

ВЕСТНИК

ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОБОРОНЫ

Научно-технический рецензируемый журнал

Выпуск № 1(21), 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:

М.А. Горбачёв, д-р техн. наук

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

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

А.И. Даниленко, д-р техн. наук

М.В. Жестев, канд. техн. наук

Г.В. Зайцев, д-р техн. наук

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

В.А. Кашин, д-р техн. наук, профессор

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

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

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

В.С. Оконешиников, д-р техн. наук

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

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

С.П. Соколов, д-р техн. наук

П.И. Стариковский, д-р техн. наук

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

А.А. Трухачев, д-р техн. наук

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

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

Технический редактор: М.А. Лайков

Корректор: А.Н. Борзова

Компьютерная верстка: О.А. Пыхонина

☎ редакции (499) 940-02-22

доб. 79-06, 14-99, 17-23, 16-00

E-mail: aspirantura@gskb.ru

izd.group@gskb.ru

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

В.С. Верба, В.И. Меркулов, А.С. Пляшечник

Обзор методов оценки угроз при воздушном противоборстве 5

И.Ф. Лозовский

Обнаружение и измерение параметров гиперзвуковых целей в РЛС ВТИ 15

И.И. Маркович, А.А. Марьев

Селекция движущихся целей с измерением дальности, радиальной скорости и направления движения 31

► **Применение сил и средств ВКО**

А.А. Трухачев

Применения импульсов с линейной частотной модуляцией для автосопровождения целей 41

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

В.П. Алешин, Е.А. Гришин, О.А. Ивлев, Д.Д. Новгородцев, В.Д. Шаргородский

Методы и алгоритмы реконструкции изображений с лазерным подсветом в ближнем ИК-диапазоне 58

А.Н. Бруевич

Коэффициент передачи линии, не согласованной с двух сторон 70

А.А. Губанов, А.Н. Кравцов, Е.Н. Кузнецов, А.В. Панюшкин, А.О. Подосинников, И.Л. Чернышев

Оптимальные носовые части фюзеляжей околозвуковых летательных аппаратов 77

А.В. Ключников

Обработка измерительных сигналов в процессе динамической балансировки летательного аппарата 86

В.С. Оконешиников, А.А. Пахомов, К.К. Севостьянов

Моделирование обработки сигнала с обратной синусоидальной частотной модуляцией 93

Вестник воздушно-космической обороны:
Научно-технический журнал/
ПАО «НПО «Алмаз», 2019 г.
№ 1(21). С. 1–132

Подписано в печать 21.02.2019 г.
Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 7,2. Тираж 1000 экз.
Заказ № 138053

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.

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

Б.М. Пантелеев, В.В. Кириллов
*Оценка качества принимаемых сигналов при работе РЛС
с моноимпульсным методом измерения угловых координат
многочастотными сигналами* 101

► Прикладные задачи применения информационных технологий

В.М. Алдошин, И.И. Ковтун
*Функциональное моделирование в процессе оценки реализуемости
проектов комплексной автоматизации предприятий
оборонно-промышленного комплекса* 106

**А.Р. Бестугин, В.А. Завьялов, С.Г. Петухов, О.И. Саута,
Н.А. Шатраков**
*Метод верификации координатной информации ГНСС
в корабельных комплексных системах наблюдения,
ближней навигации и посадки летательных аппаратов* 117

► Аналитические исследования зарубежного опыта

**Г.Б. Гуров, М.В. Жестев, С.В. Голубчиков, С.В. Аксёнов,
В.А. Васильев, В.К. Новиков**
*Современное состояние
и перспективы развёртывания системы ПРО ТНААД* 122

► Научные рецензии и отзывы..... 132

CONTENTS

► Topical issues on Aerospace defense system and elements arrangement

V.S. Verba, V.I. Merkulov, A.S. Plyashechnik

Threat evaluation methods review under aerial confrontation5

I.F. Lozovskiy

Detection and parameters measuring of hypersonic targets in the external track measuring radar..... 15

I.I. Markovich, A.A. Maryev

Maneuvering targets discrimination with measurement of its range, radial speed and movement direction31

► Aerospace defense systems and components application

A.A. Trukhachev

Applications of pulses with linear frequency modulation for tracking of targets41

► Design-engineering and technological research works

V.P. Aleshin, E.A. Grishin, O.A. Ivlev, D.D. Novgorodtsev, V.D. Shargorodskii

Methods and algorithms for images reconstruction with near infrared laser illumination.....58

A.N. Bruevich

Transmission coefficient of line, unmatched on both sides70

A.A. Gubanov, A.N. Kravtsov, E.N. Kuznetsov, A.V. Panushkin,

A.O. Podosinnikov, I.L. Chernishov

Optimum fuselage nose sections of transonic aircraft77

A.V. Klyuchnikov

Measuring signals processing during flying vehicle's dynamic balancing86

V.S. Okoneshnikov, A.A. Pahomov, K.K. Sevostyanov

Signal processing modeling with inverse sine frequency modulation93

B.M. Panteleev, V.V. Kirillov

Received signals evaluation during radar operation with monopulse measuring technique of angular coordinates by multi-frequency signals..... 101

IT applied application tasks

V.M. Aldoshin, I.I. Kovtun

Functional models for IT-projects feasibility assessment at enterprises of military-industrial complex 106

A.R. Bestugin, V.A. Zavyalov, S.G. Petukhov, O.I. Sauta, N.A. Shatrakov <i>Verification method of GNSS coordinate information in shipboard integrated surveillance, short-range navigation and landing systems of aircraft</i>	117
► Foreign experience analytic research	
G.B. Gurov, M.V. Zhestev, S.V. Golubchikov, S.V. Aksenov, V.A. Vasiliev, V.K. Novikov <i>Current state and deployment of THAAD missile defense system</i>	122
► 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 629.7.058

ОБЗОР МЕТОДОВ ОЦЕНКИ УГРОЗ ПРИ ВОЗДУШНОМ ПРОТИВОБОРСТВЕ

© Авторы, 2019

В.С. Верба доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ,
член-корреспондент РАН, генеральный конструктор, АО «Концерн «Вега», г. Москва
E-mail: from_fn@mail.ru

В.И. Меркулов доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ,
зам. генерального конструктора, АО «Концерн «Вега», г. Москва

А.С. Плещеник кандидат физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник, АО «Концерн «Вега», г. Москва
E-mail: a_plyashechnik@mail.ru

Приведён обзор различных методов оценки угроз. Рассмотрены обоснование актуальности задачи оценки угроз, классификация методов, возможные факторы, влияющие на уровень угрозы, а также требования к реализации систем оценки угроз. Приведён обзор детерминистских и вероятностно-интеллектуальных методов оценки угроз.

Ключевые слова: оценка угроз, поддержка принятия решений, воздушное противоборство.

The article states an overview of threat evaluation methods. The threat evaluation problems relevance justification, methods classification, attributes that influence the threat level and requirements to threat evaluation system were examined. The article contains a review of deterministic and probabilistic-intellectual methods of threat evaluation.

Keywords: threat evaluation, decision support, aerial confrontation.

В работе рассматриваются различные подходы к решению задачи оценки угроз на основе открытых отечественных и зарубежных источников. Приводится перечень качественных и количественных признаков, выделяемых различными авторами как существенные для получения оценки угрозы.

Одной из основных характеристик противника является оценка его возможности нанесения урона нашим летательным аппаратам. Для её оценки, как правило, используют детерминистские методы, основанные на применении определённых гипотез движения, дающих возможность вычислять предполагаемый промах и время перехвата.

Другой основной характеристикой противника является его намерение причинить вред. Сложность её оценки обусловлена слабыми пространственно-временными связями объектов и отсутствием чётких причинно-следственных связей, что во многом является следствием неопределённости человеческого поведения и намерений. Поэтому наиболее перспективными методами оценки угроз являются вероятностно-интеллектуальные методы, которые лежат в основе подходов к разработке систем искусственного интеллекта. Они позволяют учитывать неопределённость поставленной задачи и неполную уверенность в получаемых результатах. В статье рассматриваются три подхода к таким задачам оценки угроз, основанных на использовании нечёткой логики, байесовских сетей и нейронных сетей.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Frenkel G., Paterson Th. S., Smith M.E.** *SDI Battle Management / C3 Algorithms, Technology Program Plan* // Institute for Defensive Analyses, 1988.
2. **Looney C.G., Liang L.R.** *Cognitive situation and threat assessments of ground battlespaces. Information Fusion.* – 2003, Vol. 4(4). – P.297–308.
3. **Liebhauer M.J., Smith C. A. P.** *Naval air defense threat assessment: Cognitive factors and model* // Command and Control Research and Technology Symposium, 2000.
4. **Roux J.N., van Vuuren J.H.** *Threat evaluation and weapon assignment decision support: A review of the state of the art* // ORION. – 2007, Vol. 23(2). – P.151–187.
5. **Roux J.N., van Vuuren J.H.** *Real-time threat evaluation in a ground based air defence environment* // ORION. – 2008, Vol. 24(1). – P.75–101.
6. **Верба В.С., Богачёв А.С., Меркулов В.И., Михеев В.А.** Двухэтапное ранжирование воздушных целей по степени опасности при функционировании БРЛС в режиме многоцелевого сопровождения // Радиотехника. – 2018, №2. – С.69–79.
7. **Меркулов В.И., Пляшечник А.С.** Ранжирование опасных целей по анализу возможности наведения в наивыгоднейшую точку встречи // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2018, №5.
8. **Pek Hui Foo, Gee Wah Ng, Khin Hua Ng, Rong Yang.** *Application of Intent Inference for Air Defense and Conformance Monitoring* // Journal of Advances in Information Fusion. – 2009, Vol. 4, №1.
9. **Kumar S., Tripathi B.K.** *Modelling of threat evaluation for dynamic targets using bayesian network approach* // Procedia Technology. – 2016, Vol. 24. – P.1268–1275.
10. **Johansson F., Falkman G.** *A Bayesian network approach to threat evaluation with application to an air defense scenario* // Proceedings of 11th International Conference on Information Fusion. – 2008. – P.1–7.
11. **Dahlbom A., Nordlund P.** *Detection of Hostile Aircraft Behaviors using Dynamic Bayesian Networks* // Proceedings of the 16th International Conference on Information Fusion. – 2013. – P.2033–2040.
12. **Wang G., Guo L., Duan H.** *Wavelet Neural Network Using Multiple Wavelet Functions in Target Threat Assessment* // The Scientific World Journal. – 2013, 7 pages.
13. **Azimirad E., Haddadnia J.** *Target threat assessment using fuzzy sets theory* // International Journal of Advances in Intelligent Informatics. – 2005, Vol. 1, №2. – P.57–74.
14. **Dongfeng C., Yu F., Yongxue L.** *Threat Assessment for Air Defense Operations Based on Intuitionistic Fuzzy Logic* // Procedia Engineering. – 2012, Vol. 29. – P.3302–3306.
15. **Liebhauer M.J., Feher B.** *Air Threat Assessment: Research, Model, and Display Guidelines* // Defense Technical Information Center. – 2002, 16 pages.
16. **Авиационные системы радиоуправления. Т.2. Радиоэлектронные системы самонаведения** / под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2003.
17. **Авиационные системы радиоуправления. Т.3. Системы командного радиоуправления. Автономные и комбинированные системы наведения** / под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2003.
18. **Верба В.С.** *Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Принципы построения. Проблемы разработки и особенности функционирования* – М.: Радиотехника, 2014.
19. **Riveiro M., Helldin T., Lebram M., Falkman G.** *Towards future threat evaluation systems: user study, proposal and precepts for design* // Proceedings of the 16th International Conference on Information Fusion. – 2013. – P.1863–1870.
20. **Многофункциональные радиолокационные комплексы истребителей** / под ред. В.Н. Лепина – М.: Радиотехника, 2014.
21. **Авиация ПВО России и научно-технический прогресс: боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра** / под ред. Е.А. Федосова. – М.: Дрофа, 2005.
22. **Попов И.М., Хамзатов М.М.** *Война будущего. Концептуальные основы и практические выводы* – М.: Кучково поле, 2017.
23. **Zadeh L.A.** *Fuzzy Sets* // Information & Control. – 1965, Vol. 8. – P.338–353.
24. **Заде Л.** *Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с англ.* – М.: Мир, 1976. – 165 с.

THREAT EVALUATION METHODS REVIEW UNDER AERIAL CONFRONTATION

V.S. Verba, V.I. Merkulov, A.S. Plyashechnik

The article considers different approaches to solution of threat evaluation problem based on open indigenous and foreign sources. A list of qualitative and quantitative attributes for threat estimation that considered by different authors as important ones is provided.

One of the main purposes is an estimation of enemy possibilities for causing harm to our flight vehicles. Deterministic methods are usually used for its estimation that are based on certain movement hypothesis application permitting calculation of anticipated miss distance and interception time.

The main enemy feature is an intention to inflict harm. The complexity of its estimation is stipulated by weak objects spatially time correlation and absence of distinct cause-and-effect relationship that largely follows from uncertainty of human behavior and intent. Thus, we consider probabilistic and intellectual methods of threat evaluation as the most promising. It allows considering the uncertainty of formulated problem and limited confidence in obtained results. The article examines three approaches to such problems of threat estimation based on fuzzy logic, Bayesian networks and neural networks.

Поступила 15 мая 2018 года.

ОБНАРУЖЕНИЕ И ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИПЕРЗВУКОВЫХ ЦЕЛЕЙ В РЛС ВТИ

© Автор, 2019

И.Ф. Лозовский доктор технических наук, старший научный сотрудник,
зам. начальника НТО, АО «НПО НИИИП-НЗиК», г. Новосибирск
E-mail: lozov-igor@yandex.ru

Рассматривается задача обнаружения и измерения дальности и скорости гиперзвуковых целей (ГЗЦ) в РЛС внешнетраекторных измерений (ВТИ). Для упрощения реализации обработки сигналов предлагается метод, основанный на применении для первичного обнаружения ГЗЦ когерентной пачки немодулированных (НМ) сигналов. По оценкам дальности ГЗЦ в нескольких обзорах определяются их радиальные скорости, что позволяет на 2-м этапе с зондированием пачкой ЛЧМ-сигналов с большой девиацией обойтись уменьшенным числом каналов по скорости. В работе приведены результаты расчётов и имитационного моделирования предложенной упрощённой системы обнаружения и измерения параметров ГЗЦ в РЛС ВТИ.

Ключевые слова: гиперзвуковая цель, когерентное накопление, пачка ЛЧМ-сигналов, девиация частоты, вероятность обнаружения, измерение скорости и дальности цели, частота Доплера, местные предметы.

The task of hypersonic targets (HST) detection, range and velocity measuring in the external track measuring (ETM) radar is considered. To simplify the signal processing equipment application the method, based on coherent continuous wave (CW) signal burst using for primary HST detection, is offered. Radial velocities are defined based on HST range estimates in several surveys that allows dispensing with reduced velocity channels number at the 2-nd stage with great deviation LFM signals burst sounding. The article states the calculations and simulation results of proposed simplified system of HST detection and parameters measuring in EPM radar.

Keywords: hypersonic target, coherent accumulation, LFM (chirp) signal burst, frequency deviation, probability of detection, measuring of target range and velocity, Doppler frequency, ground features.

В статье рассматривается задача обнаружения и измерения дальности и скорости гиперзвуковых целей в РЛС внешнетраекторных измерений (ВТИ). Высокие требования к точности измерения параметров гиперзвуковых целей, имеющих низкую ЭПР и движущихся с предельно высокими скоростями, приводят к существенному увеличению числа каналов обработки сигналов по дальности и скорости. Для упрощения реализации обработки сигналов предлагается метод, основанный на применении для первичного обнаружения целей сигналов с невысокой разрешающей способностью по дальности, например, ЛЧМ сигналов с низкой девиацией частоты, не требующих многоканальности по дальности при когерентном накоплении (КН) пачки импульсов. После измерения скорости целей по отметкам в соседних обзорах применяются сигналы с высоким разрешением по дальности (например, ЛЧМ с большой девиацией). Обнаружение сигналов и измерение их параметров производится при этом только в диапазоне скоростей цели, определяемом данными вторичной обработки, что позволяет после подстройки весовых коэффициентов согласованного фильтра и КН обойтись уменьшенным числом каналов по скорости и без многоканальности по дальности. В работе приведены результаты имитационного моделирования предложенной упрощённой и оптимальной систем обнаружения и измерения параметров гиперзвуковых целей в РЛС ВТИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современная радиолокация, пер. с англ. / под ред. Ю.Б. Кобзарева. – М.: Сов. Радио, 1969. – 704 с.
2. **Лозовский И.Ф.** Цифровая обработка сигналов в РЛС обзора: монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – 270 с.
3. **Трухачев А.А.** Адаптивные пороговые уровни в устройствах обнаружения радиолокационных сигналов. – М.: НПО «Алмаз», 2017. – 344 с.

4. **Ширман Я.Д., Манжос В.Н.** Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.
5. **Левин Б.Р.** Теоретические основы статистической радиотехники. В 3-х кн. Кн.3. – М.: «Сов. радио», 1976. – 288 с.
6. **Карлин С.** Основы теории случайных процессов. – М.: Мир, 1971. – 536 с.
7. **Бакулев П.А., Степин В.М.** Методы и устройства селекции движущихся целей. – М.: Радио и связь, 1986. – 288 с.

DETECTION AND PARAMETERS MEASURING OF HYPERSONIC TARGETS IN THE EXTERNAL TRACK MEASURING RADAR

I.F. Lozovskiy

The article considers the detection and parameters measuring task of hypersonic targets in the external track measuring radar (ETM). High requirements to parameters measuring accuracy of hypersonic targets, having a low radar cross-section (RCS) and moving with extremely high speeds lead to significant increase of signal processing channels numbers in range and velocity. To simplify the implementation of signal processing the method based on application for primary detection signals with low range resolution, for example, LFM signals with low frequency deviation, not requiring the multi-target channeling in range during coherent integration (CI) of pulse train is proposed. After targets velocity measuring by marks in neighboring surveys the signals with high resolution in range (for example, LFM signals with large frequency deviation) are applied. Signals detection and its parameters measuring is carried out herewith only in target speed ranges, defined by secondary processing data that allows after matched filter and CI weights coefficients fine adjustment to dispense with reduced channel number in velocity and manage without multi-target channeling in range. The paper presents simulation results of proposed simplified and optimal detection and parameters measuring systems of hypersonic targets in ETM radar.

Поступила 22 мая 2018 года.

СЕЛЕКЦИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ С ИЗМЕРЕНИЕМ ДАЛЬНОСТИ, РАДИАЛЬНОЙ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ

© Авторы, 2019

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

А.А. Марьев кандидат технических наук,
старший научный сотрудник, НКБ цифровой обработки сигналов ЮФУ, г. Таганрог
E-mail: aamarev@sfnedu.ru

В статье описывается устройство обработки радиолокационных сигналов, позволяющее по одной паре отражённых импульсов зондирующего сигнала определить дальность до цели, её скорость и направление движения. При этом устраняется неоднозначность измерения дальности, обусловленная доплеровским смещением по частоте. Также рассмотрены возможности оптимизации характеристик устройства в зависимости от приоритетности решаемых задач.

Ключевые слова: цифровая обработка сигналов, разрешающая способность, селекция движущихся целей.

The article describes the radar signals processing device, which allows determining the range on target, its speed and flight direction based on one pair of reflected pulses of sounding signal. Herewith, the ambiguity of range measurement caused by the Doppler shift in frequency is eliminated. In addition, the possibilities of the device characteristics optimizing, depending on solving tasks priority, were examined.

Keywords: digital signal processing, target resolution, discrimination of moving targets.

При оценке тактической обстановки радиолокационный комплекс решает задачи обнаружения и оценки параметров целей: дальности, скорости и направления движения. Решение поставленных задач желательно осуществить достаточно быстро, чтобы не допустить применения активных прицельных по частоте помех. В то же время, решение задачи селекции движущихся целей (СДЦ) классическими методами требует достаточно продолжительного времени. В статье предлагается метод, использующий сигнал в виде пар ЛЧМ-импульсов с противоположными законами модуляции. Метод позволяет решить задачу СДЦ в течение двух периодов излучения. При этом задачи обнаружения, оценки дальности, скорости и направления движения могут решаться одновременно. Приведены результаты моделирования, подтверждающие эффективность метода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дудник П.И., Кондратенков Г.С., Татарский Б.Г., Ильчук А.Р., Герасимов А.А. Авиационные радиолокационные комплексы и системы: учебник для слушателей и курсантов ВУЗов ВВС / под ред. П.И. Дудника. – М., Изд-во ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2006. – 1112 с.
2. Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы. Пер. с англ. / под ред. В.С. Кельзона. – М., Изд-во «Советское радио», 1971. – 568 с.
3. Маркович И.И., Копытин А.П., Марьев А.А. Цифровая обработка сигналов в радиолокационном комплексе, использующем зондирующие сигналы с линейной частотной модуляцией и изменяющимся знаком девиации частоты // Материалы III Всероссийской НТК «Суперкомпьютерные технологии» (СКТ-2014). – Т.2. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2014. – С.235–239.

4. **Маркович И.И.** Алгоритм селекции движущихся целей с череспериодной компенсацией огибающих сигналов. Радиолокационные системы специального и гражданского назначения. 2015–2017 / под ред. Ю.И. Белого. – М.: Радиотехника, 2016.
5. Патент 2626380 РФ, МПК-2015.01 G01S 13/52; G01S 13/58. Маркович И.И., Марьев А.А. Система селекции движущихся целей с измерением дальности, радиальной скорости и направления движения. № 2016141527, заявл. 21.10.2016, опубл. 26.07.2017. Бюл. изобр. № 21, 2017.
6. **Маркович И.И.** Реализация алгоритмов цифрового формирования квадратурных составляющих в локационных комплексах различного назначения // Вестник компьютерных технологий. – 2006, № 6. – С.16–21.
7. **Маркович И.И.** Цифровая обработка сигналов в системах и устройствах: монография. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2012. – 236 с.
8. **Stuart W.A.** Bergen, **Andreas Antoniou** Design of Ultraspherical Window Functions with Prescribed Spectral Characteristics // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2004, №13. – P.2053–2065.

MANEUVERING TARGETS DISCRIMINATION WITH MEASUREMENT OF ITS RANGE, RADIAL SPEED AND MOVEMENT DIRECTION

I.I. Markovich, A.A. Maryev

When assessing the tactical situation, the radar complex solves the targets detection and parameters estimation task in its range, speed and movement direction. It is desirable to accomplish the set of tasks quickly enough to prevent the use of active frequency-oriented interference. At the same time, the moving targets discrimination (MTD) problem solution by classical methods requires sufficiently prolonged period. The article proposes a method that uses a signal in the form of pairs of chirp pulses with opposite modulation laws. The method permits to solve the MTD problem for two radiation periods. In this case, the targets detection, its range, speed and direction of movement estimation tasks can be solved simultaneously. The modeling results are performed, which confirm the effectiveness of the method.

Поступила 31 июля 2018 года.

ПРИМЕНЕНИЕ СИЛ И СРЕДСТВ ВКО

УДК 621.396.96

ПРИМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ С ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ДЛЯ АВТОСОПРОВОЖДЕНИЯ ЦЕЛЕЙ

© Автор, 2019

А.А. Трухачев доктор технических наук, старший научный сотрудник,
начальник отдела, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: info@raspletin.com

Рассматриваются вопросы обнаружения и активного сопровождения сложной баллистической цели на внеатмосферном участке траектории. Вместе с боевым блоком в одном угловом положении могут находиться корпус баллистической ракеты и ложные цели. Подавлять мешающие отражения от корпуса и ложных целей позволяет прямоугольный импульс с линейной частотной модуляцией, обладающий низким уровнем боковых лепестков взаимно-корреляционной функции. Анализируются вопросы измерения задержки принимаемых сигналов. Рассматривается рекуррентное сглаживание замеров. Оцениваются возможности устранения дальностно-скоростной неопределённости, проявляющейся систематическим сдвигом непосредственных замеров дальности при неизвестной доплеровской частоте.

Ключевые слова: обнаружение радиолокационного сигнала, ЛЧМ импульс, дальностно-скоростная неопределённость, сопровождение цели при использовании ЛЧМ импульсов, дискриминационная характеристика, статистическое моделирование.

Questions of detection and tracking of the exoatmospheric ballistic missile are considered. Together with the reentry vehicle in one beam there can be fragments of the booster, final missile stage and false targets. Allows suppress the interference from the booster and false targets the rectangular chirp pulse having the low level of sidelobes of cross-ambiguity function. Questions of measurement of a delay of the incoming signals are analyzed. Recurrent smoothing of measurements is considered. Possibilities of elimination of the range-Doppler coupling which is shown systematic shift of direct measurements of range with an unknown Doppler frequency are evaluated

Keywords: radar signal detection, linear FM pulse (Chirp), range-Doppler coupling, chirp radar tracking, discriminator response, Monte Carlo simulation.

Анализируются особенности применения ЛЧМ импульсов для обнаружения и автосопровождения целей. Особенности обусловлены дальностно-скоростной неопределённостью, присущей ЛЧМ сигналам. Дальностно-скоростная неопределённость состоит в том, что получаемые единичные замеры задержки сигнала отличаются от истинной задержки. Отличие обусловлено тем, что скорость цели неизвестна.

Предполагается, что в момент передачи цели на автосопровождение известно ориентировочное значение скорости цели, полученное при зондированиях импульсом, в котором отсутствует внутриимпульсная модуляция.

При обнаружении и сопровождении целей используется линейка каналов обнаружения, в которой каналы настроены на различные значения задержки, но все каналы настроены на одно и то же значение частоты.

Весовой обработкой ЛЧМ импульса можно обеспечить низкий уровень боковых лепестков взаимно корреляционной функции, что позволит наблюдать слабые полезные сигналы на фоне интенсивных мешающих отражений от крупноразмерных целей.

Анализируется формирование замеров задержки сигнала с помощью двух каналов. Представлены рисунки с дискриминационными характеристиками.

Особое внимание уделено методам обработки получаемых результатов, которые позволяют избавиться от дальностно-скоростной неопределённости и получить истинную дальность до цели. Представлены простые методы обработки результатов и указаны пути усовершенствования методов обработки единичных замеров задержки.

Дальнейшие исследования осуществлялись с помощью статистического моделирования. При этом учитывались реальные ошибки измерений. Проверялась работоспособность исследуемого метода оценки истинной дальности в условиях, когда скорость цели не является постоянной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Великанов В.Д., Галкин В.И., Захарченко И.И., Копошилко Ю.И., Малютин А.С., Михайлов Л.В. Радиотехнические системы в ракетной технике. – М.: Воениздат, 1974. – 340 с.
2. Грани «Алмаза»: История в событиях и лицах, 1947 – 2002: 55 лет / Сост.: С. Касумова, П. Проказов. – М.: 2002. – 192 с.
3. Трухачёв А.А. Радиолокационные сигналы и их применения. – М.: Воениздат, 2005. – 320 с.
4. Fitzgerald R.J. Effects of Range-Doppler Coupling on Chirp Radar Tracking Accuracy. *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, 1974, vol. AES-10, № 4. – P.528–532.
5. Волочков Е.Б. Измерение дальности ЛЧМ сигналом при неизвестной доплеровской частоте // Радиотехника. – 1991, № 11. – С. 17–19.
6. Трофименко М.А., Фарбер В.Е. Оценка влияния наличия скоростной ошибки при измерениях дальности в РЛС с ЛЧМ-сигналом на границы устойчивости алгоритмов оценки дальности и радиальной скорости // Радиотехника. – 2015, № 10. – С.7–16.
7. Кузьмин С.З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: Сов. радио, 1974. – 432 с.
8. Трухачёв А.А. Анализ процедур и алгоритмов обнаружения сигналов. – М.: Радио и связь, 2003. – 248 с.

APPLICATIONS OF PULSES WITH LINEAR FREQUENCY MODULATION FOR TRACKING OF TARGETS

A.A. Trukhachev

Features of application of LFM pulses for detection and tracking of the targets are analyzed. Features are caused by the range-Doppler coupling inherent in LFM signals. Range-Doppler coupling consists that the measurements of signal delay differ from a true delay. Difference is caused by the fact that the velocity of the target is unknown.

It is supposed, that at the moment of target transfer on tracking the approximate value of velocity of the target observed at radar probings by an pulse in which there is no intra pulse modulation is known.

At detection and tracking of the targets the line of detection channels in which channels are adjusted on different values of a delay is used, but all channels are adjusted on the same value of frequency.

It is possible to provide with weighting techniques the low level of sidelobes of cross-ambiguity function. It will allow to observe weak desired signals against the background of the intensive interfering reflections from the large-size targets.

Formation of measurements of signal delay by means of two channels is analyzed. Curves of the discriminator response are presented.

Special attention is paid to methods of processing of the obtained results which allow to get rid of range-Doppler coupling and to derive true range to the target. Simple methods of processing of results are presented and ways of improvement of methods of processing of measurements of a delay are specified.

Further researches were carried out by means of Monte Carlo simulation. Real errors of measurements were thus considered. Working capacity of an investigated method of an estimation of true range in conditions when velocity of the target is not a constant was checked.

Поступила 13 августа 2018 года.

ИССЛЕДОВАНИЯ В СФЕРЕ ПРОЕКТНО- КОНСТРУКТОРСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ

УДК 021.21

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ЛАЗЕРНЫМ ПОДСВЕТОМ В БЛИЖНЕМ ИК-ДИАПАЗОНЕ

© Авторы, 2019

В.П. Алешин кандидат технических наук,
старший научный сотрудник, ОАО «НПК «СПП», г. Москва
E-mail: aleshin_vl@mail.ru

Е.А. Гришин кандидат технических наук,
зам. генерального конструктора, главный конструктор, АОЛЦ, ОАО «НПК «СПП», г. Москва

О.А. Ивлев кандидат технических наук,
зам. начальника научно-технического комплекса, ОАО «НПК «СПП», г. Москва

Д.Д. Новгородцев
начальник группы, ОАО «НПК «СПП», г. Москва
В.Д. Шаргородский доктор технических наук, профессор,
генеральный конструктор, ОАО «НПК «СПП», г. Москва

Для получения изображений космических аппаратов (КА) с лазерным подсветом в ближнем ИК-диапазоне в телескопе предусмотрено два инструмента – трёхсопряжённая широкопольная адаптивная оптическая система (АОС) и спекл-интерферометр. Канал управления гибким зеркалом АОС работает только в видимом диапазоне при наличии солнечного излучения. Для получения изображений в ближнем ИК-диапазоне в режиме подсвета в АОС предусмотрена дополнительная ИК-камера исправленного изображения. Спекл-интерферометр имеет два канала, что позволяет вести наблюдения как в видимом, так и в ближнем ИК-диапазоне в режиме подсвета без солнечного излучения. В работе рассмотрены потенциальные возможности спекл-интерферометра, как в режиме подсвета, так и совместно с солнечным излучением. Описаны основные особенности алгоритма реконструкции изображений КА и оцениваются возникающие проблемы.

Ключевые слова: спекл-интерферометрия, искусственный спутник Земли (ИСЗ), биспектральная обработка.

In order to obtain images of space vehicles (satellites) with laser illumination in the near-IR range, two instruments are provided in the telescope – a three-conjugated wide-angle adaptive optical system (AOS) and a speckle interferometer. The AOS flexible mirror control channel operates only in the visible range in the presence of solar radiation. To obtain images in the near-infrared range in the illumination mode, an additional IR camera of the corrected image is provided in the AOS. The speckle interferometer has two channels, which makes it possible to observe both in the visible and in the near-IR range in the mode of IR illumination without solar radiation. The potential possibilities of the speckle interferometer, both in the IR illumination mode and in conjunction with solar radiation, are considered in this paper. The main features of reconstruction algorithm of space vehicle image are described and the emerging problems are estimated.

Keywords: speckle-interferometry, artificial earth satellite, bispectral processing.

Рассматривается новый комплекс на основе большеапертурного телескопа (апертура 3.12 м), находящийся на этапе завершения ОКР. В работе изложены результаты оценки потенциальной эффективности канала детальных изображений с точки зрения получения и качества изоб-

ражений ИСЗ (искусственный спутник Земли). Рассматривается спекл интерферометрическая схема получения изображений и биспектральная обработка. Данный метод работает как в видимом, так и в ближнем ИК диапазоне с возможностью подсвета. Предложен натурно-математический способ моделирования оптических изображений на основе метода индуцированной виртуальной среды. При моделировании в качестве функций рассеяния атмосферы использовались реальные спекл интерферометрические изображения звезд. Орбиты и геометрия ИСЗ задавались исходя из реальных орбит и 3D форм ИСЗ. Дополнительно моделировались фотонные шумы и шумы считывания. Рассмотрен большой набор различных вариантов орбит и 3D форм ИСЗ. Проанализирована проблема нелинейных искажений. Моделирование проводилось в различных условиях турбулентности атмосферы (2", 4"). Оценивались следующие характеристики: количество кадров накопления в зависимости от орбиты и формы ИСЗ; интенсивность шумов; тип и параметры биспектральной обработки; энергетические характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алешин В.П., Гришин Е.А., Ивлев О.А., Новгородцев Д.Д., Шаргородский В.Д. Большеапертурные телескопы в задачах околоземной астрономии // Кинематика и физика небесных тел. – 2016, т.32, 5(191). – С.68–74.
2. Курикша А.А. Квантовая оптика и оптическая локация. – М.: Советское радио, 1973. – 183 с.
3. Холёво А.С. Квантовые системы, каналы, информация. Электронное издание. М.: МЦНМО, 2014. 327 с.
4. Antoine Labeyrie. Attainment of diffraction limited resolution in large telescopes by Fourier analyzing speckle patterns in star images, *Astronomy and Astrophysics*. – P.85–87.
5. Lohmann A.W., Weigelt G., Wirtzer B. Speckle masking in astronomy – Triple correlation theory and applications, *Applied Optics*, volume 22, 1983. – P.4028–4037.
6. Lawrence T.W., Goodman D.M., Fitch J.P. Speckle imaging of satellites at the U.S. Air Force Maui Optical Station // *Appl. Opt.* 31. – 1992. – P.6307–6321.
7. Roggemann M.C., Caudill E.L., Tyler D.W., Fox M.J., VonBokern M.A. and Matson C.L. Compensated speckle imaging: Theory and experimental results // *Appl. Opt.* 33. – 1994. – P.3099–3110.
8. Rastegaev D.A., Balega Yu.Yu., Maksimov A.F., Malogolovets E.V., Dyachenko V.V. Speckle interferometry of metal-poor stars in the solar neighborhood. – 2008, *Astrophysical Bulletin*, II, V.63, issue 3. – P.278–289.
9. Balega Y., Blazit A., Bonneau D., Koechlin L., Foy R. and Labeyrie A. The Angular Diameter of Betelgeuse, *Astron. Astrophys.* – 1982, P.253–256.
10. Алешин В.П., Балега Ю.Ю., Гришин Е.А., Максимов А.Ф., Дьяченко В.В., Малоголовец Е.В., Комаринский С.Л., Новгородцев Д.Д., Шаргородский В.Д. Большеапертурные телескопы в задачах получения изображений геостационарных космических аппаратов для целей ситуационной оценки космической обстановки // Электромагнитные волны и электронные системы. – М.: «Радиотехника», 2011, т.16, №3. – С.9–17.
11. Алешин В.П., Балега Ю.Ю., Максимов А.Ф., Комаринский С.Л., Новгородцев Д.Д. Спекл-интерферометрия геостационарных ИСЗ: реальность и перспективы // Вестник СИБГАУ. – 2011, вып. 6(39). – С.154–158.
12. Brandoch Calef. Speckle imaging with a partitioned aperture: experimental results, *Proc. Amos conference*. – 2009, P.1–6.
13. Calef B. and Therkildsen E. Improving large-telescope speckle imaging via aperture partitioning in *Proceedings of the AMOS Technical Conference*, (2008).
14. Алешин В.П., Афанасьев В.О., Байгозин Д.А., Батурин Ю.М., Клименко С.В. Система визуализации индуцированного виртуального окружения: состояние проекта // Сборник трудов XIV Международной конференции «Графикон-2004». – М.: Изд-во МГУ, 2004. – С.12–15.
15. Алешин В.П. Научная визуализация в околоземной астрономии // Экологический вестник научных центров ЧЭС. – 2017, т.2, №4. – С.20–27.
16. Алешин В.П. Технология виртуальной 3D-среды в обратных задачах анализа визуального восприятия и интерпретации изображений // Труды XXVI Международной научной конференции «Графикон 2016», Институт Физико-технической информатики, Москва, Протвино. – С.9–13.
17. Beckmann P., Spizzichino A. The Scattering of Electromagnetic Wave from Rough Surfaces. – Pergamon Press, 1963. – 497 p.
18. He X.D., Torrance K.E., Sillion F.X., Greenberg D.P. A Comprehensive Physical Model for Light Reflection // *Computer Graphics*. July 1991, Vol. 25, №4. – P.175–186.
19. Cook R.L., Torrance K.E. A Reflectance Model for Computer Graphics // *ACM Transaction on Graphics*. – January 1982, Vol.1, №1.
20. Torrance K.E., Sparrow E.M. Theory for Off-Specular Reflection from Roughened Surfaces // *Journal of the Optical Society of America*. – September 1967, 57(9). – P.1105–1114.
21. Phong B.T. Illumination for Computer Generated Pictures // *Communications of the ACM*. – June 1975, 18(6). – P.311–317.
22. Бакут П.А., Мандросов В.И., Матвеев И.Н., Устинов Н.Д. Теория когерентных изображений. – Радио и связь, 1987. – 259 с.
23. Белецкий В.В. Движение искусственного спутника относительно центра масс. – М.: Наука, 1965. – 416 с.
24. Новгородцев Д.Д., Алешин В.П., Гришин Е.А., Юрасов В.С. Методы и программы прогноза оптических изображений и фотометрических сигналов космических аппаратов (КА) // Электромагнитные волны и электронные системы. – М.: «Радиотехника», 2011, т.16, №3. – С.18–29.
25. Алешин В.П., Новгородцев Д.Д., Выгон В.Г., Гришин Е.А., Шаргородский В.Д. Мониторинг аварийных ситуаций ИСЗ на основе измерений и прогноза изображений адаптивной оптики и фотометрических сигналов // Международная конференция «Околоземная астрономия 2011». – Красноярск, Вестник СИБГАУ, вып. 6(39). – С.159–165.
26. Aleshin V.P., Grishin E.A., Shargorodsky V.D., Novgorodtsev D.D. Altay Optic-Laser Center Capability To Satellites Emergencies Estimation, 9th US/Russian Space Surveillance Workshop. – Listvyanka, Irkutsk, 2012. – P.1–23.

27. **Алешин В.П., Гришин Е.А., Иншин П.П., Новгородцев Д.Д., Шаргородский В.Д.** Оценка аварийных ситуаций на космических аппаратах по изображениям адаптивной оптики Алтайского оптико-лазерного центра // Электромагнитные волны и электронные системы. – М.: «Радиотехника», 2011, т.16, №3. – С.30–35.
28. **Алешин В.П.** Моделирование и восстановление оптических изображений в околоземной астрономии // Экологический вестник научных центров ЧЭС. – 2013, т.3, №4. – С.7–12.
29. **Алешин В.П.** Наземные системы получения оптических изображений космических аппаратов и обратные задачи // Электромагнитные волны и электронные системы. – М.: «Радиотехника», 2014, №8. – С.60–67.

METHODS AND ALGORITHMS FOR IMAGES RECONSTRUCTION WITH NEAR INFRARED LASER ILLUMINATION

V.P. Aleshin, E.A. Grishin, O.A. Ivlev, D.D. Novgorodtsev, V.D. Shargorodskii

A new complex is considered which is based on a larger aperture telescope (aperture 3.12 m) and is at the completing stage of R&D works. The paper presents the estimating results of the potential efficiency of the detailed image channel in terms of obtaining and quality of satellite imagery (artificial earth satellite).

Speckle interferometric imaging scheme and bispectral processing are considered. This method works both in the visible and in the near-IR range with the possibility of illumination. A full-scale-mathematical method of optical images modeling based on induced virtual environment method is proposed. In the simulation, the real speckle interferometric images of stars were used as the scattering functions of the atmosphere. The orbits and geometry of satellites were set based on real orbits and 3D forms of satellites. In addition, photon noise and read noise were modeled.

The article considers a large set of different versions of orbits and 3D forms of artificial satellite. The problem of nonlinear distortion is analyzed. The simulation was carried out under different conditions of atmospheric turbulence (2", 4"). The following characteristics were evaluated: the number of accumulation frames depending on the orbit and the satellite shape; noise intensity; type and parameters of bispectral processing; energy characteristics.

Поступила 19 сентября 2018 года.

УДК 621.373

КОЭФФИЦИЕНТ ПЕРЕДАЧИ ЛИНИИ, НЕ СОГЛАСОВАННОЙ С ДВУХ СТОРОН

© Автор, 2019

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

Показано, что коэффициент передачи линии, не согласованной с двух сторон, при изменении длины линии меняется в пределах, которые, кроме потерь в линии, зависят от величины КСВ генератора и нагрузки, но не зависят от фаз коэффициентов отражений.

Ключевые слова: коэффициент передачи линии, КСВ генератора и нагрузки, фаза коэффициента отражения.

It is shown that the line transmission coefficient, unmatched on both sides, when the line length is measured, varies within the limits, which, in addition to losses in the line, depend on the generator SWR and the load value, but do not depend on phases of reflection coefficients.

Keywords: coefficient of transmission line, standing-wave indicator (SWR) generator and load, phase of reflection coefficient.

Показано, что коэффициент передачи линии, не согласованной с двух сторон, может меняться в пределах, зависящих только от КСВ генератора и нагрузки, но не зависящих от фаз их коэффициентов отражений. Получены простые соотношения, позволяющие определить эти пределы, которые зависят от потерь рассогласования генератора и нагрузки с кабелем их связывающим и потерь в самом кабеле.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Фано Р.М.** Теоретические ограничения полосы согласования произвольных импедансов. – Москва, Советское радио, 1965.
2. **Калантаров П.Л., Нейман Л.Р.** Теоретические основы электротехники. – Ленинград, Москва, Государственное энергетическое издательство, 1951.
3. **Фельдштейн А.Л., Явич П.Р.** Синтез четырехполюсников и восьмиполусников на СВЧ. – Москва, «Связь», 1971.
4. **Реза Ф. и Сили С.** Современный анализ электрических цепей. – Москва, Ленинград, «Энергия», 1964.

TRANSMISSION COEFFICIENT OF LINE, UNMATCHED ON BOTH SIDES

A.N. Bruevich

It is shown that the line transmission coefficient, unmatched on both sides, can vary within the limits depending only on generator SWR and load, but not dependent on phases of its reflection coefficients. Simple relations were obtained permitting to determine these limits. The limits depend on the oscillator mismatch losses and the load with linking cable and losses in cable itself.

Поступила 4 июля 2018 года.

ОПТИМАЛЬНЫЕ НОСОВЫЕ ЧАСТИ ФЮЗЕЛЯЖЕЙ ОКОЛОЗВУКОВЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© Авторы, 2019

А.А. Губанов кандидат технических наук,
начальник отдела, ФГУП «ЦАГИ им. профессора Н.Е. Жуковского», г. Жуковский, Московская обл.
А.Н. Кравцов кандидат технических наук, доцент,
начальник сектора, ФГУП «ЦАГИ им. профессора Н.Е. Жуковского», г. Жуковский, Московская обл.
Е.Н. Кузнецов кандидат физико-математических наук, доцент,
старший научный сотрудник, ФГУП «ЦАГИ им. профессора Н.Е. Жуковского», г. Жуковский, Московская обл.
А.В. Панюшкин
научный сотрудник, ФГУП «ЦАГИ им. профессора Н.Е. Жуковского», г. Жуковский, Московская обл.
А.О. Подосинников
младший научный сотрудник, ФГУП «ЦАГИ им. профессора Н.Е. Жуковского», г. Жуковский, Московская обл.
E-mail: anton.podos@gmail.com
И.Л. Чернышев кандидат технических наук,
начальник отдела, ФГУП «ЦАГИ им. профессора Н.Е. Жуковского», г. Жуковский, Московская обл.

В предлагаемой статье представлены результаты экспериментальных исследований, проведённых в аэродинамических трубах ЦАГИ, опубликованные в «Докладах Российской Академии наук» за 1991, 1994, 1999, 2005 и 2007 годы, которые позволили доказать, что оптимальной, с точки зрения аэродинамических характеристик, носовой частью околозвукового летательного аппарата является так называемая полукаверна Рябушинского, представляющая собой носовой диск, соединённый поверхностью тока с цилиндрическим фюзеляжем, и обладающая при этом максимально возможным объёмом. Получены координаты носовых частей в виде полукаверны Рябушинского с плоским затуплением, которые могут быть рекомендованы для установки на корпусах околозвуковых летательных аппаратов.

Ключевые слова: аэродинамические характеристики, скорость звука, околозвуковой поток, критическое число Маха, скачок уплотнения, местная сверхзвуковая зона, кавитационная каверна Рябушинского, численное моделирование, оптимизация параметров носовой части корпуса ЛА.

The article states the experimental results conducted in the Central Institute of Aerohydrodynamics wind-tunnel facility and published in the «Russian Academy of Sciences papers» in 1991, 1994, 1999, 2005 and 2007, which permitted to prove that with respect to aerodynamic characteristics the optimum fuselage nose section of transonic flight vehicle is so called Ryabushinsky semi-cavity, representing the nose disc connected by the stream surface with cylindrical fuselage, and having herewith a maximum possible volume. The coordinates of nose sections were obtained in form of Ryabushinsky semi-cavity with plain blunting which can be recommended for mounting on fuselage of transonic aircraft.

Keywords: aerodynamic characteristics, sound speed, nearly-sonic flow, critical Mach number, compression shock wave, local supersonic region, Ryabushinsky cavitation cavity, numerical modelling, forebody flight vehicle parameter optimization.

Характер течения около наиболее востребованной формы ЛА – осесимметричного тела, до сих пор привлекает внимание исследователей. Выбор оптимальных форм для заданных условий полета – основная задача с самого начала развития аэродинамики. Определение формы осесимметричной носовой части ЛА является одной из классических задач аэродинамики.

При скоростях полета, близких к скорости звука, выбор формы носовой части корпуса летательного аппарата обусловлен требованием наименьшего волнового сопротивления. Критерием этого принято значение числа Маха $M_{кр}^*$, соответствующего появлению скачка уплотнения, замыкающего местную сверхзвуковую зону. Критическое число Маха при обтекании тела вращения заданной длины и объема достигает максимального значения, когда тело образовано двумя соосными дисками, поставленными поперек набегающего потока газа и соединенными поверхностью тока, в каждой точке которой реализуется скорость звука. Это осесимметричный

случай, исследованный в работе [1], оптимальных по критическому числу Маха тел. Аналогом этого течения в несжимаемой жидкости является так называемое течение Рябушинского, в котором область постоянного давления за диском, поставленным поперек потока, замыкается на симметричном относительно плоскости миделевого сечения каверны «отражённом» диске [2]. При обтекании тела вращения заданной длины и объема околзвучковым потоком кавитационная каверна Рябушинского [2] обладает максимальным значением нижнего критического числа Маха $M_{кр}^*$, связанного с появлением звуковой точки или звуковой линии на обтекаемой поверхности [1].

В работах [3-5] построена форма образующей, так называемой полукаверны Рябушинского, а в [6-7] экспериментально показано, что в околзвучковом потоке газа среди тел с одинаковым удлинением носовой части $\lambda=L/D$, где L , D – её длина и диаметр миделя, полукаверна Рябушинского имеет наименьшее лобовое сопротивление. Значительный выигрыш в объеме полукаверны Рябушинского дает основание исследовать её в качестве носовой части фюзеляжа околзвучкового ЛА.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Gilbarq D., Shiffman M.* On bodies achieving extreme values of the critical Mach number. – 1954, *J. Rat. Mech. and Anal.*, v.3, №2. – P.209–230.
2. *Riabouchinsky D.* On steady fluid motion with free surfaces. – 1920 (изд. 1921 года), *Proc. London Math. Soc.*, v.19, ser.2. – P.206–215.
3. **Кожуро Л.А.** Расчёт осесимметричного струйного обтекания тел по схеме Рябушинского. – 1980, Учёные записки ЦАГИ, т.XI, №5.
4. **Кожуро Л.А.** Диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук. – М., МФТИ, 1980.
5. **Кузнецов Е.Н.** Интерполяционные формулы для построения носовых частей корпусов околзвучковых летательных аппаратов // *Техника воздушного флота.* – 2002, № 1-2.
6. **Вышинский В.В., Кузнецов Е.Н.** Исследование обтекания тел вращения с образующей Рябушинского // *Доклады Академии наук.* – 1991, т.321, №1.
7. **Вышинский В.В., Кузнецов Е.Н.** Исследование обтекания носовых частей тел вращения с образующей Рябушинского. – 1995, *Труды ЦАГИ*, вып. 2571.
8. *Машиностроение. Энциклопедия*, т.IV-21. Самолёты и вертолёты: Кн.1. Аэродинамика, динамика полёта и прочность. – М.: Машиностроение, 2002. – 800 с.
9. **Петров К.П.** Аэродинамика элементов летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1985. – 272 с.
10. **Баринов В.А., Кузнецов Е.Н., Скоморохов С.И., Чернышев И.Л.** Критическое число Маха при обтекании околзвучковым потоком газа тел вращения с образующей Рябушинского // *Доклады Академии наук.* – 2005, т.404, №2.
11. **Кузнецов Е.Н.** Сопротивление тел вращения с GENERETRIX Рябушинского в околзвучковом потоке газа // *Доклады Академии наук.* – 1994, т.334, №2.
12. **Баринов В.А., Болсуновский А.Л., Бузоверя Н.П., Кузнецов Е.Н., Скоморохов С.И., Чернышев И.Л.** Исследование обтекания околзвучковым потоком газа модели самолета с носовой частью фюзеляжа в виде полукаверны Рябушинского // *Доклады Академии наук.* – 2007, т.416, №4.
13. *Hirsch C.* *Numerical Computational of Internal and External Flows.* – John Wiley and Sons, 2007.

OPTIMUM FUSELAGE NOSE SECTIONS OF TRANSONIC AIRCRAFT

A.A. Gubanov, A.N. Kravtsov, E.N. Kuznetsov, A.V. Panushkin, A.O. Podosinnikov, I.L. Chernishov

The flow regime of a near most popular flight vehicle (FV) shape – axially symmetric body, still attracts attention of researchers. The choice of optimum shapes for specified flight conditions – is the main task of aerodynamics from the very beginning of its development. Shape determination of axisymmetric FV nose part is one of the classical aerodynamics problems.

At flight velocities close to sound speed, the shape selection of FV forebody is stipulated by the requirement of the lowest shock-wave drag. The criteria for it is M_{cr}^* Mach number value, corresponding to emerging of compression shock wave, closing the local supersonic region. The critical Mach number at flow over rotary (axisymmetric) body of specified length and volume achieves a maximum value when the body is comprised by two coaxial discs placed transversally to gas approach flow and connected by stream surface, in each point of which the sound speed is presented. This axi-symmetrical case of optimal bodies in critical number of Mach studied in [1] paper. The analog to this flow in incompressible liquid is so called Ryabushinsky flow in which

the region of constant pressure behind the disc placed transversally to the flow, is closed relatively to cavity midsection plain on symmetrical «reflected» disc [2]. At flow over rotary body of specified length and volume by transonic flow the Ryabushinsky cavitation cavity [2] has a maximum value of low critical M_{cr}^* Mach number, connected with emerging of sonic point or sonic line on streamlined surface [1].

In [3–5] papers the form of so called generating Ryabushinsky semi-cavity was plotted, and in [6–7] papers it was demonstrated by experiments that in gas transonic flow among bodies with equal nose fineness ratio $\lambda = L/D$, where L , D – is its length and midsection diameter, Ryabushinsky semi-cavity has a lowest frontal drag. Significant advantage in Ryabushinsky semi-cavity volume gives a ground for its research as nose part of transonic aircraft fuselage.

Поступила 29 июня 2018 года.

УДК 621.828

ОБРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ В ПРОЦЕССЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ БАЛАНСРОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

© Автор, 2019

А.В. Ключников

начальник конструкторского отдела, РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина,
г. Снежинск, Челябинская обл.
E-mail: a.klyuchnikov@bk.ru

В статье обсуждается вопрос обработки сильно «зашумлённых» синусоидальных измерительных сигналов, поступающих от первичных пьезоэлектрических преобразователей в ходе балансировки летательного аппарата на динамическом балансировочном стенде с газостатическими подшипниками. Приведён алгоритм обработки сигналов. В процессе обработки используются специализированные усилительные и частотно-избирательные электронные устройства, а также методы цифровой обработки сигналов, обеспечивающие высокую точность измерений параметров сигналов.

Ключевые слова: балансировка, ротор, измерение, сигнал, шум, фильтрация, частота вращения.

The article states issue on processing of sinusoidal «highly noisy» measuring signals from primary piezoelectric transducers during balance of flying vehicle at dynamic balancing stand equipped with gas bearings. The signals processing algorithm is presented. Special methods and devices for amplification and digital filtration the signals are used during signals processing.

Keywords: balancing, rotor, measurement, signal, noise, filtration, frequency of rotation.

Точность движения по заданной траектории, снижение вероятности появления аномальных режимов полёта в значительной степени зависит от качества балансировки летательного аппарата (ЛА), как правило, выполняемого на завершающем этапе общей сборки с использованием специализированного контрольно-измерительного оборудования. Учитывая высокие характеристики точности динамических балансировочных стендов, закономерным явлением можно считать наблюдающуюся в последнее время тенденцию к использованию для этих целей методов и средств динамической балансировки.

Для бесконтактного прецизионного определения параметров массо-инерционной асимметрии ЛА, представляющих собой длинномерное тело вращения конической формы, спроектирован низкочастотный вертикальный балансировочный стенд с опорами, выполненными в виде конических газостатических подшипников. Искомые параметры массо-инерционной асимметрии рассчитывают по результатам измерений дисбалансов контролируемого аппарата, вращающегося в опорах с постоянной угловой скоростью. Сигналы, поступающие в измерительную систему стенда от двух пьезоэлектрических датчиков силы, установленных в упругих элементах опор, и несущие в себе информацию о дисбалансах контролируемого аппарата, представляют собой аддитивную смесь с широкополосными сигналами помехи, мощность которых может в сотни раз превышать мощность полезного сигнала. Причинами возникновения сигналов помехи могут быть неидеальность сопрягаемых рабочих поверхностей контролируемого объекта и газостатических подшипников, собственные резонансы колебательной системы стенда, трибоэлектрические эффекты в измерительных кабелях и ряд других.

В статье рассматриваются аппаратный, программно-методический и конструктивный аспекты решения задачи обработки измерительных сигналов. Приведена структурная схема алгоритма обработки измерительных сигналов. Алгоритм реализован с применением методов аналоговой и цифровой фильтрации и обеспечивает высокую точность измерений параметров сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правдин В.М., Шанин А.П. Баллистика неуправляемых летательных аппаратов. – Снежинск: Издательство ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», 1999. – 496 с.
2. Ключников А.В., Абышев Н.А. Методический подход для директивного назначения нормативов точности стендового оборудования при определении характеристик массо-инерционной асимметрии беспилотных летательных аппаратов // Труды международного симпозиума «Надёжность и качество» (Пенза, 21–31 мая 2018 год): в 2-х томах. – Пенза: Издательство ПГУ, 2018, т.2. – С.30–32.
3. ГОСТ 22061-76. Машины и технологическое оборудование. Система классов точности балансировки. – М.: Издательство стандартов, 1977. – 139 с.
4. Балансировочный стенд с вертикальной осью вращения: Патент РФ на изобретение №2292533 МПК G01M 1/02 / Глазырина Л.М., Карповицкий М.С., Ключников А.В., Мальгин А.И., Смирнов Г.Г., Фомин Ю.П. // БИ, 2007. №3.
5. Абышев Н.А., Андреев С.В., Ключников А.В. Конструктивные особенности стенда для диагностики характеристик асимметрии масс летательных аппаратов // Авиакосмическое приборостроение. – 2015. №1. – С.39–45.
6. Пат. РФ №2499985. Способ балансировки ротора в одной плоскости коррекции / А.В. Ключников; опубл. 27.11.2013, Бюл. №33.
7. Ключников А.В. Численный алгоритм оптимизации процесса уравнивания конической летающей модели на динамическом балансировочном стенде // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета. – 2016, т.17, №2. – С.309–317.
8. Ключников А.В., Лысых А.В., Чертков М.С. Метрологические аспекты модели уравнивания летательного аппарата на динамическом балансировочном стенде // Вестник Концерна ПВО «Алмаз-Антей». – 2015, №1. – С.43–48.
9. Брех Е.Т. Применение измерительных систем фирмы «Брюль и Кьер» для измерения механических колебаний и ударов. – Себорг: «К.Ларсен & сын», 1973. – 308 с.
10. Барнс Дж. Электронное конструирование: Методы борьбы с помехами. – М.: Мир, 1990. – 238 с.
11. Ключников А.В., Кузнецов А.В., Лысых А.В., Цынгурова Л.Д., Шалашов С.В. Особенности контроля частоты вращения в процессе балансировки летательных аппаратов на динамическом стенде // Сборник трудов IV Всероссийской научно-технической конференции «Радиовысотометрия» (Каменск-Уральский, 22–24 октября 2013 г.). – Екатеринбург: Издательство «Форт Диалог-Исеть», 2013. – С.195–198.
12. Ключников А.В. Прецизионный контроль параметров массо-инерционной асимметрии тел вращения с использованием балансировочного стенда с газовыми опорами // Сборник трудов V научно-технической конференции НПОА «Ракетно-космическая техника» (Екатеринбург, 8–9 апреля 2010 год), серия XI: «Системы управления ракетных комплексов»: в 3-х частях. – Екатеринбург: Издательство ФГУП «НПО автоматики им. академика Н.А. Семихатова», 2010, Ч.2. – С.52–58.
13. Ключников А.В., Самарцев А.А., Симонова Н.Ф. Алгоритм функционирования компьютерной программы стенда исследования характеристик асимметрии распределения масс тела // Труды международного симпозиума «Надёжность и качество» (Пенза, 21–31 мая 2012 год): в 2-х томах. – Пенза: Издательство ПГУ, 2012, т.1. – С.319–322.

MEASURING SIGNALS PROCESSING DURING FLYING VEHICLE'S DYNAMIC BALANCING

A.V. Klyuchnikov

The movement accuracy in predetermined trajectory, the reducing of abnormal flight conditions possibilities substantially depend on flying vehicle (FV) balancing quality, generally conducted at final phase of its assembling using the special-purpose test and measuring equipment. Taking into account the high accuracy characteristics of dynamic balancing stands, the recently observed trend in use for this purpose of methods and means of dynamic balancing can be considered as the regular event.

For non-contact precise parameters determination of FV mass-inertial asymmetry, presenting the long-length conical-shaped rotary body, the low-frequency vertical balancing stand with supports in form of conical hydrostatic gas bearings was designed. The required parameters of mass-inertial asymmetry are calculated based on measuring results of misbalances of checked vehicle, rotating in supports with constant angular speed. The signals coming to measuring stand system from two piezoelectric load measuring element mounted in springing elements of bearing. The signals carrying the information on misbalances of checked vehicle are the additive mixture with wideband noise signals the power of which can increase in hundred times the power of valid signal. The noise signals appearing reason can be none ideality of adjoined working surfaces of checked vehicle and hydrostatic gas bearings, natural resonance of the stand oscillating system, triboelectric effects in measuring cables and so on.

The article examines the hardware, program-methodical and design aspects for measuring signals processing problem solution. The structural scheme of measuring signals processing algorithm is performed. An algorithm is represented with use of analog and digital filtering methods and provides a high measuring accuracy of signals parameters.

Поступила 29 июня 2018 года.

УДК 621.396.96

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА С ОБРАТНОЙ СИНУСОИДАЛЬНОЙ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

© Авторы, 2019

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

А.А. Пахомов доктор технических наук,
ведущий инженер, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

К.К. Севостьянов кандидат технических наук,
ведущий инженер, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

Представлены результаты моделирования сжатия сигнала с прямоугольной огибающей и арксинусной частотной модуляцией. При сжатии сигнала предложено использовать окно Хемминга (косинус на пьедестале) с изменёнными весовыми коэффициентами, зависящими от базы сигнала. Определены оптимальные значения коэффициентов оконной функции такие, что уровень боковых лепестков сжатого сигнала не превышает минус 42 дБ при минимальных потерях на рассогласование. Вычислены потери на рассогласование при сжатии сигнала при определённых таким образом коэффициентах для различных значений базы сигнала.

Ключевые слова: обработка сигналов, сигналы с линейной и нелинейной частотной модуляцией, сжатый сигнал, согласованный фильтр, уровень боковых лепестков, весовая функция, база сигнала, отношение «сигнал/шум», потери на рассогласование.

Simulation results of signal compressing with square envelope and arcsine frequency modulation are presented. Hamming window (raised cosine on a pedestal) with modified weight coefficients depending on signal base has been proposed to use in signal compressing procedure. Optimum window function coefficients have been defined with the following condition: side lobe level of compressed signal not exceeding minus 42 dB within minimum mismatch loss. Mismatch losses for signal compressing procedure was calculated with these coefficients for a set of signal base values.

Keywords: signal processing, linear and nonlinear frequency modulation signals, compressed signal, matched filter, side lobe level, window function, time-bandwidth product, signal to noise ratio, mismatch loss.

Рассматривается задача сжатия сигнала с прямоугольной огибающей и арксинусной частотной модуляцией. Для сжатия предложено использовать окно Хемминга (косинус на пьедестале) с изменёнными весовыми коэффициентами, зависящими от базы сигнала. Определялись весовые коэффициенты такие, что уровень боковых лепестков сжатого сигнала не превышает минус 42 дБ (как при использовании окна Хемминга для сжатия сигналов с линейной частотной модуляцией) при минимальных потерях на рассогласование. Представлены амплитудные спектры сигналов с арксинусной модуляцией, иллюстрирующих увеличение отклонения спектра сигнала от идеального с уменьшением базы сигнала. Представлена структура сжатых сигналов с использованием оконной функции и без ее использования. Приведена таблица с результатами подбора величины пьедестала окна Хемминга в зависимости от базы сигнала с указанием величин потерь на рассогласование. Определено, что с увеличением базы сигнала величина пьедестала стремится к значению 0.36 с потерями на рассогласование минус 0.25 дБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Завалий В.Н., Оконешников В.С. Методика вычисления зависимости частоты от времени в сигналах с нелинейной ЧМ, имеющих спектр мощности в виде косинус в N-степени // Журнал «Вестник воздушно-космической обороны». – М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2017, Выпуск 1(13). – С.80–86.
2. Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы. Пер. с англ. / под ред. В.С. Кельзона – М.: Сов. радио, 1971. – 568 с.

SIGNAL PROCESSING MODELING WITH INVERSE SINE FREQUENCY MODULATION

V.S. Okoneshnikov, A.A. Pahomov, K.K. Sevostiyarov

The article examines the signal compression problem with square envelope and arcsine frequency modulation. It's proposed to use the Hamming window (raised cosine on a pedestal) with modified weight coefficients depending on time-bandwidth product for compression. The window function coefficients have been defined with the following condition: side lobe level of compressed signal not exceeding minus 42 dB (as during use of Hamming window for signals compression with linear frequency modulation) within minimum mismatch loss. The amplitude signal spectrum with arcsine modulation was performed showing the deviation of signal spectrum from an ideal with decrease of time-bandwidth product. The compressed signals structure is performed using the window function and without it. The results table with matching of pedestal value of Hamming window depending on time-bandwidth product with specification of mismatch losses values. It's defined that by increasing of time-bandwidth product the pedestal value tends to 0.36 value with mismatch losses of minus 0.25 dB.

Поступила 12 октября 2018 года.

УДК 651.396

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРИНИМАЕМЫХ СИГНАЛОВ ПРИ РАБОТЕ РЛС С МОНОИМПУЛЬСНЫМ МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ МНОГОЧАСТОТНЫМИ СИГНАЛАМИ

© Авторы, 2019

Б.М. Пантелеев Заслуженный машиностроитель РФ,
зам. начальника СКБ, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: info@raspletin.com

В.В. Кириллов кандидат технических наук,
ведущий инженер, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

В статье рассматривается формирование оценки качества принимаемых сигналов по данным, полученным РЛС в одном рекуррентном периоде. Теоретические рассуждения сопоставляются с результатами анализа экспериментальных данных, полученными РЛС при работе по ИС.

Ключевые слова: оценка качества сигналов, средства контроля аппаратуры, сигнальная информация, сопровождаемые объекты.

The article states the formation of received signals quality evaluation according to data obtained by the radar in one recurrent period. The theoretical reasoning is associated with experimental data analysis results obtained by the radar operated on signal source.

Keywords: signal quality evaluation, equipment testing aids, signal information, tracked objects.

Использование многочастотных сигналов позволяет в каждом периоде зондирования по значениям эхо-сигналов провести оценку качества принимаемых сигналов и целесообразности их использования для дальнейшей обработки.

Оценка качества принимаемых сигналов проводится по отклонениям отношений величин принимаемых сигналов на рабочих частотах РЛС, которые определяются значениями ЭПР целей. Рассматриваемые оценки не заменяют средства контроля аппаратуры в отдельных каналах, а направлены на контроль комплексных характеристик принимаемых сигналов. Для проведения таких оценок не нужна дополнительная измерительная аппаратура типа вольтметров и осциллографов. Все операции выполняются на программном уровне в ходе проведения реальной работы.

При оценке качества любая сопровождаемая цель используется как источник тестовых сигналов, функции которого при проведении настроечных работ обычно выполняет эталонный отражатель, специально вводимый в состав наблюдаемых целей.

Описанный способ оценки качества принимаемых сигналов был использован при проведении обработки сигнальной информации, полученной по разным сопровождавшимся объектам.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ширман Я.Д.** Теоретические основы радиолокации. – Издательство «Советское радио», 1970.
2. **Пантелеев Б.М., Кириллов В.В.** Оценка качества информации, получаемой РЛС с параметрическим измерением угловых координат при работе многочастотным сигналом // Доклад на XI Международной НТК. – г. Воронеж, апрель 2005.

RECEIVED SIGNALS EVALUATION DURING RADAR OPERATION WITH MONOPULSE MEASURING TECHNIQUE OF ANGULAR COORDINATES BY MULTI-FREQUENCY SIGNALS

B.M. Panteleev, V.V. Kirillov

The use of multi-frequency signals permits to conduct quality evaluation of received signals and its feasibility for further processing in each sounding period according to returned signals values.

The received signals quality evaluation is carried out according to relations deviations of received signals values on radar working frequencies, which is defined by targets RCS values. The examined evaluations do not substitute the equipment testing aids in separate channels, but aimed at checking of integrated characteristics of received signals. To perform such evaluation there is no need in additional measuring tools of voltmeter and oscillography type. All operations are carried out at program level during real operation performance.

During quality evaluation, any tracked target is used as a source of test signals, the functions of which are commonly performed by reflector during adjustment works process, intentionally included as observable targets.

The described method of received signals quality evaluation was used during signal information processing obtained on different tracking objects.

Поступила 13 сентября 2018 года.

ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 65.012.23

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОЦЕССЕ ОЦЕНКИ РЕАЛИЗУЕМОСТИ ПРОЕКТОВ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

© Авторы, 2019

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

В статье обозначены основные проблемы в процессе оценки реализуемости проектов комплексной автоматизации предприятий отечественного оборонно-промышленного комплекса. Представлены основные направления научного исследования, цель которого – интеграция в рамках единого подхода известных методов оценки реализуемости и экономической эффективности инновационных проектов с математическими моделями и формальными методами, разработанными в рамках методологии функционального моделирования IDEF0.

Ключевые слова: оценка реализуемости проекта комплексной автоматизации, методология функционального моделирования IDEF0, интегральный, комплексные и частные показатели реализуемости.

The article underlines the basic problems that usually evolve at a time of feasibility assessment as well as technical and economic justification of IT projects. The article also defines the basic approaches of the ongoing scientific research consisted in the integration within a single methodology a number of known methods of technical and economic justification with mathematical models and formal methods developed in the methodology IDEF0.

Keywords: assessment of IT project feasibility, methodology IDEF0, integrated, comprehensive and partial indicators of feasibility.

Оценка реализуемости инвестиционного проекта проводится с целью более обоснованного понимания возможности его выполнения в установленные сроки. В совокупности с оценкой экономической эффективности, оценка реализуемости позволяет сделать вывод о необходимости и целесообразности реализации проекта. Предприятия военно-промышленного комплекса характеризуются широким спектром деятельности в т.ч. проектированием, разработкой, производством, реализацией продукции как военного, так и невоенного назначения. Отсюда, на первый взгляд, может показаться – внедрение автоматизированной системы управления на предприятии ВПК не отличается от автоматизации любого другого субъекта хозяйственной деятельности. Тем не менее, в статье выделяются особенности, которые целесообразно учитывать в процессе оценки реализуемости проектов таких предприятий. Данные особенности приводят

к выводу о целесообразности проведения анализа и оценки проекта автоматизации предприятия ВПК на основе частных и комплексных показателей с последующим формированием обобщенной оценки. При этом, значения таких показателей должны отражать состояние и результаты проекта в виде количественных оценок и качественных суждений. Формирование итогового суждения о реализуемости проекта комплексной автоматизации предприятия ВПК может сильно варьироваться в зависимости от диапазона и качества исходных данных, предоставленных для оценивания. При этом, одной из серьезных проблем, возникающих в процессе получения как частных, так и обобщенных оценок, является наличие субъективного фактора в процессе сбора таких исходных данных. Многократное недокументированное общение между системными аналитиками и представителями заказчика, между системными аналитиками и представителями контрагентов, как правило, является серьезной предпосылкой к формированию неверных суждений о различного рода ресурсах, необходимых для реализации проекта. Как известно, с целью повышения достоверности исходных данных, в процессе предпроектного обследования, проектирования, разработки и создания автоматизированных систем, все больший оборот набирают функциональные модели и основанные на них методологии описания информационных, материальных и финансовых потоков промышленных предприятий, в т.ч. функциональная модель IDEF0.

Принимая во внимание вышеизложенные факторы, сделан вывод о том, что интегральный показатель реализуемости проекта комплексной автоматизации *Ev* целесообразно получать на основе анализа функциональной модели IDEF0 предприятия. Представление информационных, материальных и финансовых потоков предприятия ВПК в рамках функциональной модели IDEF0 позволяет добиться значимого эффекта в процессе анализа информации, обсуждения проектных решений, проведения докладов и презентаций. В свою очередь, применение реляционной модели в качестве метамодели для модели IDEF0 позволяет добиться эффективного хранения и обработки полученной в ходе предпроектного обследования информации с помощью ЭВМ, а также простоты развития и сопровождения базы данных проекта комплексной автоматизации предприятия ВПК.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Алдошин В.М., Козелков О.А.** Системный анализ реализуемости проектов производства новой техники: монография. – М: Триумф, 2015. – 208 с.: ил.
2. **Орлов А.И.** Теория принятия решений. Учебное пособие. – М.: Март, 2004. – 656 с.
3. Стандарт Банка России СТО БР ИББС-1.2-2010. Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации. Методика оценки соответствия информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации требованиям СТО БР ИББС-1.0-20xx.
4. *Integration Definition for Function Modeling (IDEF0). Draft Federal Information Processing Standards Publication 183, 1993 December 21.*
5. РД 50.1.028-2001. Методология функционального моделирования IDEF0. Руководящий документ. Издание официальное. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 75 с.
6. Автоматизация предприятий ВПК с помощью программы «1C:ERP 2». – URL: re-port.ru/pressreleases/avtomatizacija_predpriyatij_vpk_s_pomoshhyu_programmy_1serp_2.
7. Исследование операций: В 2-х томах. Пер с англ. / под ред. М. Моудера, С. Элмаграби. – М.: Мир, 1981. Т.1.
8. **Мартин Дж.** Организация баз данных в вычислительных системах. – М.: Мир, 1980.
9. **Мейер Д.** Теория реляционных баз данных Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 608 с., ил.
10. **Ковтун И.И., Цаплин А.В.** Функционально-реляционное проектирование автоматизированных систем управления // Вестник воздушно-космической обороны. – М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2016, №4(12). – С.110–117.
11. **Алдошин В.М., Созинов П.А., Леманский Д.А.** Методы решения специальной математической задачи стохастического программирования в интересах распределения ресурсов по созданию сложных систем вооружения // Вестник воздушно-космической обороны. – М.: ОАО «ГСКБ Алмаз – Антей», 2014, №1(1). – С.7–12.

FUNCTIONAL MODELS FOR IT-PROJECTS FEASIBILITY ASSESSMENT AT ENTERPRISES OF MILITARY-INDUSTRIAL COMPLEX

V.M. Aldoshin, I.I. Kovtun

Feasibility evaluation of an investment project is carried out in order to better understand the possibility of its implementation in due time. Together with technical and economic justification, feasibility assessment allows to draw a conclusion about necessity and feasibility of the project. Enterprises of the military-industrial complex of Russian Federation are characterized by a wide range of activities including design, development, production, realization for both military and non-military purposes. From here, at first glance, it seems that deployment of automated control systems at abovementioned enterprises does not differ from automation of any other business entity. Nevertheless, the article highlights the features that should be taken into account during process of projects feasibility assessing for such enterprises. These features lead to the conclusion that analysis and evaluation of automation project on military-industrial complex enterprise is expedient on the basis of partial and comprehensive indicators, followed by formation of integrated assessment. Meanwhile, the values of such indicators should reflect the status and results of the project in form of quantitative estimates and qualitative judgments.

Final judgment about feasibility of complex automation project can vary greatly depending on range and quality of initial data that provided for evaluation. At the same time, one of the serious problems that arise throughout process of generating both private and generalized estimates is the presence of subjective factors which inevitably accompany process of collecting such initial data. Multiple undocumented interaction of system analysts and representatives of customer, system analysts and representatives of contractors, as a rule, is a serious prerequisite for incorrect judgments about various resources necessary for implementation of the project. It is known, in order to increase initial data reliability about production flows at a time of pre-design survey, design, development and creation of automated system of industrial enterprise, functional models and methodologies, including the functional model IDEF0, are gaining more and more momentum.

Taking into account the abovementioned factors, it is concluded that it is advisable to obtain feasibility integral indicator of complex automation project by analysis of the IDEF0 model of examined enterprise. For this purpose, the formal basis is proposed. It is shown, that data, material and financial flows reflected in the framework of the IDEF0 model allows to achieve significant effect during information analysis, design solutions discussion, presentations and reports preparation. In turn, usage of the relational model as metamodel for the IDEF0 model by way, proposed in the article, allows to achieve the solid groundwork for effective computer storage and processing of the information, obtained during pre-project survey, as well as simplicity of development and maintenance of automation project database.

Поступила 27 сентября 2018 года.

УДК 621.396.96

МЕТОД ВЕРИФИКАЦИИ КООРДИНАТНОЙ ИНФОРМАЦИИ ГНСС В КОРАБЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМАХ НАБЛЮДЕНИЯ, БЛИЖНЕЙ НАВИГАЦИИ И ПОСАДКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© Авторы, 2019

А.Р. Бестугин доктор технических наук, профессор,
директор, Институт радиотехники, электроники и связи,
зав. кафедрой конструирования и технологий электронных и лазерных средств ГУАП, г. Санкт-Петербурга

В.А. Завьялов
инженер 1-ой категории, АО «ВНИИРА», г. Санкт-Петербурга
E-mail: zavyalovvla@yandex.ru

С.Г. Петухов кандидат технических наук,
начальник НИО, АО «ВНИИРА», г. Санкт-Петербурга
E-mail: sgp-2000@mail.ru

О.И. Саута доктор технических наук,
начальник НИС, АО «Навигатор», г. Санкт-Петербурга

Н.А. Шатраков
специалист, АО «НТЦ Промтехазро», г. Москва

В статье рассмотрен и математически обоснован метод верификации радионавигационной информации ГНСС в корабельных комплексных системах наблюдения, ближней навигации и посадки летательных аппаратов. Полученные результаты позволяют значительно увеличить надёжность таких систем и повысить качество радионавигационных определений. Предложено новое направление научных исследований – синтез методов верификации координатной информации ГНСС, основанных на оценке взаиморасположения корреляционных эллипсоидов, описанных вокруг оценок координат местоположения летательного аппарата, полученных от ГНСС, инерциальной навигационной системы и различных внешних помехозащищённых источников.

Ключевые слова: глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС), системы навигации, системы посадки, нормальное распределение, ковариационная матрица, эллипсоид рассеивания.

The article considers and mathematically substantiates the method of verification of global navigation satellite system (GNSS) radionavigation information in the shipboard integrated surveillance, short-range navigation and landing systems of aircraft. The obtained results will significantly increase the reliability of such systems and improve the quality of radionavigation data. The new direction of scientific research has been proposed – synthesis of verification methods of GNSS coordinate information, based on an estimate of the relative position of correlation ellipsoids, described around the coordinate estimates of an aircraft location, obtained from GNSS, the inertial navigation system and various external noise-proof sources.

Keywords: GNSS, navigation systems, landing systems, normal distribution, covariance matrix, dispersion ellipsoid.

Предлагается способ повышения целостности информации глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) в корабельных комплексных системах наблюдения, ближней навигации и посадки летательных аппаратов (ЛА). Способ заключается в использовании внешних помехозащищённых источников для контроля целостности информации ГНСС. В качестве одного из таких внешних источников предлагается использовать азимутально-дальномерный радиомаяк из состава корабельной радиотехнической системы ближней навигации (РСБН). Предлагаемый контроль может быть организован путем сравнения данных, полученных в ре-

зультате комплексной обработки информации ГНСС и инерциальной навигационной системы (ИНС) ЛА с информацией, полученной в корабельной РСБН или от других внешних источников информации.

Решение о достоверности информации ГНСС может быть принято исходя из взаимного расположения корреляционных эллипсоидов, описанных вокруг оценок координат местоположения ЛА, полученных в результате комплексирования с информацией ИНС измерений внешнего помехозащищенного источника и ГНСС.

В качестве критерия достоверности информации ГНСС предлагается использовать факт наличия общих точек у областей внутри обоих корреляционных эллипсоидов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Вовк В.И.** Зональная навигация. – С-Пб.: АШ Центр автоматизированного обучения, 2004. – 127 с.
2. **Красильщиков М.Н.** Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 560 с.
3. **Амелин К.Б., Саута О.И., Шатраков Ю.Г., Бабуров С.В.** Математическая модель ошибок радиотехнических корабельных систем для исследования проблем автоматической посадки // Вестник Концерна ВКО «Алмаз-Антей». – М., 2017, №4. – С.65–71.
4. **Baburov V.I., Ivantsevich N.V., Sauta O.I.** GNSS-based technique of error matrix construction for radio-technical short-range navigation and landing systems // 25th Anniversary Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, State Research Center of the Russian Federation – Concern Central Scientific and Research Institute El-ektropribor, JSC on 28 – 30 May, 2018. – P.134–137.
5. **Вентцель Е.С.** Теория вероятностей и её инженерные приложения. – М.: Наука, 1988.
6. **Левин Б.Р.** Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Советское радио, 1976, Кн. 3. – 288 с.

VERIFICATION METHOD OF GNSS COORDINATE INFORMATION IN SHIPBOARD INTEGRATED SURVEILLANCE, SHORT-RANGE NAVIGATION AND LANDING SYSTEMS OF AIRCRAFT

A.R. Bestugin, V.A. Zavyalov, S.G. Petukhov, O.I. Sauta, N.A. Shatrakov

The subject matter of the proposed method of improving the information integrity of satellite-navigation systems in the shipboard integrated surveillance, short-range navigation and landing systems of aircraft is the use of external noise-free sources for monitoring the integrity of global navigation satellite system (GNSS) information. It is proposed to use the azimuth-ranging radio beacon from the ship's radio-proximity system of short-range navigation (SHORAN) as one of such external sources. The proposed control can be organized by comparing data obtained as a result of integrated processing of GNSS and aircraft inertial navigation system (INS) information with information obtained in the ship's SHORAN or from other external sources of information.

The decision on the reliability of GNSS information can be made on the basis of the relative position of the correlation ellipsoids described around the coordinate estimates of an aircraft location, obtained as a result of integration with the aircraft INS information of the external noise-free sources and GNSS.

As a criterion for the reliability of GNSS information, it is proposed to employ the presence fact of common points among the areas inside the correlation ellipsoids.

Поступила 21 января 2019 года.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА

УДК 623.764

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВЕРТЫВАНИЯ СИСТЕМЫ ПРО ТНААД

© Авторы, 2019

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

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

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

С.В. Аксёнов доктор военных наук, профессор

В.А. Васильев кандидат технических наук, доцент

В.К. Новиков кандидат военных наук, доцент

Рассматриваются вопросы назначения, состава, современного состояния и перспектив развития системы противоракетной обороны ТНААД в США, на Европейском континенте и в Азиатско-Тихоокеанском регионе в рамках развития глобальной эшелонированной противоракетной обороны.

Ключевые слова: противоракетная оборона, противоракета, радиолокационная станция, баллистическая цель.

The articles considers issues on purpose, composition, current state off deployment prospects of the US THAAD Missile Defense System, in Europe and Asian-Pacific Region within evolvement of the US global layered missile defense systeml.

Keywords: missile defense, interceptor, radar station, ballistic target.

США предоставили наивысший приоритет разработкам системам комплекса ПРО (противоракетная оборона), обеспечивающего защиту от баллистических ракет тактического и оперативно-тактического назначения (дальность до 3 500 км) под общим названием ТНААД (Terminal High Altitude Defense, ранее Theater High Altitude Area Defense – «Защита воздушного пространства на большой высоте на театре военных действий»).

Американская система ПРО ТНААД предназначена для перехвата тактических (ТРБ), оперативно-тактических баллистических ракет (ОТБР), баллистических ракет средней дальности (БРСД) на конечном участке траектории полёта посредством ударного кинетического воздействия в результате прямого попадания ракеты в цель.

Система ТНААД является верхним звеном эшелонированной национальной системы ПРО США, предназначенным для защиты важных стратегических и тактических объектов, таких как аэродромы и населенные пункты.

Организационно каждая батарея ТНААД должна включать в себя 3-6 транспортно-пусковых установок с 8 (10) противоракетами в каждой, многофункциональную радиолокационную станцию AN/TPY-2, а также два мобильных пункта боевого управления и средства материально-технического обеспечения.

К 2019 году планируется разместить семь батарей системы ТНААД.

США заключили контракт на поставку в Объединённые Арабские Эмираты трёх систем ТНААД и планируют поставить по одной батарее ТНААД в Японию и Израиль.

Комплексу ПРО ТНААД отводится крайне важное место в реализации программ стратегической и региональной ПРО, развертывании комплексов ПВО-ПРО как на территории США, так и на территории стран-партнеров Европейского и Азиатско-Тихоокеанского регионов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *An Annotated Briefing on Plan for Deployment of Theater and National Defense (Based on July 2, 1992 Briefing to the Press). By Ambassador Henry F. Cooper Director Strategic Defense Initiative.* – Washington, D.C. – 1993. – 50 p.
2. *Annual Report to the President and the Congress. By William S. Cohen.* – Washington, D.C. – 1998. – 219 + 71 p.
3. **Аксёнов С.В., Васильев В.А., Голубчиков С.В., Гуров Г.Б., Жестев М.В., Новиков В.К.** Современное состояние и перспективы развития ПРО США // «Вестник воздушно-космической обороны». – М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2018, № 2(18). – С.125–131.
4. **Васильев В.А., Голубчиков С.В., Новиков В.К.** Основы противодействия перспективным системам противоракетной обороны противника. – М.: РВСН, 2000. – 348 с.
5. **Ненартович Н.Э., Горевич Б.Н.** Система противоракетной обороны США. Анализ и моделирование. – М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2018. – 320 с.
6. *Missile Defense Agency. Research, Development, Test & Evaluation, Defense-Wide//Department of Defense Fiscal Year 2019 President's Budget Submission.* – 2018.
7. *Missile Defense Agency. Procurement, Defense-Wide//Department of Defense Fiscal Year 2019 President's Budget Submission.* – 2018.
8. *Missile Defense Agency. Defense Wide Justification Book Volume 2a of 5. Research, Development, Test & Evaluation, Defense-Wide//Department of Defense Fiscal Year 2019 Budget Estimates.* – 2018.
9. **Васильев В.А., Голубчиков С.В.** Создание и развертывание противоракетной обороны США и перспективы её развития до 2020 года // Вестник Академии Военных Наук. – 2015, №4(53). – С.136–144.

CURRENT STATE AND DEPLOYMENT OF THAAD MISSILE DEFENSE SYSTEM

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

The US gives the priority to R&D works in production of missile defense system providing protection against ballistic missiles of tactical and operational-tactical use (range up to 3 500 km), designated as THAAD system (Terminal High Altitude Defense, formerly Theater High Altitude Area Defense).

The US THAAD missile defense system is designed for terminal interception of tactical ballistic missiles, theater ballistic missiles, and medium-range ballistic missiles by delivery the direct kinetic impact to a target.

The THAAD system is an upper layer of the US multilayered national missile defense system providing protection of a key strategic and tactical objects, such as airfields and urban areas.

Each THAAD battery include 3-6 launchers with 8 (10) interceptors in each vehicle, AN/TPY-2 multifunctional radar, two mobile combat control systems and logistic support vehicles.

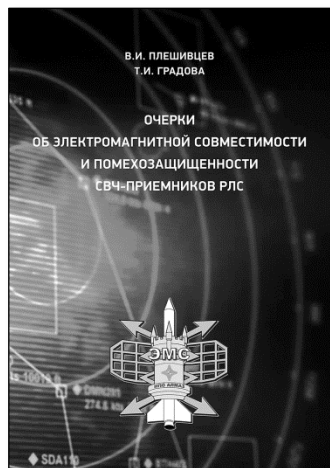
It's planned to deploy seven THAAD batteries in 2019.

The US signed a delivery contract with UAE for three THAAD systems and plans to supply one THAAD battery to Japan and Israel for each.

The US gives a significant attention to execution of strategic and regional missile defense programs, deployment of air defense and missile defense systems at the US territory and partners from the European continent and Asian-Pacific Region.

Поступила 1 ноября 2018 года.

НАУЧНЫЕ РЕЦЕНЗИИ И ОТЗЫВЫ



Плешивцев В.И., Градова Т.И. Очерки об электромагнитной совместимости и помехозащищенности СВЧ-приёмников РЛС. – М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2018, – 120 с.: ил.

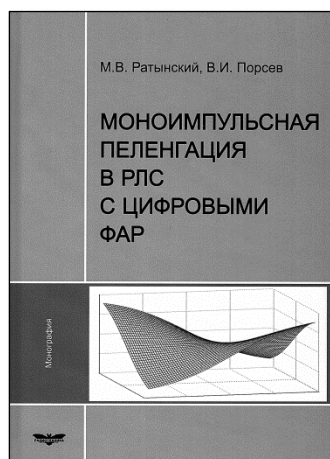
Рецензенты: д-р техн. наук, профессор В.М. Алдошин, канд. техн. наук М.Б. Митяшев, канд. техн. наук С.В. Быковский.

Разработка и введение в эксплуатацию множества радио-электронных и радиотехнических средств привели к возрастанию уровней магнитных полей, создаваемых ими на различных территориях и в воздушном пространстве. Электромагнитные поля являются помехами для других подобных устройств, ухудшают условия их функционирования, снижает эффективность их использования.

Ключевым аспектом в данном контексте является эффективность работы военных радиотехнических устройств, обеспечивающих оборону определённых территориальных районов.

В монографии рассмотрен ряд особенностей СВЧ-приёмников многоканальных МРЛС, работающих в локальных группировках, занимающих определённые территории земного и воздушного пространства. Изложены специальные характеристики и свойства отдельных узлов и приёмников, работающих в составе ФАР или АФАР. Показаны оптимальные варианты использования специализированных приёмников, сеток сигнальных, гетеродинных, промежуточных и контрольных частот, подходящих для совместной работы средств защиты, входящих в группировку. Приведены специальные практические требования к характеристикам электромагнитной совместимости / электромагнитным помехам приёмников МРЛС с учётом имеющихся помехоопасных элементов, а также методы их измерений.

Материалы работы могут представлять интерес для радиоинженеров, работающих в данном направлении, а также использоваться в качестве учебного пособия для студентов и аспирантов профильных высших учебных заведений.



Ратынский М.В., Порсев В.И. Моноимпульсная пеленгация в РЛС с цифровыми ФАР. Монография / под ред. В.И. Порсева. – М.: Радиотехника, 2019. – 160 с.: ил.

Рецензенты: д-р техн. наук, профессор В.В. Сазонов, д-р техн. наук, профессор В.М. Алдошин, д-р техн. наук, профессор Ю.С. Сагдуллаев.

В монографии в систематизированном виде изложен круг вопросов, относящихся к моноимпульсной пеленгации в РЛС с цифровыми ФАР. Рассмотрены суммарно-разностный и амплитудный методы пеленгации (включая статистический синтез оптимального алгоритма суммарно-разностной пеленгации) и даны их точностные характеристики (шумовые ошибки, влияние амплитудно-фазовых ошибок трактов и отказов, коррелированность ошибок двух угловых координат). Предложена аппроксимация пеленгационных характеристик, исследована проблема выбора

оптимального смещения парциальных лучей пеленгационной связки в амплитудном методе пеленгации. Показана возможность коррекции результатов пеленгации при реализации методов моноимпульсной пеленгации в сочетании с адаптивной пространственной фильтрацией.

Книга представляет интерес для научно-технических работников и инженеров, занимающихся проектированием и разработкой РЛС. Также она может быть полезна преподавателям, аспирантам и студентам, обучающимся в области радиолокации.