авторы, 2019

А.В. Голубев

начальник учебной лаборатории, ЯВВУ ПВО, г. Ярославль

E-mail: ponch-2006@yandex.ru

А.Б. Силантьев кандидат технических наук, профессор,
профессор кафедры ЗРК, ЯВВУ ПВО, г. Ярославль

Рассматриваются вопросы реализации и практического применения преобразования Хафа в системе цифровой обработки радиолокационной информации обзорных радиолокационных станций. Предложены варианты решения проблем, возникающих при его реализации. Проанализирован алгоритм функционирования канала многообзорного наблюдения в составе перспективной радиолокационной станции, предложен вариант реализации этого канала на основе известного преобразования Хафа.

Ключевые слова: алгоритм Хафа, слабоотражающие цели, пространство параметров, порог обнаружения, многообзорное накопление, исходная матрица наблюдения, вероятность ложной тревоги.

The article discusses issues that are important for the practical application of Hough transformation and its implementation in the system of digital processing of radar information of survey radars, and also offers solutions to problems arising from its implementation. The algorithm of the multipath observation channel as part of a promising radar station is considered, an embodiment of the channel implementation based on the well-known Hough transform is proposed.

Keywords: hough algorithm, targets with small RCS, parameter space, detection threshold, multiple survey accumulation, initial observation matrix, false alarm probability.

В статье рассмотрены вопросы практической реализации известного метода длительного радиолокационного наблюдения. Подобные методы цифровой обработки радиолокационной информации целесообразно использовать для повышения эффективности обзорных радиолокационных станций при обнаружении малоразмерных целей. В результате применения этих методов обеспечивается прирост отношения сигнал-шум и, как следствие, результирующей вероятности обнаружения, всё это позволяет расширить зону обнаружения слабоотражающих целей.

В статье проанализирован алгоритм многообзорного наблюдения, реализованный на основе известного преобразования Хафа. При реализации алгоритма могут возникать сложности, связанные с неопределенностью и ограниченной точностью первоначальной оценки координат отметок, особенностями заполнения специального накопителя – аккумулятора Хафа, трудностями определения отдельных ячеек аккумулятора максимального содержимого и выделения истинных трасс среди множества ложных. Предложены рациональные варианты решения проблем, возникающих при практической реализации метода многообзорного наблюдения.

В работе показано, что для повышения качества функционирования алгоритма на основе преобразования Хафа и уменьшения вероятности обнаружения ложных прямых необходимо дополнительно анализировать последовательность (очередность) появления отметок от целей от периода к периоду. Установлено, что это сводит к минимуму вероятность ошибочного выделения ложных трасс даже при большом количестве анализируемых периодов обзора и потенциальных трасс-кандидатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Далматов А.Д., Елисеев А.А., Лукошкин А.П., Оводенко А.А., Устинов Б.В. Обработка сигналов в радиотехнических системах: Учебное пособие для вузов. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1987. – 400 с.
2. Голубев А.В., Егоров С.А., Силантьев А.Б. Анализ эффективности многообзорного накопления радиолокационных сигналов на основе преобразования Хафа // Журнал «Вестник воздушно-космической обороны». – М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2018, Выпуск №3(19). – С.44–47.
3. Голубев А.В., Силантьев А.Б. Алгоритм функционирования канала многообзорного наблюдения перспективной РЛС // Сборник трудов XXIV Международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь» (17–19.04.2018). – 2018. – С.343–350.
4. Carlson B.D., Evans E.D. and Wilson S.L. Search radar detection and track with the Hough transform. System concept. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 30, 1 (Jan. 1994), Part I: 102-108, Part II: 109-115, Part III: 116-124.
5. Монаков А.А. Обнаружитель движущейся цели для радиолокационного приемника на основе алгоритма Хафа // Сборник докладов конференции «RLNC 2014». – 2014. – С.1584–1594.
6. Трухачев А.А. Адаптивные пороговые уровни в устройствах обнаружения радиолокационных сигналов: Монография. – М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2017. – 344 с.

SPECIFICS OF MULTI-OBSERVATION SURVEILLANCE ALGORITHM IMPLEMENTATION DURING DIGITAL PROCESSING OF RADAR INFORMATION

A.V. Golubev, A.B. Silantyev

The article examines the practical realization issues of the known method of continuous radar observation. Similar methods of digital radar information processing is advisable to use for efficiency improvement of survey radars during detection of small-sized targets. Because of these methods application, the gain of signal-to-noise ratio, and consequently, the resulting detection probability is provided, all that permits to expand a detection zone of low-reflection targets.

The article analyses the multipath observation algorithm implemented basing on the known Hough transformation. When we implement the algorithm the difficulties may arise connected with an uncertainty and bounded accuracy of the initial estimation of blips coordinates, with specifics of special stack filling – the Hough accumulator, with discrete accumulator cells identification difficulties of maximum content and highlighting of true tracks among multitude of false tracks. The rationale variants of problem solution were proposed, arising during practical realization of the multipath observation method.

The work indicates that to increase the functioning quality of the algorithm based on Hough transformation and detection probability reduction of false straights it's necessary to perform an extra analysis of blips upraise sequence (priority) from targets per period-to-period scan. It's determined that it leads to the minimum of faulty highlighting probability of false tracks even during a large number of analyzed scan periods and potential candidate-tracks.

Поступила 18 апреля 2019 года.

УДК 621.396.96

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕШЕНИЙ ПО ИНФОРМАЦИОННЫМ КРИТЕРИЯМ ПРИ ТРЁХАЛЬТЕРНАТИВНОМ ОБНАРУЖЕНИИ

© Авторы, 2019

С.Б. Жиронкин доктор технических наук, профессор,
начальник научно-исследовательской лаборатории, ВА ВКО имени Г.К. Жукова, г. Тверь
E-mail: iadrin@mail.ru

А.В. Макарычев кандидат технических наук, доцент,
старший научный сотрудник, ВА ВКО имени Г.К. Жукова, г. Тверь
E-mail: elmak@mail.ru

И.Ю. Котенко
адъюнкт, ВА ВКО имени Г.К. Жукова, г. Тверь
E-mail: kotenkosector@mail.ru

Рассмотрен подход к оптимизации трёхальтернативных решений двухпороговых обнаружителей по информационным критериям максимума энтропии и максимума взаимной (парной) информации. Представлены результаты определения оптимальных значений разности между порогами по указанным критериям.

Ключевые слова: оптимизация, решения, трёхальтернативное обнаружение, информационные критерии, показатель качества, энтропия, количество взаимной информации, экстремум функции.

An approach to optimization of three-alternative decisions of dual-threshold detectors on information criteria of entropy maximum and mutual (pair) information maximum is considered. The results of optimal values determination of difference between the thresholds for the specified criteria are presented.

Keywords: optimization, solutions, three-alternative detection, information criteria, index of quality, entropy, content of mutual information, extremum of function.

Проведена оптимизация расстановки порогов (параметрический синтез) обнаружителя, формирующего трёхальтернативные решения. Приведены графики зависимости энтропии от вероятности решения «не знаю» и количества взаимной информации от нормированной разницы между порогами. Представлено и численно решено уравнение, позволяющее получить графическую зависимость оптимального значения разности между порогами обнаружителя от отношения «сигнал/шум».

ЛИТЕРАТУРА

1. **Лещенко С.П.** Информационный показатель качества систем радиолокационного распознавания // Зарубежная радиоэлектроника. – 1996, №11. – С.64–66.
2. **Черваков В.О., Жиронкин С.Б., Зубарев А.С.** Показатели текущего качества статистических решений при их объединении в комплексных системах обнаружения и распознавания // Успехи современной радиоэлектроники. – 2016, № 11. – С.93–97.
3. **Аврамов А.В., Жиронкин С.Б., Черваков В.О.** Интегрированные системы опознавания: направления разработки на основе методов координатно-связного и косвенного опознавания // Успехи современной радиоэлектроники. – 2017, №1. – С.35–40.
4. **Черняк В.С.** Многопозиционная радиолокация. – М.: Радио и связь, 1993. – С.163.

5. **Жиرونкин С.Б., Макарычев А.В., Петухов А.В.** Комплексная система обнаружения в многопозиционной радиолокационной станции // Патент РФ № 2608556. – 2017, Бюл. № 3.
6. **Стратонович Р.Л.** Теория информации. – М.: Сов. радио, 1975. – С.14; С.186–189.
7. **Горяинов В.Т., Журавлёв А.Г., Тихонов В.И.** Статистическая радиотехника. Примеры и задачи. – М.: Радио и связь, 1980. – С.495–497.

DECISIONS OPTIMIZATION ON INFORMATION CRITERION AT THREE- ALTERNATIVE DETECTION

S.B. Zhironkin, A.V. Makarichev, I.U. Kotenko

The threshold arrangement optimization (parametric synthesis) of detector, generating the three-alternative decisions, is performed. The entropy dependency diagrams from the «don't know» decision probability and mutual information content from standardized difference between thresholds are stated. The equation was performed and numerically solved, permitting to obtain the dependence diagram (characteristic curve) of differential optimum value between detector's thresholds from signal-to-noise ratio.

Поступила 19 февраля 2019 года.

УДК 621.396.96

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗОНДИРУЮЩЕГО СИГНАЛА ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПАССИВНОЙ ПОМЕХИ В ФИЛЬТРОВЫХ КАНАЛАХ, НАСТРОЕННЫХ НА ДОПЛЕРОВСКУЮ ЧАСТОТУ

© Авторы, 2019

А.М. Лаврентьев кандидат технических наук, доцент,
начальник кафедры РТС, ЯВВУ ПВО, г. Ярославль

С.А. Зайцев
адъюнкт, ЯВВУ ПВО, г. Ярославль
E-mail: zaycev290713@mail.ru

Разработана методика определения частоты повторения импульсов и крутизны закона частотной модуляции квазинепрерывного сигнала для минимизации воздействия пассивной помехи на выходе согласованного фильтра при рассогласовании по частоте Доплера. Полученные значения параметров позволяют обеспечить применение квазинепрерывного сигнала с линейной частотной модуляцией в условиях интенсивных протяжённых по дальности узкополосных пассивных помех.

Ключевые слова: квазинепрерывный сигнал с линейной частотной модуляцией, Q-функция, пассивная помеха, крутизна девиации частоты.

The determination technique of pulse-repetition frequency and frequency modulation slope of quasi-continuous signal to minimize a clutter effect at output of matched filter when having mismatch in Doppler frequency was developed. The obtained parameters permit to provide an application of quasi-continuous signal with linear-frequency modulation in high-intensity extended narrow-band interference conditions.

Keywords: quasi-continuous signal with linear-frequency modulation (chirp signal), Q-function, clutter (passive jamming), frequency deviation slope.

Рассмотрены особенности устранения неоднозначности измерений дальности при работе в условиях неразрешения целей по скорости и угловым координатам при интенсивных отражениях от подстилающей поверхности. Отмечено, что высокой оперативностью работы отличается метод, основанный на использовании линейной частотной модуляции излучаемого сигнала. Однако, при использовании такого сигнала резко возрастает мощность помехи в каналах, настроенных на доплеровские частоты и возможности по обнаружению полезного сигнала в таких условиях существенно ухудшаются.

Установлено, что мощность пассивной помехи на выходе согласованного фильтра при рассогласовании по частоте Доплера зависит от крутизны линейной частотной модуляции зондирующего сигнала. Получена одноименная зависимость и произведен выбор значения крутизны линейной частотной модуляции, при котором мощность помехи снижается до благоприятного для обнаружения сигнала уровня.

На выявленной зависимости основана методика определения частоты повторения импульсов и крутизны закона частотной модуляции квазинепрерывного сигнала для минимизации воздействия пассивной помехи на выходе согласованного фильтра при рассогласовании по частоте Доплера.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Кук Ч., Бернфельд М.** Радиолокационные сигналы. Теория и применение / под ред. В.С. Кельзона. – М.: Сов. радио, 1971. – С.83–377.
2. Справочник по радиолокации, том 3 / под ред. М. Скольника. – М.: Сов. радио, 1979. – 383 с.
3. **Меркулов В.И. и др.** Оценивание дальности и скорости в радиолокационных системах, ч.1. / под. ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова. – М.: «Радиотехника», 2004. – С.259–291.
4. **Трухачев А.А.** Радиолокационные сигналы и их применение. – М.: Воениздат, 2005. – 234 с.
5. Справочник по радиолокации, т.1 / под ред. М. Скольника. – М.: Сов. радио, 1970. – С.152–153.

SOUNDING SIGNAL PARAMETER DETERMINATION TECHNIQUE TO MINIMIZE CLUTTER EFFECT IN FILTERING CHANNELS ADJUSTED ON DOPPLER FREQUENCY

A.M. Lavrentiev, S.A. Zaitcev

The specifics of ambiguity elimination in range measurement during operation in condition of unresolved targets in velocity and angular coordinates at intense reflection from the underlying surface were examined. It's noted that the method, based on application of linear frequency modulation of radiated signal, is distinct in high operational efficiency. However, when applying of such signal the interference power rises steeply in channels adjusted on Doppler frequency and detection capabilities of desired signal in such conditions are substantively worsen.

It's determined that passive jamming power at output of matched filter during mismatching on Doppler frequency depends on linear-frequency modulation slope of sounding signal. The same dependence was obtained and slope value selection of linear-frequency modulation was performed wherein the interference power decreases until the favorable one for signal determination. The technique of pulse-repetition frequency and frequency modulation slope of quasi-continuous signal determination to minimize passive jamming effect at output of matched filter when having a mismatching in Doppler frequency is based on revealed dependence.

Поступила 18 апреля 2019 года.

УДК 621.396.67

ИЗМЕРЕНИЯ И АНАЛИЗ КОМПЛЕКСНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕДАЧИ КАНАЛОВ ПЕРСПЕКТИВНОЙ АФАР

© Авторы, 2019

А.А. Николаев

инженер 1-й категории, ПАО «НПО «Алмаз», Москва

E-mail: info@raspletin.com

Р.В. Комягин

начальник отдела, ПАО «НПО «Алмаз», Москва

Н.В. Дрожжина

начальник отдела, ПАО «НПО «Алмаз», Москва

Представлено описание комплексного имитационного стенда с подробной схемой проведения измерений каналов активных фазированных антенных решёток (АФАР) с использованием штатной аппаратуры радиолокационной станции. Рассмотрено влияние характерных дестабилизирующих факторов, изменяющих параметры каналов АФАР.

Ключевые слова: активная фазированная антенная решётка, коммутационный метод, внутрисканционный измеритель, временная диаграмма, диаграмма направленности, случайное распределение.

The description of complex simulation stand with detailed measuring diagram of active phased antenna array (APAA) channels using the standard radar equipment is performed. The influence of specific disturbing factors modifying the APAA channels parameters was examined.

Keywords: active phased antenna array, switching method, intra-exchange tester, time pattern, directional pattern, random distribution.

Предлагается способ измерения комплексных коэффициентов передачи каналов АФАР с использованием штатных СВЧ-сигналов РЛС. Описан алгоритм измерения, реализованный на комплексном имитационном моделирующем стенде РЛС. Приведены результаты исследования влияния температуры на параметры каналов АФАР, а также результаты расчета ДН АФАР, учитывающие эти температурные изменения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Николаев А.А., Комягин Р.В.** Обзор методов калибровки каналов активных фазированных антенных решёток // Сборник докладов VIII НТК молодых учёных и специалистов: «Актуальные вопросы развития систем и средств воздушно-космической обороны» / под общей ред. канд. техн. наук Н.Э. Ненартовича. – М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2018. – 552 с.: ил.
2. **Бубнов Г.Г., Никулин С.М., Серяков Ю.Н., Фурсов С.А.** Коммутационный метод измерения характеристик ФАР. – М.: Радио и связь, 1988. – 120 с.
3. **Ненартович Н.Э., Балагуровский В.А., Маничев А.О.** Методы измерения параметров и диагностики отказов фазированной антенной решётки в ближней зоне без применения механических позиционеров // Вестник Концерна ПВО «Алмаз – Антей». – 2015, №3.
4. **Авдеев Н.И., Баранова М.С., Бобров Д.Ю., Доброжанский А.П. и др.** Цифровая обработка сигналов в многофункциональных радиолокаторах. Методы. Алгоритмы. Аппаратура: коллективная монография / под ред. Г.В. Зайцева. – М.: Радиотехника, 2015. – 376 с.

MEASUREMENT AND ANALYSIS OF COMPLEX TRANSMISSION COEFFICIENT OF ADVANCED APAA CHANNELS

A.A. Nikolaev, R.V. Komyagin, N.V. Drozhzhina

The measurement method of complex transmission coefficients of active phased antenna array (APAA) channels using the standard radar microwave signals is proposed. The measurement algorithm is described implemented on complex radar simulation stand. The research results of temperature effect on APAA channels parameters were performed, and APAA directional pattern (DP) simulated results considering these temperature changes as well.

Поступила 15 апреля 2019 года.

УДК 621.396.96

МЕТОД СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ДИАГРАММООБРАЗУЮЩЕЙ МАТРИЦЫ

© Авторы, 2019

С.И. Струков

оператор, КВ ВКС, г. Красногорск

E-mail: nrkvvks@mail.ru

А.А. Парамонов

майор, КВ ВКС, г. Красногорск

С.А. Литвинов

лейтенант, КВ ВКС, г. Красногорск

В статье рассматривается метод создания системы распределения сигналов с помощью диаграммообразующих матриц. Приводится система, созданная на базе предложенного метода, что подтверждает реализуемость. При построении систем распределения указанным способом на каждом из выходов обеспечивается заданная фазовая задержка. Задание фазы сигнала осуществляется посредством фазовращателей, представленных отрезками линии кабелей. Расчёт необходимых фазовых задержек выполняется с помощью системы уравнений на основе законов Кирхгофа. Описанный тип систем обладает малыми потерями, высокой надёжностью и гибкой настройкой фазового фронта.

Ключевые слова: базовая станция, диаграммообразующая матрица, законы Кирхгофа, матрица Батлера, система распределения сигналов, фазовый фронт.

The article considers the signal distribution system engineering technique using the beam-forming matrix. The system, which is based on the proposed method, is performed in the article that proves its implementability. When the distribution systems are formed in the mentioned technique, the defined phase delay is provided on each of outputs. The signal phasing is provided via phase shifters introduced by the cable lines fragments. The calculation of necessary phase delays is carried out using a set of equations based on Kirchhoff's laws. The described systems type has a low losses, high reliability and flexible adjustment of phase surface.

Keywords: base station, beam-forming matrix, Kirchhoff's laws, Batler matrix, signal distribution system, phase surface (front).

В статье рассмотрен метод создания системы распределения сигналов с помощью диаграммообразующих матриц. Подобный метод создания систем распределения сигналов целесообразно использовать для повышения надёжности и увеличения безопасности каналов связи в системах транкинговой радиосвязи связи и систем управления летательными аппаратами. В результате применения описанного метода обеспечивается увеличение эффективности, надёжность и безопасность соединения и, как следствие, повышение качества связи, всё это позволяет использовать в таких системах принцип многоканальной связи.

В статье описан разработанный метод создания системы распределения с помощью диаграммообразующей матрицы. При реализации алгоритма могут возникать сложности, связанные со сложностью фазировки диаграммообразующих матриц. При построении систем распределения указанным способом на каждом из выходов обеспечивается заданная фазовая задержка.

В работе представлена система, созданная на базе предложенного метода, что подтверждает реализуемость теоретических положений настоящей работы. Задание фазы сигнала осуществляется посредством фазовращателей, представленных отрезками линии кабелей. Расчет необходимых фазовых задержек выполняется с помощью системы уравнений на основе законов Кирхгофа. Описанный тип систем обладает малыми потерями, высокой надежностью и гибкой настройкой фазового фронта.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Фельдштейн А.Л., Явим Л.Р.** Синтез четырёхполюсников и восьмиполусников на СВЧ. – М.: Связь 1971. – 385 с.
2. Конструкции СВЧ-устройств и экранов / под ред. А.М. Чернушенко. – 1983. – 396 с.
3. **Малорацкий Л.Г., Явич Л.Р.** Проектирование и расчёт СВЧ-элементов на полосковых линиях. – М.: Советское радио, 1998. – 233 с.
4. **Дмитриев Е.Е.** Основы моделирования в *Microwave Office*. – 2009. – 175 с.
5. **Чистюхин В.В.** Антенно-фидерные устройства: учебное пособие. – МГИЭЛ, 2005. – 183 с

SIGNAL DISTRIBUTION SYSTEM ENGINEERING TECHNIQUE USING BEAM-FORMING MATRIX

S.I. Strukov, A.A. Paramonov, S.A. Litvinov

The article considers the signal distribution system engineering technique using the beam-forming matrix. The similar method of signal distribution system development is reasonable to implement for reliability and communication channels safety increasing in trunk radio systems and flight control systems. Due to such method application, we provide an increased effectiveness, reliability and connection safety, and subsequently, an increase of communication quality that permits applying of multichannel communication principle in such systems.

In case of algorithm application, the difficulties may arise connected with phasing difficulty of beam-forming matrix. When the distribution systems are formed in the mentioned technique, the defined phase delay is provided on each of outputs.

The system, which is based on the proposed method, is performed in the article that proves the implementability of its theoretical parts. The signal phasing is provided via phase shifters introduced by the cable lines fragments. The calculation of necessary phase delays is carried out using a set of equations based on Kirchhoff's laws. The described systems type has a low losses, high reliability and flexible adjustment of phase surface.

Поступила 19 марта 2019 года.

УДК 621.396.677

АМПЛИТУДНО-ФАЗОВЫЙ СИНТЕЗ УПРАВЛЯЕМЫХ НУЛЕЙ В ДИАГРАММАХ НАПРАВЛЕННОСТИ МОНОИМПУЛЬСНОЙ АФАР СО СЛОЖНОЙ ФОРМОЙ РАСКРЫВА

© Авторы, 2019

Ю.А. Хмеленко

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

E-mail: info@raspletin.com

И.С. Шурыгина

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

Для плоской фазированной антенной решётки предложен метод синтеза управляемых нулей в диаграмме направленности в направлениях помех. Для решения задачи применяется принцип декомпозиции, в результате которого рассчитывается амплитудно-фазовое распределение для двух частей решётки, которые вместе составляют четверть всего полотна. Для каждой части необходимо рассчитать амплитудно-фазовое распределение только для одной строки (или столбца).

Ключевые слова: АФАР, диаграмма направленности, амплитудно-фазовый синтез, управляемые нули, сложная форма раскрыва.

The synthesis technique of controlled nulls in directional pattern towards noises was proposed for the planar phased antenna array. To solve the problem the decomposition principle is used which results to calculation of amplitude-phase distribution for two parts of an array that together compose a quarter of the whole antenna curtain. For each array part, it's necessary to calculate the amplitude-phase distribution only for one line (or array column).

Keywords: active phased array antenna (APAA), directional pattern, amplitude-phase synthesis, controlled nulls, irregular shape of aperture.

В настоящей работе решается задача синтеза управляемых нулей в диаграммах направленности плоской ФАР со сложной формой раскрыва, имеющей три приемных канала (и три вида диаграмм направленности) для моноимпульсной пеленгации - суммарный и два разностных. Эта задача сведена к задаче синтеза управляемых нулей для плоской ФАР с прямоугольной формой раскрыва, имеющей один приемный канал с диаграммой направленности суммарного вида. При этом используется амплитудно-фазовый метод синтеза с одновременной регулировкой амплитуд и фаз коэффициентов возбуждения антенных элементов решетки. В основе метода лежит декомпозиция четверти решетки на подрешетки с прямоугольной формой раскрыва и формирование в них управляемых нулей. Синтез для подрешеток прямоугольной формы, на которые была разбита четверть всего полотна, характеризуется простотой алгоритма вычислений: достаточно определить амплитудно-фазовое распределение только для строки (столбца) антенных элементов каждой из частей декомпозиции раскрыва. Особенностью метода является то, что для формирования управляемых нулей достаточно использовать одно из двух значений обобщенных углов, определяющих направления на помехи. При этом формируется зона пониженных боковых лепестков вблизи прямых линий на плоскости u, v , задаваемых для каждой помехи одним из двух значений обобщенных углов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Steyskal H.** *Synthesis of antenna patterns with prescribed nulls* // *IEEE Transactions on antennas and propagation*. – 1982, March, Vol. AP-30, №2. – P.273–279.
2. **Kashin V., Hmelenko Y., Shurygina I.** *Amplitude-phase synthesis of controlled nulls in sum and difference patterns of monopulse planar phased antenna array* // *The program of the 5th International Conference Engineering & Telecommunication-En&T-2018*.

AMPLITUDE-PHASE SYNTHESIS OF CONTROLLED NULLS IN DIRECTIONAL PATTERNS OF MONOPULSE APAA WITH IRREGULAR APERTURE SHAPE

U.A. Hmelenko, I.S. Shurigina

The current paper solves the problem of controlled nulls synthesis in directional patterns of planar PAA with irregular aperture shape having three receiving channels (and three forms of directional patterns) for monopulse direction finding – the sum channel and two difference channels. This task narrows down to controlled nulls synthesis problem for planar PAA with rectangular aperture shape having one receiving channel with directional pattern of sum shape. Herewith, the amplitude-phase synthesis technique is used with simultaneous adjustment of amplitude and phases of excitation coefficients of array antenna elements. The technique is the basis for decomposition of a quarter of an array into subarrays with rectangular aperture shape and nulling. The synthesis for subarrays of rectangular shape after division of a quarter of the whole antenna curtain is characterized by simplicity of calculation algorithm: it is enough to determine the amplitude-phase distribution only for the antenna elements line (column) for each part of aperture decomposition. The method particularity is that for nulling it's sufficient to use one of two values of generalized angles which define directions to a noise. Herewith, a zone of degraded side lobes is formed close to direct lines at u, v plane, defined by one of two values of generalized angles for each noise.

Поступила 15 апреля 2019 года.

ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 65.012.23

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ МЕТОД СБОРА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ОПЫТНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

© Авторы, 2019

В.М. Алдошин доктор технических наук, профессор,
зам. начальника научно-образовательного центра, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
И.И. Ковтун кандидат технических наук,
начальник сектора научно-технического отдела, ЗАО «МНИТИ», г. Москва
E-mail: kovtun@mniti.ru

Рассматриваются проблемы анализа и планирования опытного производства, в т.ч. отсутствие эффективных методик поиска, систематизации и первичной обработки исходных данных для используемых в процессе его оптимизации методов математического программирования. В качестве системы сбора информации предложена методология функционального моделирования IDEF0. С целью практической реализации, понятийный аппарат данной методологии поставлен в соответствие формальному аппарату методов решения задач математического программирования, а реляционная модель данных использована в качестве метамодели предлагаемого решения для его эффективной реализации с помощью ЭВМ.

Ключевые слова: опытное производство, оптимизация ресурсов, математическое программирование, исходные данные, методология IDEF0, реляционная модель данных.

The problems of analysis and planning of pilot production, including the lack of effective methods for search, systematization and primary processing of initial data for mathematical programming methods used in the process of its optimization are considered. Methodology IDEF0 is proposed as a data collection system. For the purpose of practical implementation of the proposed solution, the conceptual apparatus of this methodology is put in accordance with the formal apparatus of these methods and, for its effective realization by computer, relational data model as metamodel is used.

Keywords: pilot production, resources optimization, mathematical programming, initial data, methodology IDEF0, relational data model.

Важной составляющей планирования опытного производства является решение задач оптимального распределения ресурсов. Одним из наименее исследованных вопросов, при этом, является вопрос интеграции в рамках единого подхода алгоритмов сбора исходных данных для построения адекватных математических моделей и известных методов решения таких задач. Одной из проблем подготовки исходных данных, в свою очередь, является наличие субъективного фактора в процессе их сбора. Практика недокументированного общения между системными аналитиками и представителями контрагентов, между системными аналитиками и цеховыми мастерами, технологами, как правило, является предпосылкой к формированию неверных суждений о различного рода ресурсах.

В процессе обследования предприятий, с целью повышения адекватности и достоверности исходных данных, широкое применение нашли функциональные модели и основанные на них методологии, в т.ч. функциональная модель IDEF0. Принимая во внимание указанное обстоятельство, сделан вывод о целесообразности рассмотрения порядка сбора исходных данных для задач оптимизации опытного производства как процесса построения состояния «ТО-ВЕ» модели IDEF0, при котором, с целью повышения ее адекватности и достоверности, эксперты итерационно решают такие задачи.

Полученный вывод поставил на повестку дня вопрос об адаптации известных методов оптимизации к нотации IDEF0. Показан способ такой адаптации на примере различных вариантов задачи оптимизации распределения оборудования с учетом его многофункциональности, затрат на производство и требований к плану производства.

Данная задача является распределительной задачей линейного программирования; решение сведено к транспортной задаче.

С целью применения ЭВМ в процессе сбора информации и поиске решения, для сформулированной задачи построена реляционная модель.

В качестве альтернативы модели IDEF0 рассматриваются модели DFD и IDEF3, в качестве альтернативы реляционной модели – сетевая, иерархическая и многомерная модели, в качестве дополнения к методам оптимизации ресурсов – методы теории принятия решений, в т.ч. методы принятия решений в условиях неопределенности, в условиях риска, методы экспертных оценок. Таким образом, показано, что предлагаемый подход не является догмой, а скорее примером основанной на научном подходе системы мышления, которая может быть использована в процессе решения сложных аналитических задач, возникающих в процессе укрепления обороноспособности страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 14.004-83. Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий.
2. **Ширяева Ю.С., Оранова М.В.** Современный взгляд на опытное производство и механизм управления им на промышленном предприятии // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2007, №6. – С.197–200.
3. Постановление ГКНТ СССР от 17.02.1984 № 59 «Об утверждении Положения об опытном (экспериментальном) предприятии, в том числе входящем в состав производственного, научно-производственного объединения, научно-исследовательской, конструкторской, проектно-конструкторской и технологической организации».
4. **Переверзев М.П., Логинов С.И., Логинов С.С.** Организация производства на промышленных предприятиях. – М.: ИНФРА-М, 2006. – 336 с.
5. ГОСТ 3.1121-84. Единая система технологической документации. Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на типовые и групповые технологические процессы (операции).
6. **Мясникова О.В.** Инструменты организационно-экономического механизма совершенствования производственной бизнес-системы путем оптимизации производственных процессов: реинжиниринг // Экономика и управление. – 2011, №1. – С.51–57.
7. **Ханк Д.Э., Уичерн Д.У., Райтс А.Дж.** Бизнес-прогнозирование: пер. с англ. 7-е изд. – М.: Вильямс, 2003. – 656 с.
8. **Таха Х.А.** Введение в исследование операций: пер. с англ. 7-е изд. – М.: Вильямс, 2005. – 912 с.
9. **Серая О.В.** Распределительная задача линейного программирования // Математические методы и модели. – 2013, №2(109). – С.167–170.
10. **Орлов А.И.** Теория принятия решений. Учебное пособие. – М.: Март, 2004. – 656 с.
11. *Integration Definition for Function Modeling (IDEF0). Draft Federal Information Processing Standards Publication 183, 1993 December 21.*
12. РД 50.1.028-2001. Методология функционального моделирования IDEF0. Руководящий документ. Издание официальное. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 75 с.
13. **Грекул В.И. и др.** Проектирование информационных систем. – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 385 с.
14. **Алдошин В.М., Козелков О.А.** Системный анализ реализуемости проектов производства новой техники: монография. – М: Триумф, 2015. – 208 с.
15. **Codd E.F.** A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks. *CACM* 13, No. 6 (June 1970). Republished in *Milestones of Research – Selected Papers 1958-1982 (CACM 25th Anniversary Issue)*, *CACM* 26, №1 (January 1983).
16. **Мейер Д.** Теория реляционных баз данных: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 608 с., ил.
17. **Мартин Дж.** Организация баз данных в вычислительных системах. – М.: Мир, 1980.
18. **Горбатов В.А., Павлов П.Г., Четвериков В.И.** Логическое управление информационными процессами / под ред. В.А. Горбатова. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
19. Исследование операций: В 2-х томах. Пер. с англ. / под ред. М. Моудера, С. Элмаграби. – М.: Мир, 1981, том 1.
20. **Дегтярев Ю.И.** Методы оптимизации: учебное пособие для студентов ФПМ. – М., 1973.
21. **Алдошин В.М., Ковтун И.И.** Функциональное моделирование в процессе оценки реализуемости проектов комплексной автоматизации предприятий оборонно-промышленного комплекса // Журнал «Вестник воздушно-космической обороны». – М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2019, Выпуск №1(21). – С.106–116.
22. **Ковтун И.И., Цаплин А.В.** Функционально-реляционное проектирование автоматизированных систем управления // Журнал «Вестник воздушно-космической обороны». – М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2016, Выпуск №4(12). – С.110–117.

FUNCTIONAL METHOD OF INITIAL DATA GATHERING FOR PILOT PRODUCTION OPTIMIZATION

V.M. Aldoshin, I.I. Kovtun

One of the important constituents of pilot production planning can be denoted as resolution of problems consisting in optimal resources allocation. One of the least studied issues, at the same time, is the question of integration within a single approach of algorithms for collecting initial data for construction of adequate mathematical models and known methods for solving appropriate math problems. One of the problems of initial data preparation, in turn, is the presence of a subjective factor in the process of their collection. The practice of undocumented communication between system analysts and representatives of contractors, between system analysts and craftsmen, technologists, as a rule, is a prerequisite for the formation of incorrect judgments about various kinds of resources.

In the course of enterprises survey, in order to improve the adequacy and reliability of initial data, functional models and methodologies based on them, including the functional model IDEF0, are widely used. Taking into account this circumstance, it is concluded that it is expedient to consider the order of initial data collection for optimization problems of pilot production as a process of constructing of «TO-BE» state of IDEF0 model.

The conclusion put on the agenda the question of adaptation of known optimization methods to IDEF0 notation. The technique of such adaptation is shown on the example of different variants of the math problem of equipment distribution in light of its multifunctionality, production costs and requirements to production plan. This problem in turn is presented as a distributive problem of linear programming, and, as a result, the solution is reduced to a transport problem.

In order to use computer in the process of information collecting and solution finding, for the formulated problem a relational model is built.

As an alternative to IDEF0 model DFD and IDEF3 models are considered, as an alternative to the relational model – network, hierarchical and multidimensional models, as a complement to resources optimization methods – methods of decision-making theory, including methods of decision making under uncertainty, under risks, methods of expert estimates. Thus, it is shown that the proposed approach is not a dogma, but rather an example of a system of thinking based on the scientific approach, which can be used in the process of solving of complex analytical problems arising in the process of strengthening the country's defense capability.

Поступила 16 января 2019 года.

УДК 004.94

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ САПР ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЛС

© Авторы, 2019

П.А. Созинов доктор технических наук,
Генеральный конструктор – зам. ген. директора, АО «Концерн ВКО «Алмаз – Антей», г. Москва
E-mail: ntr@almaz-antey.ru

А.П. Коновальчик кандидат технических наук,
зам. ген. конструктора по перспективным проектам, АО «Концерн ВКО «Алмаз – Антей», г. Москва
E-mail: konovalchik@almaz-antey.ru

В.П. Саушкин доктор технических наук,
Советник ген. конструктора – руководитель проекта, АО «Концерн ВКО «Алмаз – Антей», г. Москва
E-mail: ntr@almaz-antey.ru

Сформулированы основные подходы при создании отечественной САПР для проектирования РЛС. Рассмотрены общая структура и состав программного комплекса. Отражены текущие результаты, в т.ч. в кооперации с соисполнителями. Проведён сравнительный анализ «САПР-РЛС» с её наиболее близкими зарубежными аналогами.

Ключевые слова: радиолокационная станция, система автоматизированного проектирования, методика разработки, математическое моделирование, инженерные расчёты.

The main approaches during development of indigenous CAD system for radar engineering were formulated. The general structure and configuration of software package were examined. The current results including cooperation with joint contractors were represented. The «CAD-Radar» comparative analysis with its closest foreign analogues was conducted.

Keywords: radar, computer-aided-design (CAD) system, design technique, mathematical modeling, engineering evaluation.

В данной работе обоснована актуальность создания отечественной САПР для проектирования РЛС, сформулированы основные подходы при проектировании на основе требований, предъявляемых к специализированному программно-аппаратному комплексу.

Рассмотрены общая структура «САПР-РЛС» и состав программного обеспечения, включающего интеграционную платформу и вычислительные модули, базу данных и файловое хранилище, геоинформационную систему, пакет программных средств инженерного анализа. Предложена технология автоматизированного проектирования РЛС с использованием САПР. Отражены текущие результаты, в т.ч. в кооперации с соисполнителями.

Проведен сравнительный анализ «САПР-РЛС» с её наиболее близкими зарубежными аналогами. Определены направления дальнейшей разработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коновальчик А.П., Плаксенко О.А., Щирий А.О. Концепция многоуровневого проектирования РЛС в разрабатываемой САПР РЛС полного сквозного цикла // Материалы международной научно-технической конференции *Intermatic-2017*. – 2017, Ч.4. – С.889–892.
2. Андреев Г.И., Созинов П.А., Тихомиров В.А. Основы теории принятия решений: Монография / под ред. д-р техн. наук, профессора П.А. Созинова. – М.: Радиотехника, 2017. – 648 с.: ил.
3. Коновальчик А.П., Плаксенко О.А., Щирий А.О. Пакет программных средств инженерного анализа отечественной САПР РЛС // Цифровые средства производства инженерного анализа. – 2017. – С.43–44.

4. **Коновальчик А.П., Пласенко О.А., Щирий А.О.** Функции имитации боевых действий в разрабатываемой отечественной САПР РЛС полного сквозного цикла // Вопросы радиоэлектроники. – 2018, №3. – С.30–34.
5. **Андреев Г.И., Созинов П.А., Тихомиров В.А.** Управленческие решения при проектировании радиотехнических систем: Монография / под ред. д-р техн. наук, профессора П.А. Созинова. – М.: Радиотехника, 2018. – С.59–62.
6. Имитационное моделирование боевых действий: теория и практика / под ред. д-р техн. наук, профессора П.А. Созинова, д-р техн. наук, профессора И.Н. Глушакова. – Тверь, 2013. – 529 с.
7. **Коновальчик А.П., Конопелькин М.Ю., Пласенко О.А., Щирий А.О.** Отечественная система автоматизированного проектирования радиолокационных систем, комплексов и станций с учётом средств воздушно-космического нападения // Научно-технические технологии в космических исследованиях Земли. – 2018, т.10, №1. – С.40–47.

RELEVANT QUESTIONS OF INDIGENOUS CAD DEVELOPMENT FOR RADAR ENGINEERING

P.A. Sozinov, A.P. Konovalchik, V.P. Saushkin

The work justifies the relevance of indigenous CAD system for radar engineering development, the main approaches during development were formulated based on requirements specified to dedicated hardware and software package. The general structure of «CAD-Radar» and software configuration including integration platform and computation modules, data base and file depot, geographic information system, engineering analysis software package were examined. The radar automatic design engineering using CAD system was proposed. The current results including cooperation with joint contractors were represented. The «CAD-Radar» comparative analysis with its closest foreign analogues was conducted. Directions for further development were defined.

Поступила 28 мая 2019 года.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА

УДК 621.396.98

АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ УЯЗВИМОСТИ GNSS И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ УГРОЗ

© Авторы, 2019

Е.А. Лаврентьев кандидат технических наук, доцент,
зам. генерального директора – начальник ОКБ «ЛЭМЗ», ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: srclav@rambler.ru

И.С. Вылегжанин кандидат физико-математических наук,
начальник СКБ, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: isv1980@yandex.ru

С.Ю. Нестеров кандидат технических наук, доцент,
зам. начальника ОКБ «ЛЭМЗ» – директор НПЦ-СПБ, ПАО «НПО «Алмаз», г. Санкт-Петербург
E-mail: nastserg@rambler.ru

Д.П. Шабанов
начальник отдела НПЦ-СПБ ОКБ «ЛЭМЗ», ПАО «НПО «Алмаз», г. Санкт-Петербург

Е.Н. Артемова
начальник бюро ОКБ «ЛЭМЗ», ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: eartemova@lemz.ru

Рассматривается использование системы координатно-временного обеспечения как важной части функционирования многих современных систем. Определена роль глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS) в транспортных и энергетических системах, в банковских технологиях, в системах телекоммуникаций, в средствах спасения, медицины и др. Проанализирована уязвимость GNSS от непреднамеренных и преднамеренных помех. Обозначены направления снижения уязвимости GNSS за счёт применения систем ИФРНС в качестве дублирующих.

Ключевые слова: система координатно-временного обеспечения (КВО), глобальная навигационная спутниковая система (GNSS), ГЛОНАСС, GPS, непреднамеренная помеха, преднамеренная помеха, радиопротиводействие, радиодезинформация, импульсно-фазовая радионавигационная система (ИФРНС).

The use of coordinate-time support system (CTS) is examined as an important part of many modern systems functioning. The role of global navigational satellite systems (GNSS) in transport and energy systems, banking technology, communications system, recovery aids, medicine etc. is determined. The GNSS vulnerability from unintended and intentional interference is analyzed. Directions for vulnerability reduction of GNSS are designated due to implementation of pulse-phase radio navigation system (PHRNS) as a redundant one.

Keywords: coordinate-time support system (CTS), Global Navigation Satellite System (GNSS), GLONASS, Global Positioning System (GPS), unintended interference, intentional interference (jamming), electronic countermeasures, spoofing, pulse-phase radio navigation system (PHRNS).

В статье обозначена важная роль систем координатно-временного обеспечения (КВО) и глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS), как основной составляющей КВО, во всех сферах жизни современного общества.

В то же время, отмечена уязвимость GNSS от непреднамеренных и преднамеренных помех. Приведен ряд фактов, доказывающих уязвимость GNSS.

Проанализирована уязвимость GNSS. Дана оценка критическим применениям навигационно-временных технологий, требующих принятия мер по защите от воздействия помех (авиация, телекоммуникационные системы и т.д.). Охарактеризованы понятия преднамеренные и непреднамеренные помехи. Приведена классификация преднамеренных помех на радиопротиводействие и радиодезинформацию, дано их краткое описание и предложения по уменьшению уязвимости GNSS от воздействия разного рода помех.

Рассмотрены импульсно-фазовые радионавигационные системы (ИФРНС) как наиболее предпочтительные на роль систем, дублирующих GNSS, отмечено, что ИФРНС более устойчивы к непреднамеренным помехам искусственного происхождения.

В статье сделаны выводы о воздействии разного рода помех на все радионавигационные системы, сделан акцент на необходимости дополнительных мероприятий по снижению уязвимости навигационных систем. Обозначены перспективные системы, дублирующие GNSS, отмечена важность внедрения в систему ОрВД средств контроля помехового фона. Подчеркнута значимость проработки вопросов взаимного влияния радиосредств и использования частотного ресурса, т.е. необходимо комплексное и системное использование всех видов оборудования по обеспечению безопасности воздушного движения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Shvets V.** *The necessity of global navigation satellite systems GPS, GLONASS, GALILEO information security* // *Ukrainian Scientific Journal of Information Security*, 2014, vol. 20, issue 2. – P.185–192.
2. *Guidance Material for Design of Terminal Procedures for Area Navigation (DME/DME, B-GNSS, Baro-VNAV & RNP-RNAV.ATM* – Организация воздушного движения. Doc 4444, изд. 14-е, Монреаль, ICAO, 2001.
3. **Нудельман Г.С., Оганесян А.А., Харисов В.Н.** Уязвимость систем синхронизации, основанных на использовании глобальных навигационных спутниковых систем // ОАО «ВНИИР», ОАО «ВНИИР-Прогресс», Россия, Екатеринбург, 3 – 7 июня 2013.
4. **Аль-Рубой Мудар Валхан Хамид.** Развитие глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS). Обеспечение навигационных требований в особых условиях функционирования средств радиотехнического обеспечения полетов на примере республики Ирак. Навигация и управление воздушным движением (технические науки). Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук, Санкт-Петербург – 2016.
5. Doc 9849, ICAO. Руководство по глобальной навигационной спутниковой системе (GNSS). Номер заказа: 9849 ISBN 978-92-9249-348-6 Издание второе, 2013.
6. *Vulnerability Assessment of the Transportation Infrastructure Relying on the Global Positioning System, A John Volpe National Transportation System Center Final Report, August 29, 2001.*
7. Doc 9849, ICAO. Руководство по глобальной навигационной спутниковой системе (GNSS). Номер заказа: 9849 ISBN 978-92-9249-348-6 Издание второе, 2013.
8. URL: <https://docplayer.ru/63344378-Vo-vremya-operaciy-ssha-i-anglii-v-irake-a-takzhe-reshitelnoy-cifrovye-antennnye-reshetki-resheniya-zadach-gps-svyaz-i-telekommunikacii.html>.
9. URL: <https://rg.ru/2016/04/23/v-iuzhnoj-koree-sozdali-navigacionnuu-sistemu-s-pomoshchiu-sputnikov-rf.html>.
10. *Validated ICAO GNSS Standards and Recommended Practices (SARPS)*, November 2000.
11. **Иванов М.П., Кашинов В.В.** Экспериментальная проверка помехозащищенности GPS // VII международная конференция «Радиолокация, навигация, связь» 24-26 апреля 2001, Воронеж, Россия.
12. URL: <https://www.vesti.ru/doc.html?id=1529388&cid=9>.
13. Информация по безопасности полётов №7, 21 ноября 2011 года // телеграмма Росавиации от 25.04.2014, №251225.
14. URL: http://www.cnews.ru/news/top/2016-025_sboj_v_gps_dlitelnostyu_13_mikrosekund_vyzval.
15. Радионавигационный план Российской Федерации (утверждён приказом Минпромторга России от 28 июля 2015 года №2123). Уязвимость спутниковых навигационных систем при воздействии непреднамеренных и преднамеренных помех и перспективы повышения надежности координатно-временного обеспечения.
16. *EUROCAE ED 75. Minimum Aviation System Performance Standards (MASPS) for Required Navigation Performance for RNP Area Navigation. Global positioning system. Standard Positioning Service. Performance Standard. Department of Defense USA. Washington. DC 20301-6000, October. 2001.*
17. **Smith A.M., Mitchell C.N., Watson R.J., Meggs R.W., Kintner P.M., Kauristie K., Honary F.** *Global navigation satellite system. Certification requirements for the equipment GRAS, GBAS GPS scintillation in the high Arctic associated with an auroral arc.* – *Space Weather*, 2008, V.6. – P.S03D01.
18. Журнал «Новости навигации», №1, 2004.
19. **Дятлов П.А., Кульбикаян Б.Х.** Радиозлектронная борьба со спутниковыми радионавигационными системами. – Радио и связь, 2004. – 226 с. – ISBN 5-256-01750-0.
20. **Кашеев А.А., Кошелев В.И.** Оценка эффективности подавления сигналов спутниковых радионавигационных систем преднамеренными помехами // Журнал радиоэлектроники. – 2012, №7. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/jul12/7/text.html>, 20 March, 2017. Russian.
21. Doc 9849. Руководство по глобальной навигационной спутниковой системе (GNSS). Номер заказа: 9849 ISBN 978-92-9249-348-6.
22. ICAO AN-Conf/13-WP/15 18/05/18. Рабочий документ тринадцатой аэронавигационной конференции Монреаль. Пункт 2 повестки дня. Содействие развитию глобальной аэронавигационной системы. Комплексная стратегия в области CNS и спектра. Развитие глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS) Канада, 9–19 октября 2018 года.

23. Понижение степени уязвимости глобальной навигационной спутниковой системы. Рабочий документ ИКАО. Ассамблея — 38-я сессия. Техническая комиссия, пункт 3.5 повестки дня. Поддержка внедрения. Монреаль, 2013.
24. Журнал «Новости навигации», №1, 2004.
25. Интегрированные инерциально-спутниковые системы: сб. ст. и докл. // сост. О.А. Степанов, под общ. ред. В.Е. Пешехонова. — ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург, 2001.
26. Проблемы ГЛОНАСС. Технические аспекты. URL: http://rnd.cnews.ru/tech/news/top/index_science.shtml?2011/10/11/245300.
27. Шантель Дюбуа, Ограничения спутниковой навигации: проблемы GPS в Арктике. (*Chantelle Dubois. The Limits of Satellite Navigation: GPS Challenges in the Arctic*), 16 сентября 2018.

GNSS VULNERABILITY TRENDS ANALYSIS AND MAIN DIRECTIONS FOR THREAT REDUCTION

E.A. Lavrentiev, I.S. Vilegzhanin, S.U. Nesterov, D.P. Shabanov, E.N. Artemova

The article designates an important role of coordinate-time support systems (CTS) and global navigational satellite systems (GNSS) as a main component of CTS in all spheres of modern society.

At the same time, the GNSS vulnerability from unintended and intentional interference is underlined. A set of facts proving the GNSS vulnerability is performed.

The GNSS vulnerability is analyzed. An estimation to critical application of navigation-time technologies requiring protecting from interference influence (aviation, telecommunications etc.) was given. The definition to unintended and intentional interference was described. The intentional interference classification for electronic countermeasures and spoofing was represented, its brief description and proposals for GNSS vulnerability reduction from different interference types were performed.

The pulse-phase radio navigation systems (PHRNS) were considered as the most preferable ones for GNSS systems redundancy. It's noted that PHRNS are more persistent to unintended interference.

The articles concludes the effect of interference of different types on all radio navigational systems, the necessity to provide additional actions to decrease the vulnerability of navigational systems was emphasized. An advanced systems, redundant the GNSS, were underlined; an importance of introduction of jamming background control means into air traffic management system was pointed out. The significance of issues elaboration for mutual influence of radio aids and utilization of spectrum was emphasized, i.e. it's necessary to organize an integrated and system usage of all types of equipment in air traffic safety ensuring.

Поступила 1 июля 2019 года.

НАУЧНЫЕ РЕЦЕНЗИИ И ОТЗЫВЫ



Андреев Г.И., Созинов П.А., Тихомиров В.А. **Управленческие решения при проектировании радиотехнических систем.** Монография / под ред. П.А. Созинова. – М.: Радиотехника, 2018. – 560 с.

Рецензенты: д-р техн. наук, профессор В.Д. Ивченко, д-р техн. наук, профессор А.Ю. Мушков.

В работе впервые достаточно подробно раскрыты основные положения теории проектирования и рассмотрены вопросы методологии создания систем автоматизированного проектирования, принципиальные положения которой реализованы в обобщенной методике организации процесса проектирования радиотехнических систем.

Осуществлена детальная проработка теоретических положений по реализации методов верификации в автоматизированной процедуре проверки выполнения требований к программно-аппаратным комплексам автоматизированного проектирования.

Большое внимание уделено вопросам формирования собственных и внешних оснований теории проектирования, при этом существенно детализирована концепция формирования оснований математической модели стратегического прогноза и оценки эффективности принимаемых проектных решений.

Материалы работы могут представлять интерес для аспирантов, научных сотрудников и руководителей, деятельность которых связана с проектированием и управлением техническими, экономическими и социальными процессами.



Ефремова М.В., Иванов И.М., Курушин А.А. **Моделирование СВЧ-приборов с помощью программы CST Particle Studio.** – М.: СОЛОН-Пресс, 2019. – 332 с.

Рецензенты: канд. техн. наук, профессор Л.А. Белов; д-р техн. наук, профессор С.Л. Моругин.

Книга посвящена моделированию устройств с носителями зарядов. Это электронные лампы, клистроны, магнетроны, лампы бегущей волны.

Моделирование и проектирование таких приборов выполняется с помощью современных систем проектирования, в качестве которой авторами выбрана система CST STUDIO SUITE и её утилита CST Particle Studio.

Программа разработана основанной в 1992 году компанией CST, которая активно работает в области мультифизических САПР СВЧ.

Книга предназначена для специалистов, занятых в области проектирования электронных СВЧ приборов.