

ВЕСТНИК

ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОБОРОНЫ

Научно-технический рецензируемый журнал

Выпуск № 3 (7), 2015 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

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

А.С. Сумин, д-р техн. наук, профессор

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ:

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

М.А. Горбачёв, д-р техн. наук

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

А.И. Даниленко, д-р техн. наук

М.В. Жестев, канд. техн. наук

Г.В. Зайцев, д-р техн. наук

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

В.А. Кашин, д-р техн. наук, профессор

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

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

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

В.В. Морозов, д-р техн. наук

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

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

А.А. Трухачев, д-р техн. наук

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

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

Технический редактор: С.А. Лукина

Корректоры: А.Н. Борзова, Н.С. Умникова

Компьютерная верстка: О.А. Пыхонина

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

E-mail: aspirantura@gskb.ru

► **Первая Всероссийская научно-техническая конференция
«Расплетинские чтения»**

Секция «Лазерные системы передачи энергии и их элементы»

В.С. Денкевич, Я.И. Малашко, А.В. Сакерин

Результаты исследования макетов средств

транспортирования мощных лазерных пучков 5

Ю.И. Зеленюк, Л.Н. Костяшкин, В.П. Семенов, Д.А. Бондаренко

Лазерные системы управления, наведения и сканирования 16

Я.И. Малашко, П.А. Созинов

Основы теории и практики систем формирования

мощных лазерных пучков – достояние «Алмаза» 23

А.П. Минеев, Н.Ф. Глущенко, М.М. Ильичев, А.И. Максимов,

С.М. Нефедов, А.В. Семенов, В.Н. Слободчиков, А.В. Степовой

Разработка и исследование характеристик импульсно-периодического

дальномера с излучателем на лазерном диоде 43

А.П. Минеев, С.М. Нефедов, П.П. Пашинин, П.А. Гончаров,

В.В. Киселёв, А.П. Дроздов

Планарный газоразрядный СО-лазер с ВЧ накачкой 47

А.П. Минеев, С.М. Нефедов, П.П. Пашинин, П.А. Гончаров,

В.В. Киселёв, А.П. Дроздов

Планарные газоразрядные СО₂-, СО- и Хе-лазеры с СВЧ накачкой 52

А.В. Семенов

Метод синтеза двумерных цифровых регуляторов,

реализующих принцип управления по выходу и воздействиям 57

А.О. Скворцов, А.Н. Клейменов, Я.И. Малашко, А.В. Назаренко

Контур управления фокусировкой широкоапертурной системы

формирования по максимуму амплитуды сигнала

на удвоенной частоте сферической модуляции волнового фронта 62

Д.В. Худяков, А.А. Антошков, А.С. Бурухин, А.Б. Игнатъев,

В.В. Карачунский, П.Д. Купцов

Аппаратная реализация самонастраивающейся цифровой следящей

системы, обладающей максимальным быстродействием 71

Вестник воздушно-космической обороны:
Научно-технический журнал/
ПАО «НПО «Алмаз», 2015 г.
№ 3(7). С. 1–132

Подписано в печать 29.09.2015 г.
Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 7,2. Тираж 1000 экз.
Заказ №

Отпечатано в ООО «Галлея-Принт»
111024, г. Москва, ул. 5-я Кабельная, 2Б

Свидетельство о регистрации:
ПИ № ФС77-54081

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», 2015

ISSN 2311-830X

Цена за 1 экз. – 600 руб.

С.И. Шахло

*Метод и устройство оценки признаков функционального изменения
структуры поверхности элементов оптико-электронной аппаратуры
удалённых объектов 77*

А.Е. Шепелев, М.Н. Ершков, А.В. Федин

YAG: Nd³⁺-лазер, генерирующий излучение в синей области спектра 85

► Проблемные вопросы построения систем и средств ВКО

Б.Б. Леонтьев

Импортозамещение в Росавиакосмосе и ОПК РФ 88

А.В. Егоров, И.Н. Винцаревич

*Методы оптимальной оценки параметров движения
воздушно-космических объектов 98*

► Применение сил и средств ВКО

А.В. Борзунов, Н.С. Щербаков

*Развитие корабельного зенитного оружия и их контуров управления
в исторической ретроспективе 104*

► Исследования в сфере проектно-конструкторских и технологических работ

В.В. Выборнов

*Измерение угловой скорости линии визирования
по разности доплеровских спектров 110*

М.Г. Соскунов, Е.Е. Дмитриев

*Снижение пик-фактора ансамбля шумоподобных сигналов
на основе нелинейных математических функций
с ограниченной длиной и уровнем взаимной корреляционной функции 116*

► Прикладные задачи применения информационных технологий

С.В. Бабуров, И.А. Киршина, В.Н. Переломов, А.Д. Филин,

С.А. Цурков, А.Ю. Шатраков, В.Т. Яковлев

*Моделирование характеристик виртуального электронного полигона
для подготовки лётного и командного состава ВВС РФ 122*

► Научные рецензии и отзывы 132

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

CONTENTS

►The first all – Russia Scientific and Technical Conference «Raspletin Readings»

Section «Directed-energy laser systems and its elements»

V.S. Denkevich, Y.I. Malashko, A.V. Sakerin

Study results of high energy laser beams transport means mock-up models..... 5

U.I. Zelenuk, L.N. Kostyashkin, V.P. Semenov, D.A. Bondarenko

Laser control, pointing and scanning systems 16

Y.I. Malashko, P.A. Sozinov

Theory and experience backbone of high energy laser beams forming systems – the fortune of «Almaz» 23

A.P. Mineev, N.F. Glustchenko, M.M. Ilyichev, A.M. Maksimov, S.M. Nefedov, A.V. Semenov, V.N. Slobodchikov, A.V. Stepovoy

Designing and performance analysis of pulse-periodic rangefinder with head on laser diode 43

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

Planar CO-laser with RF pumping 47

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

Planar gas-discharged CO₂, CO- and Xe-lasers with MW pumping 52

A.V. Semenov

Synthesis procedure of two-degree-of-freedom digital regulators implementing output and upsetting control principle 57

A.O. Skvortsov, A.N. Kleymenov, Y.I. Malashko, A.V. Nazarenko

Focusing control loop of wide-aperture forming system based on signal amplitude to maximum on doubled frequency of wavefront spherical modulation 62

D.V. Hudyakov, A.A. Antoshkov, A.S. Buruhin, A.B. Ignatiev, V.V. Karachunskiy, P.D. Kuptcov

Self-adjusting digital follow-up system hardware implementation of high-speed response 71

S.I. Shakhlo

Method and estimator of elements surface structure functional changing of electro-optical equipment of remote objects 77

A.E. Shepelev, M.N. Ershkov, A.V. Fedin

Blue light lasing YAG: Nd³⁺-laser 85

►Topical issues on Aerospace defense system and elements arrangement

B.B. Leontyev

Import substitution in rosavaicosmos and defense-industrial sector of the Russian federation 88

A.V. Egorov, I.N. Vintcarevich <i>Optimal estimation methods of air-space objects trajectory parameters</i>	98
► Aerospace defense systems and components application	
A.V. Borsunov, N.S. Stcherbakov <i>Shipborne air-defense weapons development and its control loops in historical retrospective.....</i>	104
► Desing-engineering and technological research works	
V.V. Vybornov <i>Line of sight rate measuring in doppler spectrum difference</i>	110
M.G. Soskunov, E.E. Dmitriev <i>Decrease in the reak-factor of ensemble pseudonoise signals on the basis of nonlinear mathematical functions with the limited length and level of crosscorrelation function.....</i>	116
► IT applied application tasks	
S.V. Baburov, I.A. Kirshina, V.N. Perelomov, A.D.Filin, S.A. Surkov, A.Y. Shtrakov, T.V. Yakovlev <i>Modeling characteristics of virtual electronic training ground for pilots and commanders of the Russian air force</i>	122
► Scientific reviews and reviews.....	132

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

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ ЖУРНАЛА!

Редакция уведомляет, что с 6 июля 2015 года учредитель и издатель журнала Открытое акционерное общество «Головное системное конструкторское бюро Концерна ПВО «Алмаз-Антей» имени академика А.А. Расплетина» (ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей») изменил наименование на Публичное акционерное общество «Научно-производственное объединение «Алмаз» имени академика А.А. Расплетина (ПАО «НПО «Алмаз»).

Указанное изменение внесено в Единый государственный реестр юридических лиц.

В остальной части реквизиты организации остались неизменными.

Редакция журнала

ПЕРВАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «РАСПЛЕТИНСКИЕ ЧТЕНИЯ»

СЕКЦИЯ «ЛАЗЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ»

УДК 535.5

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МАКЕТОВ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ МОЩНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ

© Авторы, 2015

В.С. Денкевич

инженер 1 категории, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: vasilijdenkevich@gmail.com

Я.И. Малашко доктор технических наук, доцент,
начальник отдела, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: malashko@yandex.ru

А.В. Сакерин

инженер, НИИ РЭТ МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва
E-mail: sakerin_alexey@mail.ru

Приводятся результаты исследования открытых лучепроводов мощного излучения СО-лазеров. Имитация тепловыделения в канале мощного пучка производилась с помощью протяжённой электрической спирали. Исследованию подвергался волновой фронт (ВФ) имитационного излучения на длинах волн 0,63 мкм и 5,4 мкм. Регистрация ВФ проводилась многозонным измерителем волнового фронта типа Шака-Гартмана.

Ключевые слова: *открытый лучепровод, термоблуминг, многозонный измеритель волнового фронта, расход осушённого газа, усреднённый коэффициент поглощения (тепловыделения).*

The study results of high-energy CO-lasers open beam guides are provided. The simulation of heat emission in channel of powerful beam was carried out using the extended electrical helix. The wavefront (WF) of simulated beaming was studied at 0.63 μm and 5.4 μm wavelength. The WF recording was done by multipoint wave front meter of Shack-Hartmann type.

Keywords: *open laser beam guide, thermoblooming, multipoint wave front meter, dry gas consumption rate, average absorption (heat emission) coefficient.*

Приводятся результаты экспериментальных исследований aberrаций при транспортировании мощного лазерного излучения через лучепровод с открытыми торцами. Авторами предложен и опробован метод физического макетирования теплового самовоздействия мощного лазерного излучения с помощью электрической спирали. Приводятся результаты исследования волнового фронта лазерного излучения при различных мощностях тепловыделения в атмосферный канал лучепровода. Показано, что при наддуве сухим газом (азотом) реализуются два пути снижения aberrаций: за счёт непрерывного выноса тепла из лучепровода, и за счёт снижения коэффициента поглощения. Определены предельно допустимые величины поглощения (тепловыделения на погонный метр), на основании которых удалось сформулировать требования к условиям наддува – минимальный расход газа, степень его осушения. Проведённые исследования позволили сформулировать общеметодический подход для снижения aberrаций, вызванных тепловым самовоздействием в открытых лучепроводах для любого типа лазерного излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Валуев В.В., Духин М.Н., Коняев Ю.А., Малашко Я.И., Морозов В.В., Цвык Р.Ш.** «Влияние атмосферы на распределение плотности мощности и расходимость широкоапертурного пучка излучения непрерывного CO₂-лазера» / Журнал «Оптика атмосферы и океана». – Томск: Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 2000, т. 13, № 05. – С.495–498.
2. **Аксенов В.П., Банах В.А., Валуев В.В., Зуев В.Е., Морозов В.В., Смалихо И.Н., Цвык Р.Ш.** Мощные пучки в случайно-неоднородной атмосфере / под ред. В.А. Банаха. – Новосибирск: Изд. СО РАН, 1998. – 341 с.
3. **Гейнц Ю.Э., Землянов А.А., Зуев В.Е., Кабанов М.В., Погодаев В.А.** Нелинейная оптика атмосферного аэрозоля. – Новосибирск: Изд. СО РАН, 1990. – 260 с.
4. **Валуев В.В., Морозов В.В.** Экспериментальные результаты по измерению расходимости излучения при стендовых испытаниях установок на основе непрерывного газоразрядного CO₂-лазера // Изв. РАН. – 1985, т. 59, № 12. – С.156–161.
5. **Ландсберг Г.С.** Оптика: учеб. пособие для вузов, стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010.
6. **Greg F. Naterer.** *Heat Transfer in Single and Multiphase Systems.* – CRC PRESS, 2003.
7. **Смит Д.К.** Распространение мощного лазерного излучения. Тепловые искажения пучка. – ТИИЭР, т.65, №12. – С.59–103.
8. **Valuev V.V., Duhin M.N., Konyaev Yu.A., Morozov V.V., Tsvyk R.Ch.** *The influence of Atmosphere on power Density Distribution and Divergence of Continuous CO₂-laser wide-aperture beam* // *Lasers'96.* – Portland, 1996, V. 2201. – P.1395–1408.
9. **Мицель А.А., Пономарев Ю.Н.** Оптические модели молекулярной атмосферы. – Новосибирск: Наука, 1988. – С.34–39.

STUDY RESULTS OF HIGH ENERGY LASER BEAMS TRANSPORT MEANS MOCK-UP MODELS

V.S. Denkevich, Y.I. Malashko, A.V. Sakerin

The results of experimental studies of aberrations during the transport of the high-energy laser emission through the beam guide with open ends were provided. The authors suggested and tested the physical modeling method of high-energy laser emission thermal self-action by means of electrical helix. The study results of laser emission wavefront at different energy outputs of heat emission to the atmospheric channel of the beam guide are given. It was demonstrated that during pressurizing of dry gas (nitrogen) the two ways of aberration reduction are realized: by means of continuous heat efflux from the beam guide and by means of absorption coefficient degradation. The maximum permissible values of absorption were defined (heat emission per running meter) on the base of which it was managed to lay down requirements to pressurizing conditions – minimum gas consumption and its desiccation (dehydration) degree. Conducted studies permitted to formulate general methodological approach for aberrations reduction induced due to thermal self-action in open laser beam guides for any type of laser emission.

ЛАЗЕРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, НАВЕДЕНИЯ И СКАНИРОВАНИЯ

© Авторы, 2015

Ю.И. Зеленюк

технический директор-первый зам. генерального директора, АО «ГРПЗ», г. Рязань

Л.Н. Костяшкин кандидат технических наук,

директор-главный конструктор НКЦ ВКТ, АО «ГРПЗ», г. Рязань

В.П. Семенов кандидат технических наук, Заслуженный конструктор РФ,

главный конструктор по направлению, АО «ГРПЗ», г. Рязань

Д.А. Бондаренко кандидат технических наук,

начальник лаборатории, АО «ГРПЗ», г. Рязань

E-mail: bondar_art@mail.ru

Представлены акустооптические дефлекторы и режимы управления лазерным пучком на их основе, позволяющие с высоким быстродействием управлять угловым пространственным положением лазерного пучка, что открывает новые перспективы использования сканаторов такого типа в лазерных и оптико-электронных системах наведения, сопровождения, сканирования и дальнометрии. Показано, что в режиме линейного частотно-модулированного управляющего сигнала, подводимого к двухкоординатному акустооптическому дефлектору, появляется возможность почти мгновенного управления диаграммой направленности лазерного пучка от дифракционной расходимости до полного размера углового поля, формируемого дефлектором. Подробно рассмотрено одно из возможных применений акустооптического сканатора в качестве быстродействующего корректора угловых ошибок привода при автоматическом сопровождении объекта следящим лазерным дальномером, работающим в составе оптико-электронного прицельного комплекса.

Ключевые слова: пространственное управление лазерным пучком, акустооптический дефлектор, быстродействующее сканирование, диаграмма направленности лазерного пучка, сопровождение объектов.

The acoustooptical deflectors and laser beam control modes on its base were presented that permits to control the laser beam attitude with high-speed performance that opens up new vistas of such type scanators using in laser and optical pointing (guidance), tracking, scanning and ranging systems. It was demonstrated that in linear frequency-modulated control signal, delivered to two-dimensional acoustooptical deflector, the possibility of the near instantaneous control of the laser beam directional pattern from the diffraction divergence to the total size of field angle, formed by the deflector, arises. It was examined in details one of the possible applications of acoustooptical scanator as a fast-acting corrector of the drive angular errors at automatic object tracking by the laser ranging system operating as a part of electro-optical aiming complex.

Keywords: spatial (three-dimensional) laser beam control, acoustooptical deflector, fast-acting scanning, laser beam directional pattern, objects tracking.

Достигнутый в последние годы прогресс в исследованиях анизотропных акустооптических дефлекторов (АОД) позволяет признать их перспективными устройствами для использования в лазерных системах различного назначения: лазерных локаторах, системах телеориентации, сканирующих лазерных дальномерах, системах посадки летательных аппаратов и т.п. Основными преимуществами АОД являются: высокая угловая скорость развертки лазерного пучка, достигающая 1000 рад/с, высокая линейность преобразования «частота-угол отклонения», отсутствие механических узлов в системе развёртки, малые габариты и энергопотребление. Такой набор преимуществ позволяет создавать отклоняющие системы, работающие в сложных условиях эксплуатации – в космических системах, в условиях сильных вибрационных нагрузок и работающих в широком температурном диапазоне.

Применение акустооптических дефлекторов в дальномерах с возможностью дослеживания цели существенно повышает их тактико-технические характеристики: обеспечивает точное наведение на малоразмерную или подвижную цель, позволяет компенсировать ошибки механического привода, на котором устанавливается основной оптико-электронный контур, увеличивает пространственное разрешение дальномера, что позволяет существенно упростить алгоритмы идентификации целей, когда в поле зрения приемной части дальномера оказываются эхо-сигналы от объектов, находящихся на различной дальности.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Семенов В.П., Бондаренко Д.А., Семенова Е.В.** Патент РФ 2532504. Способ формирования лазерного раstra; заявл. 11.03.2013; опубл. 20.09.2014.
2. **Бондаренко Д.А., Карасик В.Е., Семенов В.П.** Управление мгновенной диаграммой направленности лазерного пучка в системах с двухкоординатным акустооптическим дефлектором. Современные проблемы оптотехники // Труды Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана. – 2013, № 610.
3. **Котляревский А.Н., Бондаренко Д.А., Лаюк А.М.** Оптический прицел со следящим дальномером: пат. № 2410629 РФ / Зеленюк Ю.И., Семенов В.П., Костяшкин Л.Н., Стрепетов С.Ф., Котляревский А.Н., Бондаренко Д.А., Лаюк А.М., Гладышев В.В., Комиков А.В., Соловьев В.В.; заяв. 08.06.2009; опубл. 27.01.2011.

LASER CONTROL, POINTING AND SCANNING SYSTEMS

U.I. Zelenuk, L.N. Kostyashkin, V.P. Semenov, D.A. Bondarenko

The progress in analysis of anisotropic acoustooptical deflectors (AAD) achieved in recent years permits to recognize them as perspective devices for using in laser systems of different purposes: laser locators (LIDAR), telepositioning systems, scanning laser ranging systems, aircraft landing systems etc. The main advantages of the AAD are: high angular sweep speed of laser beam up to 1000 rad/sec, high linearity of frequency-angle of deflection transformation, absence of mechanical engineering assemblies in sweeping system, small size and energy consumption. Such a set of advantages permits to design beam-deflection systems operating in severe conditions – in space-based systems in conditions of hard vibratory loads and operating in wide temperature limits.

The using of acoustooptical deflectors in rangefinders with extratracking possibility essentially increases its operational performance: provides pinpoint guidance on small or moving target, permits to compensate errors of mechanical drive on which the main electro-optical assembly is mounted, increases the spatial resolution of rangefinder that permits essentially simplify the target identification algorithms when there are return signals from objects at different ranges in the field of view of the rangefinder receiving part.

УДК 535:621.373.8:6

ОСНОВЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ СИСТЕМ ФОРМИРОВАНИЯ МОЩНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ – ДОСТОЯНИЕ «АЛМАЗА» (научно-исторический очерк)

© Авторы, 2015

Я.И. Малашко доктор технических наук, доцент,
начальник отдела, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: malashko@yandex.ru

П.А. Созинов доктор технических наук, профессор,
Генеральный конструктор, ОАО «Концерн ПВО «Алмаз – Антей», г. Москва

Статья является научно-историческим обзором работ ПАО «НПО «Алмаз» в области создания систем формирования мощного лазерного излучения для лабораторных стендовых систем и лазерных комплексов. Показана ведущая роль «Алмаза» в развитии теоретических основ и технологии создания систем формирования мощных лазерных пучков и их элементов.

Ключевые слова: система формирования, силовое зеркало, мощное лазерное излучение, угловая расходимость.

The article represents academic and historical overview of the PJSC «Almaz R&P Corp» works in designing of high power laser beams generating systems for laboratory, testbed systems and laser complexes. The leading role of the «Almaz» in developing of theoretical basis and technologies of high power laser beams generating systems and its elements was demonstrated.

Keywords: generating system, power mirror, high energy laser emission, angular divergence.

ПАО «НПО «Алмаз» им. академика А.А. Расплетина» в течение более чем 60 лет известен всему миру как разработчик зенитно-ракетных комплексов, превосходящих по своим характеристикам все известные аналоги. Но лишь с начала 90-х годов миру стало известно, что «Алмаз» является головным предприятием по разработке мощных лазерных комплексов наземного и авиационного базирования, сравнимых по характеристикам комплексов с разработками США.

На ранних этапах создания лазерных комплексов (60-70 годы), фундаментальная наука (ФИАН СССР, ГОИ им. С.И. Вавилова, ФИАЭ им. И.В. Курчатова, ИОА АН СССР) определяла принципы построения системы формирования и её элементной базы. Одновременно в «Алмазе» создавалась научная школа академика А.А. Расплетина, продолжатели – академик Б.В. Бункин, д.т.н.: Т.Р. Брахман, Л.Н. Захарьев, Ю.А. Коняев, А.А. Леманский по лазерным комплексам, системам наведения и формирования лазерного излучения.

Разработка и исследования систем формирования проводились в основном в следующих направлениях:

- создание охлаждаемой металлооптики, в том числе крупногабаритной и асферической;
- создание систем охлаждения силовой металлооптики;
- создание систем формирования и исследование их характеристик;
- исследования источников и механизмов возмущения волнового фронта лазерного излучения;
- создание математических моделей систем формирования;
- создание теоретических основ систем формирования лазерных пучков недифракционного качества;
- создание силовых адаптивных оптических систем апертурного и фазового сопряжения.

Таким образом, «Алмаз» в настоящее время стал не только комплексобразующим предприятием, но и создателем неотъемлемой части лазерных комплексов – систем формирования. Создание систем формирования мощного лазерного излучения обеспечивало достижения выдающихся результатов лазерными комплексами наземного и воздушного базирования, в которых «Алмаз» являлся головным предприятием.

В статье излагаются основные достижения в создании систем формирования мощных лазерных пучков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Физматлит, 2013.
2. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. – М.: Наука, 1973.
3. Ананьев Ю.А. Оптические резонаторы и проблема расходимости лазерного излучения. – М.: Наука, 1979.
4. Максудов Д.Д. Изготовление и исследование астрономической оптики. – М.: Наука, 1984.
5. Слюсарев Г.Г. Расчёт оптических систем. – Л.: Машиностроение, 1975.
6. Михельсон Н.Н. Оптические телескопы. Теория и конструкция. – М.: Наука, 1976.
7. Kogelnik G., Li T. *Appl. Optics*, v. 5, № 10. – 1966.
8. Когельник Г., Ли Т. Световые пучки, резонаторы и типы колебаний. Справочник по лазерам, т. 2 / под ред. А.М. Прохорова. – М.: Наука, 1990.
9. Малашко Я.И. Формирование мощных лазерных пучков. – М.: МИРЭА, 2013.
10. Наумов М.Б. Силовые лазерные зеркала. – М.: МИРЭА, 2009.
11. Малашко Я.И., Наумов М.Б. Системы формирования мощных лазерных пучков. – М.: Радиотехника, 2014.
12. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. – М.: Наука, 1981.
13. Малашко Я.И., Хабибулин В.М. Критерии допустимых величин плавных аберраций для лазерных пучков недифракционного качества // Квантовая электроника. – т. 43, № 12. – 2013.
14. Малашко Я.И. О критериях допустимых величин плавных аберраций ВФ для лазерных пучков недифракционного качества // Тезисы доклада на 7-ой научно-технической конференции «Проблемы создания лазерных систем». – Радужный – 2013.
15. Ignatiev A.B., Kas'kov V.N., Malashko Ya.I., Valuev V.V. *The Increase of Angular Beam Brightness of a Gas-Dynamic CO₂-Laser by means of Linear Adaptive System // Proceedings of the International Conference on Laser's 96. – STS Press McLEAN, VA. – 1997. – P.89–96.*
16. Kurin M.A., Rumyantsev A.S. *Adaptiv Mirrors for Powerful CO₂-Lasers // Proc. of the International Conference on Laser's-96 STS Press. – McLEAN, VA. – 1997. – P.142–149.*
17. Дроздов П.А., Малашко Я.И., Наумов М.Б., Прытков С.И. Устойчивость лазерных силовых зеркал к тепловому воздействию теплоносителя // Оптический журнал, 80(2). – 2013.
18. Игнатьев А.Б. Лазерные работы «Алмаза» / Сборник «Как это было...». Воспоминания создателей отечественной лазерной техники, ч. I. – М.: Лазерная ассоциация, 2006.
19. Военные лазеры России / Составитель Ю.В. Рубаненко. – М.: Столичная энциклопедия, 2013.
20. 60 лет НПО «Алмаз». Победы и перспективы / под общей ред. А.А. Леманского. – М.: ИФ «Унисерв», 2007. – С.113–116.
21. Зарубин П.В. Лазерное оружие – миф или реальность. Мощные лазеры в СССР и в мире. – Владимир: ООО «Транзит-ИКС», 2009.
22. Кокошин А.А., Сагдеев Р.З. Космическое оружие: дилемма безопасности / под ред. Е.П. Велихова // М.: Мир, 1986.
23. Дианов Е.М., Прохоров Е.М. Доклады Академии наук. 192, 3. – 1970. – 531 с.
24. Malashko Ya.I., Rumyantsev A.S., Sukharev E.M. *Powerful Slab Nd-Glass Laser // Proceedings of the International Conference on Laser's 95. – STS Press McLEAN, VA. – 1997. – P.82.*
25. Andruschenko V., Kas'kov V.N., Malashko Ya.I., Valuev V.V. *Adaptive Optical System with the Multifrequency Aperture Probing // Proceedings of the International Conference on Laser's 95. – STS Press McLEAN, VA. – 1997. – P.543.*
26. Зельдович Б.Я., Пилипецкий Н.Ф., Шкунов В.В. Обращение волнового фронта. – М.: Наука, 1985.
27. Бункина М.В., Морозов В.В., Фирсов К.Н. О возможности использования VT-релаксации в усиливающей среде для обращения волнового фронта // Квантовая электроника. – т. 7, № 9. – 1980. – С.2026–2028.
28. Белоусов А.В., Бородин А.М., Бункина М.В., Морозов В.В. обращение ВФ СО-лазера // Тезисы XIV Международной конференции по когерентной и нелинейной оптике. – Ленинград, 1991, т. 1. – С.177.
29. Бердышев А.В., Бородин А.М., Гурашвили В.А., Морозов В.В., Напартович А.П. ОВФ излучения на инверсной среде электроионизационного лазера // Квантовая электроника. – т. 23, № 1. – 1996. – С.43–58.
30. George W. Sutton. *Model for Thermal Distortions of High-Energy Repetitively Pulsed Laser Mirrors // Journal of Energy*, V.5, № 6. – 1981. – P.344–354.
31. Малашко Я.И., Хабибулин В.М. Особенности формирования сигнала управления адаптивной системой, использующей обратное рассеяние лазерного излучения в атмосфере // Автометрия, 48, № 2. – 2012. – С.112.
32. Малашко Я.И. Метод фокусировки излучения импульсной лазерной системы, использующей обратное аэрозольное рассеяние атмосферы // Материалы Международной научно-практической конференции «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения». – М.: МИРЭА, 2003. – С.221.
33. Банах В.А., Жмылевский В.В., Игнатьев А.Б. и др. Коллимация начального волнового фронта частично когерентного светового пучка по сигналу обратного рассеяния // Оптика и спектроскопия, 108, № 1 – 2010. – С.113.
34. Малашко Я.И., Хабибулин В.М. Метод интеграции радиоизлучения с лазерным каналом для предварительного целеуказания // Электромагнитные волны и электронные системы, 17, № 4. – 2012. – С.45.
35. Малашко Я.И., Клейменов А.Н., Потёмкин И.Б. Высокоточный метод определения положения фокусировки лазерных пучков в условиях мобильного базирования // Научно-технические технологии, 2011. – т. 12, № 12. – С.85–89.
36. Клейменов А.Н., Малашко Я.И., Потёмкин И.Б., Хабибулин В.М. Характеристики высокоточного метода определения положения фокусировки лазерного пучка // Квантовая электроника. – т. 43, № 12. – 2013.
37. Малашко Я.И., Назаренко А.В., Скворцов А.О., Клейменов А.Н. Контур управления фокусировкой широкопертурной системы формирования по максимуму амплитуды сигнала на удвоенной частоте сферической модуляции волнового фронта // Квантовая электроника. – т. 43, № 12. – 2013.

THEORY AND EXPERIENCE BACKBONE OF HIGH ENERGY LASER BEAMS FORMING SYSTEMS – THE FORTUNE OF «ALMAZ»

(academic and historical sketch)

Y.I. Malashko, P.A. Sozinov

The PJSC «Almaz R&P Corp» named after the academician A.A.Raspletin has been known for more than 60 years to the world as a designer of surface-to-air missile systems superior in its characteristics of known analogues. However only in the beginning of 90th the world got known that the «Almaz» is a leading enterprise in designing of ground-based and airborne high energy laser complexes comparable in its performance to the US ones.

At early stages of laser complexes designing (60–70th) the fundamental science (the USSR Physical Institute of Academy of Sciences, State Optical Institute n.a. S.I. Vavilov, Physical Institute of Atomic Energy n.a. I.V. Kurchatov, the USSR Atmosphere Optics Institute of Academy of Sciences) determined design concept principles of the system and its element base. At the same time the A.A. Raspletin Scientific School had been established in the «Almaz», successors – the academician B.V. Bunkin, Dc.Sc.in engineering T.R. Brahman, L.N. Zahariev, U.A. Konyaev, A.A. Lemanskiy in the area of laser complexes, laser pointing and generating systems designing.

The research and development works on laser beams generating systems carried out mainly in the following directions:

- Designing of cooled metal optics including large-size and aspheric optics;
- Designing of power metal optics cooling systems;
- Designing of generating systems and its characteristics analysis;
- Laser wave-front disturbance sources and mechanism analysis;
- Development of generating systems mathematical models;
- Theoretical basis development of nonediffraction laser beams generating systems;
- Designing of power adaptive optical systems of aperture and phase conjugation.

Therefore the «Almaz» nowadays has become not only the parent backbone enterprise but the designer of integral part of laser complexes – laser generating systems. The designing of high energy laser generating systems provided the achievement of outstanding results of ground-based and airborne laser complexes in which the «Almaz» is the leading enterprise.

The article states main achievements in designing of high energy laser beams generating systems.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДАЛЬНОМЕРА С ИЗЛУЧАТЕЛЕМ НА ЛАЗЕРНОМ ДИОДЕ

© Авторы, 2015

А.П. Минеев кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник,
зам. директора – зав. лаборатории, ФГБУН Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва
E-mail: mineev@kapella.gpi.ru

Н.Ф. Глуценко кандидат технических наук,
зам. начальника отдела, АО «КБ точного машиностроения им. А.Э. Нудельмана», г. Москва

М.М. Ильичев
ведущий инженер-электроник, АО «КБ точного машиностроения им. А.Э. Нудельмана», г. Москва

А.М. Максимов
начальник лаборатории, АО «КБ точного машиностроения им. А.Э. Нудельмана», г. Москва

С.М. Нефедов
старший научный сотрудник, ФГБУН Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва

А.В. Семёнов кандидат физико-математических наук,
начальник отдела, АО «КБ точного машиностроения им. А.Э. Нудельмана», г. Москва

В.Н. Слободчиков доктор технических наук,
управляющий директор, АО «КБ точного машиностроения им. А.Э. Нудельмана», г. Москва

А.В. Степовой кандидат технических наук,
зам. начальника комплекса, АО «КБ точного машиностроения им. А.Э. Нудельмана», г. Москва

Выполнено исследование характеристик импульсно-периодического дальномера на лазерном диоде для измерения расстояний в диапазоне 1...200 м с повышенной частотой измерения 500...1000 Гц. Точность измерения (СКО) составляет 3 см в диапазоне расстояний 1...10 м и 5 см в диапазоне расстояний 10...70 м при работе по диффузной поверхности.

Ключевые слова: дальномер, лазерный диод, время измерения.

The performance analysis of pulse-periodic rangefinder on laser diode performance was conducted for distance measuring in ranges 1...200 m with high measuring frequency 500...1000 Hz. The measurement accuracy (RMS errors) is 3 cm within 1...10 m distance range and 5 cm within 10...70 m distance range at operation on diffuse surface.

Keywords: rangefinder, laser diode, measurement time.

Использован лазерный диод с длиной волны излучения 905 нм и импульсной оптической мощностью излучения 60 Вт. Частота следования импульсов 10 кГц, расходимость излучения 6 мрад. Схема управления током накачки лазерного диода, выполненная на лавинном транзисторе ZTX415 [1], обеспечила длительность фронта импульса тока менее 4 нс при амплитуде 40 А. Фотоприёмное устройство выполнено на лавинном фотодиоде с чувствительностью 75 А/Вт и усилителе с регулируемым коэффициентом усиления с обратной связью от пикового детектора для стабилизации амплитуды выходного сигнала. Диапазон регулировки коэффициента усиления 40 дБ. Для обеспечения временной привязки импульса использован дискриминатор с дифференцирующей и интегрирующей цепочками [2] с изменяемым уровнем срабатывания компаратора в зависимости от амплитуды сигнала. Измеритель временных интервалов собран на время-цифровом преобразователе TDC-GP2. Дискрет отсчёта расстояния составил 1,5 см. Для повышения точности определения дальности использовано усреднение результатов по 10 измерениям. Интерфейс связи с потребителем RS-232 (485, USB), напряжение питания 12 В, потребляемая мощность до 4 Вт. Диапазон измерения расстояния 1...200 м, ошибка не более ± 5 см на расстояниях до 50 м при измерениях по диффузной поверхности.

По сравнению с известными образцами дальномер имеет малое время измерения 1 мс, небольшую ошибку измерения расстояния ± 5 см и повышенную частоту выдачи информации 1000 Гц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аснис Л.А., Васильев В.П., Волконский В.Б., Ключин Е.Б., Кулясов А.Г., Мейгас К.Б., Попов Ю.В., Хинрикус Х.В., Яковлев В.В. Лазерная дальнометрия / под ред. В.П. Васильева и Х.В. Хинрикус. – М.: «Радио и связь», 1995. – 256 с.
2. *Kilpelä A. Pulsed time-of-flight laser range finder techniques for fast, high precision measurement applications. Department of Electrical and Information Engineering, University of Oulu, isbn9514272625, 2004. – 98 p.*
3. *Ruotsalainen T. Integrated Receiver Channel Circuits and Structures for a Pulsed Time-of-Flight Laser Radar, Department of Electrical and Information Engineering, University of Oulu, isbn9514252160, 1999. – 91 p.*
4. Вильнер В.Г., Волобуев В.Г., Лицарев Н.А., Казаков А.А., Почтарев В.Л., Рябокуль А.С. Лазерный дальномер. Патент РФ №2475702 МПК G01С3/08, Москва, ФИПС, приоритет от 04.10.2011, опубликовано 20.02.2013 г. – 6 с.

DESIGNING AND PERFORMANCE ANALYSIS OF PULSE-PERIODIC RANGEFINDER WITH HEAD ON LASER DIODE

**A.P. Mineev, N.F. Glustchenko, M.M. Ilyichev, A.M. Maksimov, S.M. Nefedov, A.V. Semenov,
V.N. Slobodchikov, A.V. Stepovoy**

The laser diode with emission wavelength of 905 μm and 60 W pulse optical power was used. The pulse-repetition rate is 10 kHz, laser emission divergence is 6 mrad. The current-operated circuit of laser diode pumping is performed on ZTX415 [2] avalanche transistor that provided the current impulse front time less than 4 nsec at 40 A amplitude. The photodetector is performed on avalanche photodiode with 75 A/W sensitivity and on amplifier with adjusted gain with close-loop from peak detector for output amplitude stabilization. The adjustment range of gain factor is 40 dB. To insure the pulse timing the discriminator with differentiating circuits and capacitance integrators [3] are used with variable actuation level of comparator depending on signal amplitude. The time-interval counter is assembled on TDC-GP2 time-digital converter. The least distance counting is 1,5 cm. For range accuracy the averaging of results in 10 measurements was used. The communication interface with RS-232 (485, USB) load, supply voltage 12 V, consumed power up to 4 W. Distance measurement range 1...200 m, error is not more than ± 5 cm at ranges up to 50 m during measurements on diffuse surface.

In comparison with known items the rangefinder has a small measurement time of 1 ms, insignificant range measurement error ± 5 cm and enhanced frequency of information output 1000 Hz.

ПЛАНАРНЫЙ ГАЗОРАЗРЯДНЫЙ СО-ЛАЗЕР С ВЧ НАКАЧКОЙ

© Авторы, 2015

А.П. Минеев кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник,
зам. директора – зав. лаборатории, ФГБУН Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва
E-mail: mineev@kapella.gpi.ru

С.М. Нефедов

старший научный сотрудник, ФГБУН Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва

П.П. Пашинин доктор-физико-математических наук, профессор,
главный научный сотрудник, ФГБУН Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва

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

В.В. Киселёв кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник, ФГБУН Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва

А.П. Дроздов

младший научный сотрудник, ФГБУН Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва

Исследованы выходные характеристики излучения и параметры активной среды СО-лазеров, возбуждаемых широкоапертурным ВЧ разрядом (40,68 МГц) на основе трёх планарных конструкций с размером плазмы: модель А – (3x40x400 мм); Б – (2,7x38x485 мм); В – (2,7x40x375 мм). Достигнута средняя мощность излучения более 70 Вт с КПД ~10% на длинах волн 5,3–6,0 мкм. Достигнута средняя выходная мощность СО-лазера 0,2 Вт при КПД ~0,2% в области 2,6–3,0 мкм на обертоновых переходах при криогенном охлаждении.

Ключевые слова: планарный лазер, ВЧ разряд, оптический резонатор.

The output emission characteristics and active medium parameters of CO-lasers excited by the wide-aperture radio frequency (RF) discharge (40.68 MHz) on the base of three planar structures of plasma size: A model (3x40x400 mm); B model (2.7x38x485 mm); C model 2.7x40x375 mm) were examined. The average emission intensity was reached of more than 70 W with efficiency ~10% at 5.3–6.0 μm wavelength. The average CO-laser output power of 0.2 W was reached at ~0,2% efficiency in area 2.6–3.0 μm on overtone transitions at cryocooling.

Keywords: planar laser, RF discharge, optical resonator.

Разработан и изготовлен планарный СО-лазер с автономным блоком, обеспечивающим охлаждение электродов ВЧ разряда (40,68 МГц) в температурном диапазоне -80...-25° С. Активная среда лазера – широкоапертурная (2⁻³x40x400 мм) низкотемпературная плазма с диффузионным охлаждением без прокачки газа. В лазере использовались гибридные волноводно-неустойчивые оптические резонаторы, как положительной, так и отрицательной ветви диаграммы устойчивости [1-3]. Конфокальные схемы резонаторов образованы сферическими медными и/или многослойными диэлектрическими зеркалами (на Ge) с коэффициентами отражения ~99%. Кроме того применялся устойчивый резонатор с глухим диэлектрическим зеркалом, имеющим радиус кривизны 5 м и отражение ~99%, выходное диэлектрическое зеркало которого имело пропускание 4% или 8% [4-6].

Исследованы зависимости выходной мощности СО-лазера от парциального состава и величины давления лазерной смеси СО:N₂:He:Xe:O₂ в области 30–60 Тор; от температуры электродов разряда в диапазоне от -80 до -25° С; от величины вкладываемой ВЧ мощности 100 – 700 Вт. Достигнута средняя мощность излучения более 70 Вт с КПД ~10% на длинах волн 5,3 – 6,0 мкм, как в непрерывном, так и в импульсно-периодическом режиме работы с частотой повторения 1000 Гц, скважностью 50% для лазерной смеси газов СО:N₂:He:Xe:O₂=2:2:15:1:0,2 при давлении 60 Тор.

Проведена оценка ненасыщенного коэффициента усиления способами, изложенными в литературе [7, 8]. Получены близкие по значению величины ненасыщенного коэффициента усиления 0,4 и 0,5 м⁻¹ соответственно при мощности накачки ~200 Вт и температуре электродов -70 С.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Zhao H., Baker H.J., Hall App D.R.** *Phys Lett.* – 59, 1994. – P.1281–1283.
2. **Минеев А.П., Нефедов С.М., Пашинин П.П.** Высокочастотный планарный CO₂-лазер с полностью металлической электродно-волноводной структурой и неустойчивым резонатором // Журнал «Квантовая электроника». – М.: ФИАН, 2006, т. 36, №7. – С.656–663.
3. **Ионин А.А., Козлов А.Ю., Селезнев Л.В., Сеницын Д.В.** Криогенный щелевой лазер на окиси углерода // Журнал «Квантовая электроника». – М.: ФИАН, 2009, т. 39, №3. – С.229–234.
4. **Mineev A.P., Nefedov S.M., Pashinin P.P., et al.** *Proc. SPIE*, vol. 7994, 799402 (2011).
5. **Минеев А.П., Нефедов С.М., Пашинин П.П.** и др. Вестник Казанского технологического университета. – 2011, в.15, Р.40–43.
6. **Киселев В.В., Минеев А.П., Нефедов С.М. и др.** Сб. трудов IX Межд. конференции «Лазерная физика и оптические технологии». – Беларусь, Гродно, 2012, т. 1. – С.44–47.
7. **Мейтлэнд А., Данн М.** Введение в физику лазеров. – М. Наука, 1978. – С.206.
8. **Звелто О.** Принципы лазеров. – Изд-во Лань, 2008.

PLANAR CO-LASER WITH RF PUMPING

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

The planar CO-laser with self-contained unit was designed and assembled which provides HF discharge electrodes cooling (40.68 MHz) in temperature range -80...-25 °C. The laser active medium – wide-aperture (2³×40×400 mm) low-temperature plasma with diffusion cooling without gas pumping. The hybrid waveguide-unsteady optical resonators were used in laser both positive and negative leg of stability diagram [1–3]. Confocal resonators circuits are made of spherical copper and/or multilayered mirrors (on germanium, Ge) with ~99% reflection coefficient. Moreover the stable resonator with cavity end dielectric mirror of 5 m curvature radius and ~99% reflection, the output dielectric mirror of which had a transmission of 4% or 8% [4–6].

The dependence of CO-laser output power from partial composition and pressure value of CO:N₂:He:Xe:O₂ laser mixture in 30–60 torr area was examined; from discharge electrodes temperature in range -80 °C до -25 °C; from enclosed HF power value 100-700 W. The average emission intensity was reached of more than 70 W with efficiency ~10% at 5.3–6.0 μm wavelength both in continuous and pulse-periodic operation mode with repetition frequency 1000 Hz, 50% relative pulse duration for gases laser mixture CO:N₂:He:Xe:O₂=2:2:15:1:0.2 at 60 torr pressure.

The unsaturated gain factor was estimated by methods stated in [7, 8] sources. The close values of unsaturated gain factor were obtained 0.4 and 0.5 m⁻¹ at ~200 W pumping power and -70 °C electrodes temperature.

ПЛАНАРНЫЕ ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ CO₂-, СО- И Хе-ЛАЗЕРЫ С СВЧ НАКАЧКОЙ

© Авторы, 2015

А.П. Минеев кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник,
зам. директора – зав. лаборатории, ФГБУН Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва
E-mail: mineev@kapella.gpi.ru

С.М. Нефедов

старший научный сотрудник, ФГБУН Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва

П.П. Пашинин доктор-физико-математических наук, профессор,
главный научный сотрудник, ФГБУН Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва

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

В.В. Киселёв кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник, ФГБУН Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва

А.П. Дроздов

младший научный сотрудник, ФГБУН Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва

Экспериментально исследованы параметры излучения планарного CO₂-лазера с импульсно-периодической накачкой на частоте 2,45 ГГц и продольной длиной разрядного промежутка 250 и 470 мм. Достигнута средняя мощность генерации 61 Вт и пиковая мощность около 1300 Вт на длине волны излучения 10,6 мкм. Впервые экспериментально получена генерация в СО- и Хе-лазерах планарной конструкции с СВЧ-накачкой. Достигнута средняя выходная мощность лазерного излучения 1 Вт на длинах волн 5–6 мкм (СО-лазер) и средняя выходная мощность лазерного излучения 0,1 Вт (импульсная мощность 2,5 Вт) на длинах волн 2,03 и 2,65 мкм (Хе-лазер).

Ключевые слова: планарный волноводный ИК-лазер, СВЧ-разряд, резонатор.

The emission parameters of planar CO₂-laser with pulse-periodical pumping at 2.45 GHz and longitudinal length of discharge gap 250 and 470 mm were experimentally studied. The average lasing (generating) power of 61 W was reached and peak power of about 1300 W at 10.6 μm emission wavelength. For the first time the lasing in CO- and Xe-lasers of planar design with microwave (MW) pumping was experimentally obtained. The average laser output power of 1 W was obtained at 5-6 μm wavelength (CO-laser) and average laser output power of 0.1 W (2.5 W pulse power) at 2.03 and 2.65 μm wavelength (Xe-laser).

Keywords: planar waveguide IR-laser, MW discharge, resonator.

Экспериментально исследованы характеристики инфракрасных лазеров с СВЧ-накачкой (2,45 ГГц) в зависимости от величины вкладываемой мощности, состава и давления газовой смеси, частоты повторения и длительности импульсов накачки. Конструкция планарного лазера с СВЧ-накачкой и диффузионным охлаждением активной среды без прокачки газа представлена в работах [1, 2].

Для CO₂-лазера достигнута выходная мощность излучения 25 и 43 Вт, соответственно, для первого (размер активной среды 2x25x250 мм) и второго (2x30x470 мм) лазеров при оптимальном давлении 30 Тор. При слабой прокачке газа (около 0,1 л/сек) получена мощность лазерного излучения для первого и второго лазеров 37 и 61 Вт, соответственно, при оптимальном давлении 50 Тор [2].

В экспериментах впервые получена генерация в планарном СО-лазере с СВЧ-накачкой для разрядного промежутка 2x25x250 мм при температуре электродов -50° С. Использовалась газовая смесь СО:N₂:He:Хе:О₂=2:2:15:1:0,2 при давлении 30 Тор. Импульсная мощность накачки составляла 1400 Вт, частота импульсов накачки – 1000 Гц, длительность импульсов накачки - 100 мкс. В ходе экспериментов получена средняя выходная мощность излучения СО-лазера ~1 Вт в области 5,3 – 6,0 мкм [3].

Впервые получена генерация в планарном Хе-лазере с СВЧ-накачкой на частоте 2,45 ГГц. Генерация получена при различных составах рабочей смеси газов Ar:Хе:He (добавка гелия существенно улучшает теплоотвод) в диапазоне давлений 30 – 120 Тор, при длительности импульсов накачки 20 мкс и частотах повторения до 20 кГц. Средняя мощность накачки составила 100 Вт. Достигнута мощность лазерного излучения ~100 мВт на длинах волн 2,03 и 2,65 мкм. Установлено, что изменяя состав смеси газов, можно перераспределять мощность излучения между линиями 2,03 и 2,65 мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Nishimae J. and Yoshizawa K. Proc. SPIE*, 1225, 340 (1990).
2. *Shahadi A., Sintov Y., Jerby E. Microwave and Optical Technology Letters*, 36(2), 115 (2003).
3. *Mineev A.P., Nefedov S.M., Pashinin P.P. Proc. of SPIE*, 5137, 288 (2003).
4. **Минеев А.П., Нефедов С.М., Пашинин П.П.** Планарный CO₂-лазер с СВЧ-накачкой // Журнал «Квантовая электроника». – М.: ФИАН, 2007, т. 37, № 10. – С.950–955.
5. **Минеев А.П., Нефедов С.М., Пашинин П.П.** Планарный CO₂-лазер с импульсно-периодической СВЧ-накачкой // Журнал «Квантовая электроника». – М.: ФИАН, 2011, т. 41, № 2. – С.115–119.
6. *Gimatdinov V.R., Karelin A.V., Kuznetsov D.L. et. all. Pisma v ZhTF*, 2004, v. 30(2), – P.66–71.
7. **Карелин А.В., Симаков О.В.** Полная оптимизация Хе-лазера с электронно-пучковой накачкой на переходах с $\lambda = 1.73, 2.03, 2.65, 2.63, 3.37$ и 3.51 мкм // Журнал «Квантовая электроника». – М.: ФИАН, 2004, т. 34, № 1. – С.29–36.
8. *Bokhovko M.V., Budnik A.P. et. all. Pisma v ZhTF*, 1998, v. 24(14). – P.16–20.

PLANAR GAS-DISCHARGED CO₂-, CO- AND XE-LASERS WITH MW PUMPING

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

The characteristics of infrared (IR) lasers with MW pumping (2.45 GHz) were experimentally studied depending on enclosing power value, composition and pressure of gas mixture, repetition frequency and pumping pulse duration. The planar laser design with MW pumping and diffusion cooling of active medium without gas pumping is performed in [4–5] papers. The 25 and 43 W beam output power for CO₂-laser was obtained for the first (2x25x250 mm active medium size) and for the second (2x30x470 mm) lasers at optimum pressure of 30 torr. At weak gas pumping (about 0.1 l/sec) the laser output power was obtained for the first and for the second lasers of 37 and 61 W consequently, at optimum pressure of 50 torr [2].

For the first time the lasing in planar CO-laser with MW pumping was obtained during experiments for 2x25x250 mm discharge gap at electrodes temperature -50 °C. The CO:N₂:He:Xe:O₂ = 2:2:15:1:0.2 gas mixture was used at 30 torr pressure. The pulse pumping power comprised 1400 W, pumping pulse frequency – 1000 Hz, pumping pulse duration – 100 μs. During experiments the CO-laser average beam output power of ~1 W was obtained in 5.3–6.0 μm area. The lasing in planar Xe-laser with MW pumping was obtained for the first time at 2.45 GHz frequency. The lasing was obtained at different gas mixture compounds Ar:Xe:He (the helium additive sufficiently improves the heat removal) in 30–120 torr pressure range, at 20 μs pumping pulse duration and up to 20 KHz repetition frequency. The average pumping power comprised 100 W. The laser output power of ~100 MW was obtained at 2.03 and 2.65 μm wavelength. It was found that by changing the gas mixture composition it's possible to redistribute emission power between 2.03 and 2.65 μm lines.

МЕТОД СИНТЕЗА ДВУМЕРНЫХ ЦИФРОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ, РЕАЛИЗУЮЩИХ ПРИНЦИП УПРАВЛЕНИЯ ПО ВЫХОДУ И ВОЗДЕЙСТВИЯМ

© Автор, 2015

А.В. Семенов

научный сотрудник, НКБ ЦОС ЮФУ, г. Таганрог
E-mail: semenov-av@rambler.ru

Статья посвящена решению актуальной, имеющей важное научное и практическое значение задачи: разработке алгоритмически реализуемого метода аналитического синтеза двумерных цифровых регуляторов, которые обеспечивают устойчивость, высокий порядок астатизма к задающему воздействию и возмущениям, а также время регулирования и перерегулирование по задающему воздействию цифровых следящих систем. В синтезируемых цифровых следящих системах реализуется принцип управления по выходу и воздействиям.

Ключевые слова: цифровой регулятор, следящая система, астатизм, показатели качества.

The article is dedicated to an actual problem which is of great scientific and practical importance: development of algorithmically implemented analytical synthesis method of two-degree-of-freedom digital regulators that provide resistance, high order of astaticism to upsetting control and disturbance, as well as control time and over control by upsetting control of digital tracking systems. The output and upsetting control principle is implemented in digital tracking systems.

Keywords: digital regulator, tracking system, astaticism, performance index.

В статье разработан метод аналитического синтеза двумерных цифровых регуляторов (ЦР), реализующих принцип динамического управления по выходу и воздействиям. Синтезированные предлагаемым методом ЦР позволяют одновременно обеспечить устойчивость и требуемые показатели качества цифровых следящих систем (ЦСС), заданная часть которых может содержать как «внутренние», так и «внешние» нули передачи по управлению, а также физическую реализуемость ЦР без применения экстраполяторов. При синтезе ЦР предлагаемым методом задаются следующими показателями качества ЦСС: требуемыми порядками астатизма v_g^* и v_f^* по измеряемому задающему g_k и не измеряемому возмущающему f_k воздействиям соответственно, допустимому времени переходного процесса t_p^* и перерегулированию σ_g^* по задающему воздействию g_k . Параметры ЦР определяются по условиям равенства желаемой передаточной функции (ПФ), удовлетворяющей поставленным требованиям к качеству управления, и реальной дискретной ПФ замкнутой ЦСС с учетом уравнений заданного объекта управления (ОУ).

В статье предлагается, вне зависимости от комбинации измеряемых входных сигналов (ε_k – отклонение системы и y_k – выходная переменная системы, ε_k и g_k или g_k и y_k) для вычисления текущего отсчёта управления u_k в ЦР использовать выражение вида $u_k = U(\varepsilon_{k-i}, y_{k-i}, u_{k-i-1})$, которое называется базовым алгоритмом. Структура двумерного ЦР, реализующая базовый алгоритм, называется базовой вычислительной структурой (БВС).

На основе предложенного метода синтеза двумерных ЦР в среде *Matlab* разработана программа для ЭВМ, прошедшая государственную регистрацию. Разработанная программа позволяет ускорить процесс разработки реальных ЦР и научные исследования ЦСС при различном сочетании требуемых показателей качества.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гайдук А.Р.** Теория автоматического управления: Учебник. – М.: Высшая школа, 2010. – 415 с.
2. **Семенов А.В., Гайдук А.Р.** Метод построения желаемых передаточных функций дискретных систем с высоким порядком астатизма // Журнал «Известия ЮФУ». Технические науки. Тематический выпуск: «Методы и средства адаптивного управления в электроэнергетике». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2013, № 2(139). – С.14–20.

3. Семенов А.В., Гайдук А.Р. Синтез дискретных неминимально-фазовых следящих систем // Журнал «Известия ЮФУ». Технические науки. Тематический выпуск: «Методы и средства адаптивного управления в электроэнергетике». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012, № 2(127). – С.53–59.
4. Семенов А.В., Гайдук А.Р., Геложе Ю.А. Алгоритм работы двумерного цифрового устройства управления // Журнал «Известия ЮФУ». Технические науки. Тематический выпуск: «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2013, № 5(142). – С.143–149.
5. Программа синтеза цифровых регуляторов с управлением по выходу и воздействиям с учетом заданных показателей качества систем управления в среде *Matlab* / Семенов А.В., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013617249, РФ. Зарегистр. в Реестре программ для ЭВМ 06.08.2013 г.

SYNTHESIS PROCEDURE OF TWO-DEGREE-OF-FREEDOM DIGITAL REGULATORS IMPLEMENTING OUTPUT AND UPSETTING CONTROL PRINCIPLE

A.V. Semenov

The article considers the analytical synthesis method of two-degree-of-freedom digital regulators (DR) implementing the dynamic output and upsetting control principle. The synthesized by the proposed method DRs allow to provide at the same time resistance and required performance indexes of digital tracking systems (DTS), the backside of which may contain both «internal» and «external» transfer zeros, as well as physical implementation of DR without application of extrapolators. At DR synthesis by the proposed method the following DTS performance indexes are defined: required orders of astaticism v_g^* and v_f^* on measured upsetting g_k and not measured disturbing f_k upsets consequently, allowed time of transient process t_p^* and over control σ_g^* on g_k upsetting control. The DR parameters are defined according to equation conditions of expected transfer function (TF) satisfying the specified control performance requirements, and by real sampled data transfer function of closed-loop tracking system with regard of given control object (CO) equations.

The article suggests to use the following expression $u_k = U(\varepsilon_{k-i}, y_{k-i}, u_{k-i-1})$, named as fundamental algorithm, regardless of measured input signals combination (ε_k – system deviation and y_k – system output variable, ε_k and g_k or g_k and y_k) for calculating the current control counting u_k to DR. The two-degree-of-freedom DR structure, implementing the fundamental algorithm, is called the baseline computational structure (BCS).

The software application based on the proposed two-degree-of-freedom DR synthesis method was designed in *Matlab*. The software application passed the state registration. The designed software application allows speeding up the design process of real DR and DTS scientific research at different combination of required performance indexes.

УДК 535.317.22

КОНТУР УПРАВЛЕНИЯ ФОКУСИРОВКОЙ ШИРОКОАПЕРТУРНОЙ СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПО МАКСИМУМУ АМПЛИТУДЫ СИГНАЛА НА УДВОЕННОЙ ЧАСТОТЕ СФЕРИЧЕСКОЙ МОДУЛЯЦИИ ВОЛНОВОГО ФРОНТА

© Авторы, 2015

А.О. Скворцов

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

E-mail: alexskv@inbox.ru

А.Н. Клейменов

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

Я.И. Малашко доктор технических наук, доцент,

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

E-mail: malashko@yandex.ru

А.В. Назаренко кандидат физико-математических наук,

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

Приведены результаты моделирования и экспериментального исследования работы контура управления фокусировкой широкоапертурной системы формирования по максимуму амплитуды сигнала на удвоенной частоте сферической модуляции волнового фронта лазерного пучка. Ошибка автоматической установки плоскости фокусировки лазерного пучка составила величину менее 10^5 диоптрий, что совпадает с потенциальной точностью метода.

Ключевые слова: лазерный пучок, адаптивная оптика, удвоенная частота сферического зондирования волнового фронта, контур управления по фокусировке.

The modeling and experimental research operation results of the focusing control loop of wide-aperture forming system based on signal amplitude to the maximum on doubled frequency of laser beam wavefront spherical modulation are given. The automatic laser beam focusing plane adjustment error comprised less than 10^5 diopters that coincides with potential accuracy of the method.

Keywords: laser beam, adaptive optics, wavefront spherical sensing doubled frequency, control loop in focusing.

В ряде работ, осуществлённых сотрудниками ОКБ-4 ПАО «НПО «Алмаз», предложен и исследован метод управления фокусировкой мощного лазерного излучения по сигналу удвоенной частоты сферической модуляции волнового фронта. Перечисленные исследования проведены в ручном режиме управления фокусировкой на различных стендах, разных дистанциях (от 10 до 400 м и имитации бесконечной дальности) и различных длинах волн ($\lambda = 0,578$, $\lambda = 0,63$, $\lambda = 0,647$, $\lambda = 10,6$ мкм).

Показано экспериментально, что ошибка фокусировки может составлять величину менее $5 \cdot 10^{-6}$ диоптрий для выходной апертуры $\approx \emptyset 0,7$ м и угловой расходимости ≤ 10 угл. сек. При этом величина сигнала управления на удвоенной частоте может достигать 12% от общей излучаемой мощности. При этом частота зондирования не влияет на характеристики метода удвоенной частоты.

В настоящей статье создан и исследован контур управления фокусировкой в автоматическом режиме для выходной апертуры лазерного пучка $\approx \emptyset 0,7$ м и угловой расходимости менее 10 угл. сек. Разработан не имеющий аналогов в мировой практике алгоритм управления адаптивной системой. В основе алгоритма лежит максимизация отношения сигнала на удвоенной частоте к сигналу на частоте сферического зондирования. Показано, что при высокой точности фокусировки метод позволяет оценить ошибку фокусировки в стрелке остаточного сферического прогиба, что в свою очередь позволяет удовлетворить критерию допустимой дефокусировки. Достигнутая минимальная ошибка фокусировки в автоматическом режиме составила $4 \cdot 10^{-7}$ диоптрий.

В статье максимально использована аппаратура оптико-механического устройства летающей лаборатории ЛЛ1А2 (включая систему формирования с выходной апертурой $\emptyset 0,7$ м, привод фокусировки). Достижение широкой временной полосы установки фокусировки планируется решить в ходе дальнейших работ. В настоящий момент длительность одиночной итерации алгоритма управления составляет ≤ 1 сек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малашко Я.И. Формирование мощных лазерных пучков. – М.: МИРЭА, 2013.
2. Малашко Я.И., Наумов М.Б. Системы формирования мощных лазерных пучков. – М.: Радиотехника, 2014.
3. Клейменов А.Н., Малашко Я.И., Потемкин И.Б. Высокоточный метод определения положения фокусировки лазерных пучков в условиях мобильного базирования // Журнал «Научно-технические технологии». – М.: Изд-во Радиотехника, 2011, т. 12, № 12. – С.85–90.
4. Малашко Я.И., Клейменов А.Н., Потемкин И.Б., Хабибулин В.М. Высокоточный метод определения положения плоскости фокусировки лазерного пучка // Журнал «Квантовая электроника». – М.: ФИАН, 2013, т. 43, № 12. – С.1159–1164.
5. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов. – М.: «Вильямс», 2004. – 992 с.
6. Адаптивная оптика / под ред. Витриченко Э.А. – М.: Мир, 1980. – С.22–27.
7. Fried D.I. et al. *J. Opt. Soc. Am.*, 67, 422. – 1977.

FOCUSING CONTROL LOOP OF WIDE-APERTURE FORMING SYSTEM BASED ON SIGNAL AMPLITUDE TO MAXIMUM ON DOUBLED FREQUENCY OF WAVEFRONT SPHERICAL MODULATION

A.O. Skvortsov, A.N. Kleymenov, Y.I. Malashko, A.V. Nazarenko

The focusing control method of high energy laser emission on doubled frequency signal of wavefront spherical modulation was proposed and examined in series of papers accomplished by the PJSC «Almaz R&P Corp» Experimental Design Bureau (EDB-4) staff members. Mentioned research works was carried out in manual focusing control mode on different test beds, in different ranges (from 10 up to 400 m and simulation of infinite range) and wavelength волн ($\lambda = 0.578$, $\lambda = 0.63$, $\lambda = 0.647$, $\lambda = 10.6$ μm).

It was experimentally demonstrated that focusing error could comprise the value less than $5 \cdot 10^{-6}$ diopters for output aperture $\approx \varnothing 0.7\text{m}$ and angular spreading ≤ 10 arcseconds. Herewith the control signal value on doubled frequency could reach 12% from the total emitting power. Herewith the sweep frequency doesn't influence on doubled frequency method characteristics.

The focusing control loop in automatic mode for laser beam output aperture $\approx \varnothing 0.7\text{m}$ and angular spreading less than 10 arcseconds was constructed and examined in the article. The worldwide unique adaptive system control algorithm was elaborated. The algorithm is based on ratio maximizing of the signal on doubled frequency to the signal on spherical sweep frequency. It was demonstrated that at high focusing accuracy the method permits to evaluate the focusing error in arrow of spherical residual deflection that in its turn satisfies with admissible defocusing criterion. The achieved minimum focusing error in automatic mode comprised $4 \cdot 10^{-7}$ diopters.

The article at most covers the equipment of the LL1A2 flying test-bed optical-mechanical device (including generating system with output aperture $\varnothing 0.7\text{m}$, focusing drive). The achievement of wide temporary focusing adjustment belt is planned to fulfill during further works. At present the duration of control algorithm single iteration comprises ≤ 1 sec.

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ САМОНАСТРАИВАЮЩЕЙСЯ ЦИФРОВОЙ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ, ОБЛАДАЮЩЕЙ МАКСИМАЛЬНЫМ БЫСТРОДЕЙСТВИЕМ

© Авторы, 2015

Д.В. Худяков кандидат технических наук,
начальник сектора, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: nwms-info@yandex.ru

А.А. Антошков
ведущий инженер, АО ГОИ им. С.И. Вавилова, г. Санкт-Петербург

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

А.Б. Игнатьев доктор технических наук, профессор,
зам. генерального конструктора по ОНЭ, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

В.В. Карачунский доктор технических наук,
начальник ОКБ, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

П.Д. Купцов
ведущий инженер, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

Рассматривается следящая система (следящий привод), включающая: цифровой дискриминатор, измеряющий в дискретные моменты времени (с периодом T) разность между входной величиной и выходом следящей системы; линейный цифровой управляющий фильтр (ЦУФ), на вход которого поступает цифровой сигнал с дискриминатора; исполнительный механизм (ИМ), в общем случае аналоговый, но имеющий на входе фиксирующее звено, которое пропорционально преобразует поступающие с выхода ЦУФ с тактом T цифровые значения сигнала управления ИМ в соответствующие значения аналоговых импульсов длительностью T .

Ключевые слова: автоматизированный синтез, цифровое управление, аппаратная идентификация, линейная система, максимальное быстродействие, оптимальный синтез.

The follow-up system (follow-up drive) is examined which includes: digital discriminator measuring in discrete moments (with T time interval) the difference between input value and output of follow-up system; linear digital control filter (DCF) on input of which the digital signal from discriminator comes; actuating mechanism (AM), the analog in general, but having on its input the locking segment which proportionally transforms the AM digital control signal values incoming from DCF output with T time interval to the corresponding values of analog pulses with T duration.

Keywords: automated synthesis, digital control, equipment identification, linear system, maximum high-speed response, optimal synthesis.

В статье рассматривается линейная следящая система с цифровым дискретным управлением, включающая в общем случае дискриминатор, цифровой управляющий фильтр (ЦУФ) и реальный исполнительный механизм (ИМ) с фиксирующим звеном на входе. Рассматривается решение задачи автоматизированного оптимального синтеза следящей системы, т.е. автоматизированного вычисления коэффициентов числителя и знаменателя z -образа линейного ЦУФ, обеспечивающего максимальное быстродействие с учётом ограничивающих факторов: обеспечение заданного порядка астатизма, обеспечение требуемой ширины зоны линейности при заданных ограничениях входного сигнала ИМ, непревышение заданного переколебания системы.

Для решения этой задачи в статье приводятся алгоритмы оптимального синтеза ЦУФ при заданных ограничениях и известной импульсной передаточной функции ИМ в z -области.

Представлен аппаратный принцип идентификации импульсной передаточной функции ИМ в z -области на базе подачи на вход тестового воздействия и измерения выходной реакции.

Приведена структурная схема аппаратной идентификации и рассмотрены алгоритмы формирования системы линейных уравнений относительно искомым коэффициентов числителя и знаменателя z -образа импульсной передаточной функции ИМ.

Статья может быть использована для повышения уровня безопасности авиационной техники, как при наземном тестировании авиационных следящих контуров, так и при полётном статическом тестировании и автоматизированной модификации контуров с целью обеспечения их устойчивости при значительных улодах параметров отдельных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карачунский В.В., Каух В.Р., Худяков Д.В. Метод синтеза следящего контура с цифровым дискретным управлением в классе систем конечного времени установления // Материалы Международной научно-технической конференции «Интеллектуальные и многопроцессорные системы». – Россия, Дивноморск, 2005.
2. Теория автоматизированного регулирования. Книга 2. Анализ и синтез линейных систем автоматического регулирования / под ред. В.В. Слововникова. – М., 1963.
3. Джури Э. Импульсные системы автоматического регулирования. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1963.

SELF-ADJUSTING DIGITAL FOLLOW-UP SYSTEM HARDWARE IMPLEMENTATION OF HIGH-SPEED RESPONSE

D.V. Hudyakov, A.A. Antoshkov, A.S. Buruhin, A.B. Ignatiev, V.V. Karachunskiy, P.D. Kuptcov

The article considers the linear follow-up system with digital discrete control which includes in general the discriminator, digital control filter (DCF) and actual actuating mechanism (AM) with locking segment on input. The automated optimal synthesis of follow-up system problem solution is examined i.e. the automated calculating of DCF z-image numerator and denominator coefficients, providing the maximum response-time in respect to constraint factors: preassigned astatism order support, required linear zone width support at given limitations of AM input signal, not exceeding the given system overfluctuations.

To solve this problem the article states the DCF optimal synthesis algorithms at given limitations and known AM pulse transfer function in z-area.

The hardware identification principle of AM pulse transfer function in z-area on the base of test influence delivery to the input and output reaction measuring was presented.

The structural scheme of hardware identification was mentioned and generation algorithms of linear equitation system relatively to unknown numerator and denominator coefficients of AM pulse transfer function z-image.

The article can be applied for safety level increasing of aviation materiel both during ground testing of aviation servoloops and during in-flight static testing and automated loop (circuit) modification in order to provide its resistance during considerable parameters drift of separated elements.

УДК 621.396.969:621.373.826

МЕТОД И УСТРОЙСТВО ОЦЕНКИ ПРИЗНАКОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ УДАЛЁННЫХ ОБЪЕКТОВ

© Автор, 2015

С.И. Шахло

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

E-mail: sergey-shahlo@yandex.ru

Предлагается метод активной оптической локации, позволяющий выявить изменения состояния элементов оптико-механического тракта (ОМТ) объекта в результате воздействия лазерного излучения (ЛИ). Отличием предлагаемого метода является практическая независимость оценки состояния элементов ОМТ и степени их изменения при воздействии ЛИ от дальности до объекта. Рассматриваются методика измерения величины шероховатости поверхности фотоприёмной матрицы ОЭС удалённого объекта и устройство для её реализации.

Ключевые слова: лазерное излучение, оптическая локация, оптико-электронная система, фотоприёмная матрица, шероховатость поверхности, корреляционная функция, среднеквадратическое отклонение, параметрический генератор.

The active optical ranging method is proposed permitting to identify elements state changes of object optical-mechanical path (OMP) as a result of laser exposure (LE). The difference in the suggested method is practical estimation independence of OMP elements state and degree of its changing at LE from the range to the object. The measuring technique of surface finish of remote object optoelectronic system sensor array and apparatus for its implementation are considered.

Keywords: laser exposure, optical ranging, optoelectronic system, sensor array, surface finish, correlation function, mean-square deviation, parametric oscillator.

Рассматривается метод активной оптической локации, позволяющий оценить изменение состояния элементов оптико-механического тракта (ОМТ) оптико-электронной системы (ОЭС) удаленного объекта (далее – Объект) в результате воздействия мощного лазерного излучения (МЛИ), а также вариант устройства для реализации рассмотренного метода.

Метод основывается на известном факте, что шероховатость (отклонение от средней линии профиля) является неотъемлемой характеристикой («паспортом») поверхности любого объекта в оптическом диапазоне длин волн, в том числе фотоприёмной матрицы ОЭС Объекта. Сфокусированное пятно МЛИ имеет характерную спекл-структуру с ярко выраженным неоднородным распределением интенсивности. Вследствие воздействия МЛИ на фотоприёмную матрицу ОЭС Объекта на её поверхности возникают «рытвины», «холмы» и др. изменения рельефа. Следовательно, изменение микронеровностей (отклонения от средней линии профиля) фотоприёмной матрицы является признаком её функционального изменения.

В качестве информативного параметра, который изменяется в результате воздействия МЛИ, выбрано среднеквадратическое отклонение (СКО) точек поверхности типичных элементов ОМТ ОЭС от средней линии профиля. Измерив (оценив) изменение СКО отклонения от средней линии профиля фотоприёмной матрицы можно с определённой вероятностью определить функциональное состояние бортовой аппаратуры Объекта.

Для оценки СКО непосредственно перед воздействием МЛИ и сразу после него производится лазерное зондирование Объекта когерентным сигналом с конечным частотным спектром, при этом в плоскости наблюдения анализируются временные корреляционные функции (ВКФ) отраженных от ОЭС Объекта лазерных сигналов.

Достоинством предлагаемого метода является практическая независимость оценки состояния элементов ОМТ (степени их поражения МЛИ) от дальности до Объекта, так как использование ВКФ отраженного сигнала для определения критериального параметра поражения не требует приема большого количества пространственно-частотных компонент спектра вторичного излучения Объекта.

Приведен вариант устройства для реализации рассмотренного метода оценки изменения состояния поверхности фотоприёмной матрицы ОЭС удалённого объекта при воздействии МЛИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Борн М., Вольф Э.** Основы оптики / под ред. Г.П. Мотулевич. – М.: Наука, 1970.
2. **Топорец А.С.** Оптика шероховатой поверхности. – Л.: Машиностроение, 1988.
3. Справочник по лазерам. В 2-х томах. Т. II. / под ред. акад. А.М. Прохорова. – М.: Советское радио, 1978.
4. **Матвеев И.Н., Протопопов В.В., Троицкий И.Н., Устинов Н.Д.** Лазерная локация / под ред. чл.-кор. АН СССР Н.Д. Устинова. – М.: Машиностроение, 1984.
5. Теоретические основы радиолокации / под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Советское радио, 1970.
6. **Цернике Ф., Мидвинтер Дж.** Прикладная нелинейная оптика / под ред. С.А. Ахманова – М.: Мир, 1976.
7. **Малашин М.С., Каминский Р.П., Борисов Ю.Б.** Основы проектирования лазерных локационных систем. – М.: Высшая школа, 1983.
8. **Корн Г., Корн Т.** Справочник по математике. – М.: Наука, 1984.

METHOD AND ESTIMATOR OF ELEMENTS SURFACE STRUCTURE FUNCTIONAL CHANGING OF ELECTRO-OPTICAL EQUIPMENT OF REMOTE OBJECTS

S.I. Shakhlo

The active optical ranging method permitting to estimate elements state changes of remote object optical-mechanical path (OMP) of optoelectronic system (OES) as a result of high-energy laser exposure (HELE) and apparatus variant for implementation of examined method are considered as well.

The method is based on the known fact that surface finish (deviation from the centerline of the profile) is an inherent feature (certificate) of any object surface in optical wavelength band, particularly of sensor array of the object OES. The high-energy laser exposure focused spot has a specific speckle pattern with clear-cut nonhomogeneous power distribution. As a result of high-energy laser exposure on the object OES sensor array the «grooves», «hillocks» and other pattern changing arise. Consequently, the microroughnesses variations (deviation from the centerline of the profile) changing of sensor array is a feature of its functional changing.

As an information parameter, which changes due to high-energy laser exposure, the mean-square deviation (MSD) of typical OMP elements surface points of OES from the center line of the profile was selected. By measuring (estimating) the MSD changing from the centerline of the sensor array profile it's possible with certain probability to estimate the functional condition of the object onboard equipment.

To estimate the MSD directly before and after the high-energy laser exposure on OES the object laser sounding is performed by coherent signal with finite frequency spectrum, herewith, the time correlation functions (TCF) of the object OES return signals are analyzed in surveying plane.

The advantage of the suggested method is a practical estimation independence of OMP elements state (damage level as a result of high-energy laser exposure) from range to the object since the use of TCF of return signal for criterion damage parameter determination doesn't require receiving of large amount of spatial-frequency spectrum components at the object secondary emission.

The apparatus variant for implementation of reviewed state changing assessment method of the remote object OES sensor array during high-energy laser exposure is discussed.

УДК 621.373

YAG: Nd³⁺–ЛАЗЕР, ГЕНЕРИРУЮЩИЙ ИЗЛУЧЕНИЕ В СИНЕЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

© Авторы, 2015

А.Е. Шепелев

начальник лаборатории научно-исследовательского испытательного комплекса, ФКП «ГЛП «Радуга»,
г. Радужный, Владимирская обл.
E-mail: a_shepelev24121989@mail.ru

М.Н. Ершков старший преподаватель кафедры «Лазерная физика и технология»,
ФГБОУ ВПО «КГТА им. В.А. Дегтярёва», г. Ковров, Владимирская обл.

А.В. Федин доктор технических наук,
профессор кафедры И11 «Лазерная техника»,
ФГБОУ ВПО «БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», г. Санкт-Петербург

Рассмотрен принцип реализации генерации синего излучения при последовательном нелинейно-оптическом преобразовании YAG: Nd-лазерного излучения на длине волны неосновного перехода 1.34 мкм во вторую (0.67 мкм) и третью гармоники (0.446 мкм).

Ключевые слова: генерация синего излучения, твёрдотельный лазер, нелинейно-оптическое преобразование, модуляция добротности.

The blue light lasing realization principle is examined at consequent nonlinear-optical conversion of YAG:Nd-laser emission on none basic transition wavelength 1.34 μ m to the second (0.67 μ m) and to the third (0.446 μ m) harmonics.

Keywords: blue light lasing, solid-state laser, nonlinear-optical conversion, Q-modulation.

Одной из актуальных проблем лазерной техники является разработка и исследование твёрдотельных лазеров с длиной волны в сине-зеленой области спектра. Это связано с тем, что излучение с длиной волны около 450 нм попадает в минимум поглощения морской волны и может эффективно использоваться для решения различных задач подводной локации.

Реализовать генерацию синего излучения возможно при последовательном нелинейно-оптическом преобразовании YAG:Nd-лазерного излучения на длине волны неосновного перехода 1.34 мкм во вторую (0.67 мкм) и третью гармоники (0.446 мкм).

В статье исследовались параметры лазерной генерации на длинах волн: накачки 1.34 мкм, второй гармоники 0.67 мкм и суммарной частоты 0.446 мкм. Энергетические характеристики излучения регистрировались с помощью измерителя мощности и энергии Ophir. Временные параметры измерялись лавинным фотодиодом ЛФД-2А, подключенным к осциллографу Agilent 300 MGz.

Без использования дополнительных элементов излучение на выходе задающего генератора было близким к одномодовому. Порог генерации наблюдался при энергии накачки около 54 Дж. При изменении энергии накачки до 91 Дж генерировался один импульс длительностью около 20 нс с энергией до 10 мДж. При максимальной энергии накачки 112 Дж излучались два импульса той же длительности и периодом следования порядка 60 мкс. Энергия излучения при этом достигла 16 мДж. Излучение являлось вертикально поляризованным. Для повышения энергии излучения использовалась двухпроходная схема усиления. В результате максимальное значение энергии достигло 94 мДж, что соответствовало общему усилению на длине волны 1.34 мкм около 6.

Излучение с выхода усилителя направлялось в нелинейный кристалл LiNbO₃ для генерации второй гармоники на длине волны 0.67 мкм. При изменении энергии накачки энергия красного излучения (0.67 мкм) изменялась в пределах от 8.5 мДж до 20.5 мДж. Эффективность преобразования при этом оставалась практически постоянной и превышала 21%. В результате нелинейного смешения излучений на длинах волн 1.34 мкм и 0.67 мкм в кристалле DKDP наблюдалась генерация излучения суммарной частоты в синей области спектра. Максимальное значение энергии излучения на длине волны 0.446 мкм составило почти 2 мДж, что соответствует пиковой мощности 50 кВт в импульсе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карасик В.Е. Лазерные системы видения [Текст] / В.Е. Карасик, В.М. Орлов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 352 с.
2. Зверев Г.М. Лазеры на алюмоиттриевом гранате с неодимом [Текст] // Г.М. Зверев, Ю.Д. Голяев, Е.А. Шалаев, А.А. Шокин. – М.: Радио и связь, 1985. – 144 с.
3. Дмитриев В.Г. Нелинейная оптика и обращение волнового фронта. – М.: Физматлит, 2003. – 256 с.

BLUE LIGHT LASING YAG: ND³⁺-LASER

A.E. Shepelev, M.N. Ershkov, A.V. Fedin

One of the topical issues of laser technology is research and development solid-state lasers with a wavelength in blue-green spectrum. This is connected with the fact that emission with wavelength of about 450 nm fall into minimum sea wave absorption and can be effectively used for different submerged location tasks solving.

The blue lasing is possible at consequent nonlinear-optical conversion of YAG:Nd -laser emission on none basic transition wavelength 1.34 μm to the second (0.67 μm) and to the third (0.446 μm) harmonics.

The article examines the lasing parameters at wavelengths: 1.34 μm pumping, 0.67 μm of the second harmonica and 0.446 sum frequency. The output performance of emission was recorded with the Ophir energy and power meter. Time parameters were recorded with the LFD-2A avalanche photodiode connected to the Agilent 300 MGz oscillograph. The emission on the output of the basic frequency generator without using of additional elements was close to single mode. The lasing threshold observed at pumping energy of about 54 J. During pumping energy changing up to 91 J one pulse was generated with duration of about 20 ns with 10 mJ energy. At maximum pumping energy of 112 J the two pulses were emitted of the same duration and sequence order period of 60 μs . The emission energy here reached the 16 mJ. The emission was vertically polarized. In order to increase the emission energy the two-pass gain circuit was used. As a result the maximum energy value reached 94 mJ that corresponded to the overall gain of about 6 at 1.34 μm wavelength.

The emission from the amplifier output went to LiNbO₃ none-linear crystal for the second harmonica lasing at 0.67 μm wavelength. At pumping energy changing the red radiation energy (0.67 μm) changed in range from 8.5 mJ up to 20.5 mJ. The conversion effectiveness here remained substantially constant and exceeded 21%. As a result of none-linear emissions mix at 1.34 μm and 0.67 μm wavelength in DKDP crystal the lasing of sum frequency in blue spectrum was observed. The maximum radiation energy value at 0.446 μm wavelength comprised almost 2 mJ which corresponds to the peak pulse power of 50 kW.

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ И СРЕДСТВ ВКО

УДК 338.242.2

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ В РОСАВИАКОСМОСЕ И ОПК РФ

© Автор, 2015

Б.Б. Леонтьев доктор экономических наук, профессор,
академик Российской Академии Естественных Наук (РАЕН),
эксперт ВОИС/WIPO, эксперт НЦПИ при Минюсте РФ, эксперт Фонда «Сколково»,
судебный эксперт, генеральный директор ЗАО «СОИС», г. Москва
E-mail: info@sois.ru

Тенденции изменения международной конъюнктуры таковы, что российская экономика вынуждена в качестве одного из важнейших приоритетов избрать стратегию импортозамещения, т.е. начать сокращать или прекращать импорт определённых товаров с одновременной их заменой национальными. Задача развития импортозамещающего производства решается через активизацию управления интеллектуальной собственностью. Импортозамещающие товары должны производиться на основе российской интеллектуальной собственности и не должны, как минимум, быть контрафактными. В связи с этим в статье рассматривается проблема развития импортозамещающего производства с позиции решения наиболее сложных задач, связанных с аспектом интеллектуальной собственности.

Ключевые слова: государство, импорт, импортозамещение, инновации, интеллектуальная собственность, методы, механизм, отрасль, охрана, патентование, перспективы, промышленность, рынок, экономика.

Due to the modern changes of the international environment and business climate, the Russian economics is compelled to select the import substitution strategy as one of its major priority by beginning with reduction or stoppage import of certain goods with their simultaneous substitution by the national equivalents. The problem of import-substituting production development is solved by way of intellectual property management promotion. The import-substituting goods have to be produced on the basis of the Russian intellectual property and, at least, they shouldn't be the counterfeit. Thereupon, in given article there are considered the import-substituting production development goals from the position of the most complex IP-related problems solution.

Keywords: state, import, import substitution, innovations, intellectual property, methods, tools, branch of industry, opportunities, patenting, protection, market, economics.

Политическая обстановка, складывающаяся во взаимоотношениях России со странами Западной Европы, США, Японии, Австралии и Канады вынуждает российское руководство проводить существенную корректировку курса экономической политики, направленную на импортозамещение ряда импортных товаров из-за рубежа. Обстоятельства вынуждают нас выстраивать самодостаточную национальную экономику, смысл которой состоит в минимизации рисков и снижении зависимости от импорта.

Проблема импортозамещения возникает в случаях, когда на международном уровне начинаются трудности в развитии взаимовыгодных отношений по причинам политической или жесткой экономической конкуренции. Содержание этого процесса включает, в частности, целевое замещение дефицитных товаров, приобретаемых за рубежом, на функционально идентичные российские. Всё начинается со списка товаров, которые целесообразно замещать российскими, где функциональное назначение импортозамещающих товаров должно полностью соответствовать их функциональным возможностям.

Проблема импортозамещения в нашей экономике позиционируется как важнейшая стратегическая. В виде программы импортозамещение предусматривает создание и реализацию импортозамещающих идей и разработок через создание новых технологий, а далее организацию малых, средних и крупных предприятий вплоть до создания российских транснациональных корпораций, которые естественным путем вырастают из средних и крупных на основе франчайзинга. Однако пора бы ставить более важную и амбициозную для долгосрочной российской экономики задачу – становиться мировым лидером в важнейших сегментах рынка высоких технологий. Без освоения высокоэффективного управления интеллектуальной собственностью в стране, в отраслях и на предприятиях эта задача не решается в принципе.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Путин В.В.** Санкции заставляют работать // Путеводитель российского бизнеса, № 11, 2014. – С.14–15.
2. Выступление Путина В.В. на Петербургском международном экономическом форуме. 23 мая 2014 года // Официальный сайт Президента России. – URL: <http://www.kremlin.ru>.
3. **Румянцева Е.Е.** Новая экономическая энциклопедия, 2-е изд. – М.: ИНФРА-М, 2006. – 174 с.
4. Большая экономическая энциклопедия. – М.: Эксмо, 2008. – С.242.
5. **Иванов О.Б.** Корпоративная система подготовки и повышения квалификации кадров в крупных компаниях // Экономическая теория. Анализ. Практика. № 3, 2014. – С.122–129.
6. **Андреев С.Г., Голов Е.Г.** Вариант модели оценки деятельности специалистов сложных технических систем в рамках специализированной системы поддержки принятия решений // Вестник воздушно-космической обороны. Выпуск 1(1), 2014. – С.56–61.

IMPORT SUBSTITUTION IN ROSAVAICOSMOS AND DEFENSE-INDUSTRIAL SECTOR OF THE RUSSIAN FEDERATION

B.B. Leontyev

The present political situation in view of the Russian Federation relations with countries of the Western Europe, USA, Japan, Australia and Canada forces the Russian government to carry out the correction of the economic policy aimed at the import substitution of a whole number of imported goods. The circumstances force us to develop the self-sufficient national economy for minimization of risks and cutting the dependence on the global import.

The import substitution problem occurs when the mutually beneficial relationship difficulties come into being at the international level due to some political or economic tough competition reasons. This process includes, in particular, the special-purpose replacement of the imported scarce commodities by the functionally identical Russian analogues. It starts with a list of goods that are reasonable to replace by the Russian analogues that must correspond to the functional goals of the import-substituting goods.

The problem of import substitution in our economy is positioned as the most key important strategic problem. The import substitution program makes provision for measures for the development and commercialization of the import substitution ideas and products by way of the new technologies creation, and further by way of organization of the small-scale enterprises, medium and large business up to the foundation of the Russian transnational corporations, that are naturally developed from the medium and large business on the franchise basis.

However, it's the very moment to set the more important and ambitious problem for the long-term Russian economy – to become the world leader in the most important segments of hi-tech global market. This problem can't be basically solved without the development of high efficient IP management in the country, industries and business.

Поступила 15 января 2015 года.

УДК 621.396.96

МЕТОДЫ ОПТИМАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

© Авторы, 2015

А.В. Егоров кандидат технических наук, доцент,
начальник научно-методического отдела НОЦ, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: otdel6-3@yandex.ru
И.Н. Винцаревич
начальник отдела, НТЦ МНИИГА, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва

В статье сформулирована задача оптимальной оценки параметров движения воздушно-космических объектов, решение которой может служить основой нового метода для применения в алгоритмах вторичной обработки РЛИ. Применение статистического критерия оптимальности при решении задачи оценки параметров движения воздушно-космических объектов, также позволит создать методы для применения в перспективных алгоритмах вторичной обработки радиолокационной информации.

Ключевые слова: линейное параметрическое оценивание, приближенно-линейные модели, статистический критерий, вторичная обработка информации, радиолокационные системы.

The article formulates the optimal estimation task of air-space objects trajectory parameters the solution of which may serve the basis of a new method for application in radar data (RD) secondary processing algorithms.

Keywords: linear parametric estimation, approximately linear model, statistical criterion, secondary information processing, radar systems.

В статье предлагается использовать приближенно-линейные модели для аппроксимации временных зависимостей каждой из координат наблюдаемых в радиолокационных системах объектов, а также зависимостей проекций скорости и ускорения. Обосновывается новый статистический критерий оптимальности оценок параметров движения воздушно-космических объектов, включающий в себя ширину доверительного интервала оценки, и использующий приближенно-линейные модели и априорную информацию об ошибках измерений. С применением введенного оптимального критерия осуществляется постановка задачи оптимальной оценки параметров движения воздушно-космических объектов, решение которой позволит создать методы для применения в перспективных алгоритмах вторичной обработки радиолокационной информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по радиолокации. В 2-х книгах / под ред. М.И. Скольника. – М.: Изд-во Техносфера, 2014, Т. 1. – 680 с.
2. **Синицын И.Н.** Фильтры Кальмана и Пугачева. – М.: Университетская книга, Логос, 2006. – 640 с.
3. **Тихонов В.И., Харисов В.Н.** Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2014. – 608 с.
4. **Кузьмин С.З.** Цифровая радиолокация. Введение в теорию. – Киев: КВиЦ, 2000. – 428 с.
5. **Lee B.J., Park J.B., Joo Y.H., Jin S.H.** Intelligent Kalman filter for tracking a manoeuvring target. – *IEE Proc.-Radar Sonar Navig.*, 2004. Vol. 151, № 6.
6. **Bahari M.H., Pariz N, Karsaz A.** High manoeuvring target tracking using a novel hybrid Kalman filter-fuzzy logic architecture. – *ICIC International*, 2010, Vol. 6, № 5.
7. **Вапник В.Н.** Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. – М.: Наука, 2009. – 448 с.
8. **Демиденко Е.З.** Линейная и нелинейная регрессии. – М.: Финансы и статистика, 2011. – 304 с.
9. **Себер Дж.** Линейный регрессионный анализ: Пер. с англ. / под ред. Малютов М.Б. – М.: Мир, 2010. – 456 с.
10. **Sacks J., Ylvisaker D.** Linear estimation for approximately linear models. – *The Annals of Statistics*, 1978 Vol. 6, № 5, P.1122–1137.

OPTIMAL ESTIMATION METHODS OF AIR-SPACE OBJECTS TRAJECTORY PARAMETERS

A.V. Egorov, I.N. Vintcarevich

The article suggests using approximately linear models for time relationships (dependence) approximation of each coordinates in radar systems of objects, and relationships of velocity and acceleration projections. The new statistical criterion of air-space objects trajectory parameters estimation optimality is settled including the estimation confidence interval width, and using approximately linear models and prior information on measurement errors. By introducing the optimal criterion a task assignment of air-space objects trajectory parameters estimation is carried out the solution of which permits to create methods for application in perspective algorithms of radar data secondary processing.

Поступила 15 января 2015 года.

ПРИМЕНЕНИЕ СИЛ И СРЕДСТВ ВКО

УДК 621.396.962

РАЗВИТИЕ КОРАБЕЛЬНОГО ЗЕНИТНОГО ОРУЖИЯ И ИХ КОНТУРОВ УПРАВЛЕНИЯ В ИСТОРИЧЕСКОЙ РЕТРОСПЕКТИВЕ

© Авторы, 2015

А.В. Борзунов кандидат технических наук,
референт генерального директора, АО НИИП, г. Москва
Н.С. Щербаков доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ,
начальник отдела НОЦ, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: info@raspletin.com

Рассматривается история создания корабельного зенитного оружия и контуров управления в тесном взаимодействии с развитием средств воздушного нападения. Показано, что для отражения атак разнородных средств воздушного нападения потребовалось создание эшелонированной многорубежной обороны. Появилась задача синтеза оптимального комбинированного наведения ЗУР, которая привела к появлению интегрированных систем корабельного зенитного оружия.

Ключевые слова: зенитное оружие, корабельная противовоздушная оборона, контуры управления, противокорабельные ракеты, эшелонированная оборона.

The article states the development stage history of shipborne air-defense weapons and control loops on synergy with development of air attack weapons. It's demonstrated that to meet an attack of mixed air attack weapons it was necessary to build-up a layered multilined defense. The task of surface-to-air missile (SAM) optimal combined guidance synthesis arisen which led to creation of shipborne air-defense weapon integrated systems.

Keywords: air-defense weapon, shipborne anti-aircraft defense, control loops, anti-ship missile (ASM), layered defense.

Развитие России как мировой державы в XXI веке немыслимо без сильного военно-морского флота. Вместе с тем, опыт военных конфликтов конца XX - начала XXI веков со всей убедительностью показывает, что основой ударной мощи противоборствующих вооруженных сил в военных конфликтах XXI века станут средства воздушно-космического нападения. Именно поэтому одной из основных составляющих боевого потенциала ВМФ в настоящий момент является и останется таковым в обозримом будущем корабельное зенитное оружие, призванное обеспечивать надёжную противовоздушную и воздушно-космическую оборону кораблей. И в этой связи важно представлять облик таких систем вооружения, и в ближайшей, и в отдаленной перспективе. Для этого необходимо выявить причины их появления, тенденции и пути их развития в историческом и хронологическом аспекте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Интервью с Главным конструктором ОАО «МНИИРЭ «Альтаир» Борзуновым А.В. / NAVAL & MERCHANT SHIPS. – М.: Изд-во ОАО «Лагук-Медиа-Люкс», 2006, т. 11, № 326. – С. 17–19. Изд. на кит. языке.
2. **Захаров И.Г.** Концептуальный анализ в военном кораблестроении // «Судостроение». – СПб., 2001. – 262 с.
3. **Климов С.А., Щербаков Н.С.** «Морские ракетные и ракетно-артиллерийские комплексы ПВО. Проблемы и решения» // Журнал оборонно-промышленного комплекса «Военный парад». – М.: Изд-во ООО «Военный парад», 2003, № 2.
4. **Локк А.С.** Управление снарядами. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1958. – 775 с.

5. Основы автоматического регулирования / под ред. В.В. Солодовникова. – М.: Машгиз, 1954. – 1116 с.
6. **Кринецкий Е.И.** Системы самонаведения. – М.: Изд-во «Машиностроение», 1970. – 236 с.
7. **Лебедев А.А., Карбанов В.А.** Динамика систем управления беспилотными летательными аппаратами. – М.: Машиностроение, 1965. – 528 с.
8. Методы классической и современной теории автоматического управления. Учебник в 5-ти томах. Переработан и дополнен. Том 1: Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления / под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егулова – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.
9. **Неупокоев Ф.К.** Стрельба зенитными ракетами. – М.: Воениздат, 1980. – 294 с.
10. Справочник. Зенитное ракетное оружие мира. – М., Изд-во научно-технической информации российских оборонных систем и предприятий, 2005. – 287 с.
11. **Архангельский И.И., Вититин В.Ф., Голубев И.С.** Проблемы формирования облика ракет в системе обороны кораблей ВМФ // Радиоэлектронные системы. Сер. Общетеchnическая. – 1999, Вып.1(2). – С.25–42.
12. **Копанев А.А., Музыченко О.Н.** Опыт разработки боевой информационно-управляющей системы «Требование-М» и возможности создания на её основе интегрированной системы управления оружием корабля» // Материалы межотраслевой научно-практической конференции «ВОКОР-2004». Министерство обороны Российской Федерации. Первый центральный научно-исследовательский институт. – СПб., 2004. – С.172–190.
13. **Климов С.А., Борзунов А.В.** Интегрированные системы зенитных огневых средств надводных кораблей // Журнал оборонно-промышленного комплекса «Военный парад». – М.: Изд-во ООО «Военный парад», 2006, №1(73).
14. **Борзунов А.В.** Интеграция зенитного вооружения корабля – веление времени // Журнал оборонно-промышленного комплекса «Военный парад». – М.: Изд-во ООО «Военный парад», 2009, №1(91).
15. **Борзунов А.В., Сенчуров В.А.** Принципы интеграции корабельных огневых и радиоэлектронных средств в единую систему ПВО на базе головного зенитного ракетного комплекса // Состояние, проблемы и перспективы создания корабельных информационно-управляющих комплексов // Сборник докладов НТК, 2-4 апреля 2008. – М., ОАО Концерн «Моринформсистема-Агат», 2008. – С.36–39.
16. **Борзунов А.В.** Проектирование контуров управления корабельным зенитным оружием в современных условиях // Радиоэлектронные системы – М.: ОАО «МНИИРЭ «Альтаир», 2009, № 2(16). – С.3–16.
17. **Воронов Е.М.** Методы оптимизации управления многообъектными многокритериальными системами на основе разработки и модификации стабильно-эффективных игровых решений и компромиссов. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2000.
18. **Позняк А.С.** Основы робастного управления (Н – теория). – М., МФТИ, 1991. – 128 с.
19. Методы робастного нейро-нечёткого и адаптивного управления / под ред. Егулова Н.Д. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002. – 744 с.
20. **Фрадков А.Л.** Адаптивное управление в сложных системах. – М.: Наука, 1990. – 292 с.
21. **Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л.** Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. – СПб.: Наука, 2000. – 548 с.
22. **Стюарт Рассел, Питер Норвиг.** Искусственный интеллект. Современный подход. – М.: ИД «Вильямс», 2006. – 1408 с.

SHIPBORNE AIR-DEFENSE WEAPONS DEVELOPMENT AND ITS CONTROL LOOPS IN HISTORICAL RETROSPECTIVE

A.V. Borsunov, N.S. Stcherbakov

The advancement of the Russian Federation as a world-power in 21st century is inconceivable without powerful Naval Forces. Moreover, the experience of military conflicts at the end of XX – beginning of XI cc shows with a credibility that the main strike power of countering armed forces in military conflicts of 21st century will be airspace attack weapons. This is precisely why one of the principal constituents of the Naval Force combat potential nowadays is (and will remain in foreseeable future) shipborne air-defense weapon designed to provide reliable air- and aerospace defense of ships. In this regard it's important to represent the appearance of such weapon systems in near future and distant prospect. For this purpose it's necessary to find out the reason of its development, tendency and development trends in historical and chronological aspects.

Поступила 29 мая 2015 года.

ИССЛЕДОВАНИЯ В СФЕРЕ ПРОЕКТНО- КОНСТРУКТОРСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ

УДК 621.396.96

ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ЛИНИИ ВИЗИРОВАНИЯ ПО РАЗНОСТИ ДОПЛЕРОВСКИХ СПЕКТРОВ

© Автор, 2015

В.В. Выборнов

инженер 1 категории, ПАО «НПО «Алмаз», г. Москва
E-mail: wybornov64@mail.ru

Рассматривается один из способов определения угловой скорости объекта, реализация которого позволяет определять параметры его движения в ближней зоне антенны в течение одного радиолокационного зондирования.

Ключевые слова: эффект Доплера, угловая скорость, пеленгатор.

The article states one of the techniques to determine the object angular rate the implementation of which permits to measure its trajectory parameters in near antenna zone at one radar probing.

Keywords: Doppler effect, angular velocity, position finder.

Угловая скорость линии визирования объекта – один из наиболее информативных параметров на начальном этапе сближения с ним, при этом требуемая относительная точность измерения угловой скорости на один – два порядка выше, чем точность измерения самой угловой координаты. Если объект перемещается на небольшом расстоянии от радиолокатора, то доплеровские скорости, зафиксированные в разных фазовых центрах антенной системы, будут немного отличаться.

Для изучения эффекта корреляции угловой скорости и разности доплеровских спектров была разработана математическая модель, учитывающая реальные условия работы радиолокатора. Для повышения точности определения угловой скорости производится интерполяция каждого спектра полиномом второго порядка, затем после дифференцирования полиномов находятся максимумы спектров и вычисляется безразмерная величина γ , функционально связанная с искомой угловой скоростью. Построены графики зависимости γ от угловой скорости объекта, показана линейная зависимость этих величин.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Виницкий А.С.** Автономные радиосистемы: учеб. пособие для вузов.– М.: Радио и связь, 1986. – 336 с.

LINE OF SIGHT RATE MEASURING IN DOPPLER SPECTRUM DIFFERENCE

V.V. Vybornov

The object line of sight rate is one of the most information-bearing parameter at initial phase of approaching with it, here-with the required relative measurement accuracy of angular velocity is higher on one-two orders than measurement accuracy of the angular coordinate itself. If the objects moves in small distance from the radar the Doppler velocities, fixed in different phase centers of antenna system, will be slightly different.

To study the correlation effect of angular velocity and Doppler spectrums difference the mathematical model was developed considering the real operation conditions of the radar. In order to increase the accuracy of angular velocity measurement the interpolation of each spectrum carries out by the second order polynom then after polynoms differentiation the spectrum maxima is defined and γ dimensionless value is calculated which is functionally connected with sought angular velocity. Dependence diagrams of γ from the object angular velocity were constructed, the linear dependence of these values was demonstrated.

Поступила 15 января 2015 года.

СНИЖЕНИЕ ПИК-ФАКТОРА АНСАМБЛЯ ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ С ОГРАНИЧЕННОЙ ДЛИНОЙ И УРОВНЕМ ВЗАИМНОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ

© Авторы, 2015

М.Г. Соскунов

ведущий инженер НТЦ «АФС», АО «ВНИИРА», г. Санкт-Петербург

E-mail: info@vniira.ru

Е.Е. Дмитриев

ведущий инженер НТЦ «АФС», АО «ВНИИРА», г. Санкт-Петербург

Предложен способ снижения пик-фактора шумоподобных сигналов путём использования многофазных АВ последовательностей. Выполнен сравнительный анализ значений пик-фактора АВ сигналов с широким классом кодов Голда, обработанных различными типами фильтров, для длин $N = 31, 63, 127, 255, 511, 1023$.

Ключевые слова: АВ коды, пик-фактор, коды Голда, шумоподобные сигналы, автокорреляционная функция, взаимокорреляционная функция.

The way of decrease in the peak-factor pseudonoise signals by use multiphase AB sequences is offered. The comparative analysis of values of peak-factor AB of signals with a wide class of codes of Gold processed by various types of filters, for lengths $N = 31, 63, 127, 255, 511, 1023$ is made.

Keywords: AB codes, peak-factor, Gold's codes, pseudonoise signals, autocorrelation function, crosscorrelation function.

В работе определены факторы, влияющие на величину пик-фактора шумоподобных фильтрованных сигналов. В результате анализа причин, влияющих на пик-фактор шумоподобных сигналов, установлено, что для минимизации пик-фактора необходимо:

- выбрать такой тип фильтра, у которого значения автокорреляционной функции $R(m)$ отличны от нуля только при $m = 0$, в остальных точках m значение должно быть равно нулю;
- скачки фазы соседних чипов в окрестности отдельно взятого чипа шумоподобного сигнала должны быть сведены к минимуму.

В качестве способа снижения величины пик-фактора шумоподобного сигнала предложено использовать АВ коды. Шумоподобные сигналы данного класса характеризуются отсутствием постоянных резких скачков фазы соседних чипов. Кроме того, они обладают рядом важных особенностей:

- позволяют получить большой ансамбль сигналов с требуемым уровнем взаимокорреляционной функции и автокорреляционной функции;
- не накладывают ограничений на длину последовательностей;
- обладают нелинейными свойствами.

В работе выполнен сравнительный анализ значений пик-фактора АВ кодов и последовательностей Голда. Исследования проведены для длин последовательностей $N = 31, 63, 127, 255, 511, 1023$. В качестве формирующих фильтров использованы следующие типы фильтров:

- гауссовский с $BT = 0.5$ NSYM = 4;
- приподнятый косинус с $BT = 0.3$ NSYM = 8;
- корень квадратный из приподнятого косинуса с $BT = 0.3$ NSYM = 8.

Проведенные вычисления величины пик-фактора АВ кодов и последовательностей Голда показали, что нелинейные шумоподобные сигналы, при их использовании в каналах с ограниченной полосой, дают лучшие показатели значений пик-фактора по сравнению с кодами Голда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пестряков В.Б., Афанасьев В.П., Гурвиц В.И. и др. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации – М.: Сов. Радио, 1973. – 424 с.
2. Гришин Ю.П., Ипатов В.П. и др. Радиотехнические системы – М.: Высшая школа, 1990. – 496 с.
3. Auslander L., Barbano P. *Communication Codes and Bernoulli Transformation – New York: Applied and Computational Harmonic Analysis*, 1998, № 5. – P.109–128.
4. Харин Ю.С., Берник В.И., Матвеев Г.В., Агиевич С.В. Математические и компьютерные основы криптологии: Учеб. пособие. – Мн.: Новое знание, 2003. – 382 с.
5. Шнайер Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си. – М.: Изд-во ТРИУМФ, 2002. – 816 с.

DECREASE IN THE PEAK-FACTOR OF ENSEMBLE PSEUDONOISE SIGNALS ON THE BASIS OF NONLINEAR MATHEMATICAL FUNCTIONS WITH THE LIMITED LENGTH AND LEVEL OF CROSSCORRELATION FUNCTION

M.G. Soskunov, E.E. Dmitriev

In work the factors influencing size of the peak-factor pseudonoise of filtered signals are defined. As a result of the analysis of the reasons influencing peak-factor pseudonoise of signals, it is established, that for peak-factor minimization it is necessary:

- to choose such type of the filter, at which value of autocorrelation function $R(m)$ are distinct from zero only at $m = 0$, m value should be equal in other points to zero;
- jumps of a phase of the next chips in a vicinity of separately taken chip pseudonoise a signal should be shown to a minimum.

As a way of decrease in size of the peak-factor pseudonoise a signal it is offered to use AB codes. Pseudonoise signals of the given class are characterized by absence of constant sharp jumps of a phase of the next chips. Besides, they possess a number of the important features:

- allow to obtain the big ensemble of signals with demanded level crosscorrelation function and autocorrelation function;
- do not impose restrictions on length of sequences;
- possess nonlinear properties.

In work the comparative analysis of values of peak-factor AB of codes and Gold's sequences is made. Researches are spent for lengths of sequences $N = 31, 63, 127, 255, 511, 1023$. As forming filters following types of filters are used:

- gaussian with $BT = 0.5$. $NSYM = 4$;
- raised cosine with $BT = 0.3$. $NSYM = 8$;
- square root raised cosine with $BT = 0.3$. $NSYM = 8$.

The spent calculations of size of peak-factor AB of codes and Gold's sequences have shown, that nonlinear pseudonoise signals, at their use in channels with the limited strip, give the best indicators of values of the peak-factor.

Поступила 15 января 2015 года.

ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 519.85

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВИРТУАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПОЛИГОНА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ЛЁТНОГО И КОМАНДНОГО СОСТАВА ВВС РФ

© Авторы, 2015

С.В. Бабуров кандидат технических наук,
зам. генерального директора, ЗАО «ВНИИРА-Навигатор», г. Санкт-Петербург
E-mail: aspirantura@vniira.ru

И.А. Киршина кандидат технических наук, доцент,
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
г. Санкт-Петербург
E-mail: zlata@aanet.ru

В.Н. Переломов
Генеральный директор АО «ВНИИРА», г. Санкт-Петербург
E-mail: aspirantura@vniira.ru

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

С.А. Цурков, аспирант, АО «ВНИИРА», г. Санкт-Петербург
E-mail: aspirantura@vniira.ru

А.Ю. Шатраков, кандидат технических наук, доктор экономических наук, профессор,
зам. начальника Управления, ОАО «Концерн ПВО «Алмаз – Антей», г. Москва
E-mail: shatrakov@yandex.ru

В.Т. Яковлев, доктор технических наук,
начальник НТО, АО «ВНИИРА», г. Санкт-Петербург
E-mail: aspirantura@vniira.ru

В работе исследуются и моделируются характеристики электронного полигона для оперативно-тактической подготовки лётного и командного состава ВВС РФ.

Ключевые слова: электронный полигон, моделирование, характеристики, зависимость, график, эффективность, вероятность.

In the work are investigation and simulated characteristics of the electronic ground for operational-tactical training of officers of the state aviation.

Keywords: electronic polygon modeling, characteristics, dependence, schedule, efficiency, likelihood.

Исследования повышения эффективности как индивидуальной, так и, особенно, оперативно-тактической подготовки ЛЭ, лиц БУА приводит к идее создания среды функционирования комплекса моделей воздушной и наземной оперативно-тактической обстановки. Эти модели работают синхронно с процессом выполнения реальных полетов одним или несколькими ЛА, а в перспективе со смешанными тактическими группами ЛА, участвующими в учениях. В этой среде должны синхронно функционировать средства измерения, передачи данных, контроля, анализа, регистрации и оценки боевых действий в режиме реального времени при выполнении реальных полетов. Структура электронного полигона представлена как набор взаимосвязанных компонентов, расположенных на самолетах, а также на местности в пределах территории полигона, который включает организованное воздушное и наземное пространство. Важной задачей синтеза электронного полигона является построение канала аппаратуры передачи данных (АПД) с обеспечением необходимой и достаточной достоверности и надежности. Особенностью

функционирования канала АПД являются специфические требования к динамическому диапазону приемной аппаратуры и конструктивная реализация антенных узлов, обеспечивающих передачу данных между ЛА и ЦУК, как на больших высотах и удалениях, так и малых высотах при малых удалениях.

Исследования, проведенные в работе, определяют методологию создания аппаратно-программных средств АПД при построении ВЭП ОТП, надежное функционирование которой обеспечивает поддержание режима реального времени при совместном функционировании комплекса моделей МК при выполнении реальных полетов. В основу технической реализации ЛПД предложено использование кодово-модуляционной схемы с исправлением ошибок кодом Рида-Соломона. Оригинальность планируемых результатов подтверждается тем фактом, что до настоящего времени задача обоснования требований к структуре ВЭП на базе совмещения возможностей имитационного моделирования и реальных полетов, практически, не реализовывалась. Работа имеет важное научное и прикладное значение при синтезе ВЭП.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бестугин А.Р.** Совершенствование процесса обучения лётного состава и специалистов управления авиационных подразделений // Сборник научных трудов «Информационно-управляющие системы». – Изд. «Политехника», 2014. – С.15.
2. **Чертанов В.** Совершенствование системы учебных полигонов для боевой подготовки авиации ВМС США // Зарубежное военное обозрение. – 2009, № 4. – С.25–30.
3. **Филин А.Д., Шатраков А.Ю.** Тренажные комплексы радиолокационного контроля воздушного пространства. – СПб.: Изд. ГУАП, 2013. – 222 с.
4. **Бестугин А.Р., Рачков В.П., Шатраков Ю.Г.** Развитие системы подготовки лётных экипажей и специалистов боевого управления авиационных частей // «Научный вестник Военно-космической обороны». – М.: ГСКБ ОАО «Концерн ПВО «Алмаз-Антей», № 1, 2013. – С.12.
5. **Bestugin A.R.** *The complex automated system of flight and tactical preparation and its estimates / Shatrakov Y.G., Filin A.D. // East West Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, the 2nd international conference on Eurasian scientific development. – Vienna, 2014. – P.112–117.*
6. **Филин А.Д., Федотов С.П., Криворучко Ю.Т., Шатраков Ю.Г., Цурков С.А.** Тренажерно-моделирующий комплекс лётного состава и специалистов управления авиацией. – М.: Патент № 141896 от 13.05.2014.
7. **Филин А.Д.** Перспективные учебно-тренировочные комплексы для организации оперативно-тактической подготовки в военно-воздушных силах // Сборник научных трудов «Новые технологии». – М.: РАН, 2013. – С.177–183.
8. **Шатраков Ю.Г.** Самолётные антенные системы. – М.: Изд-во Машиностроение, 1980. – 208 с.
9. **Сколник М.** Справочник по радиолокации. – М.: Советское радио, 1976.
10. **Блейхут Р.** Теория и практика кодов контролирующей ошибки. – М.: «МИР», 1986.

MODELING CHARACTERISTICS OF VIRTUAL ELECTRONIC TRAINING GROUND FOR PILOTS AND COMMANDERS OF THE RUSSIAN AIR FORCE

S.V. Baburov, I.A. Kirshina, V.N. Perelomov, A.D. Filin, S.A. Surkov, A.Y. Shtrakov, T.V. Yakovlev

The effectiveness enhancement studies both individual and especially tactical flying crews and ACD personnel training lead to the idea of functioning environment development of aerial and ground-based tactical scenario models complex. These models are operated synchronously with real flights process by one or several aerial vehicles (AV) and in prospect with combined tactical groups of AVs involved in military exercises. Measuring tools, data transmission facilities, control and assessment tools, combat operations logging and estimation means should be synchronously operated in this environment in real-time mode during actual flights. The electronic training range structure is introduced as interfaced components set embedded in aircraft and located on the ground within the training range territory which includes organized aerial and ground domain. The vital synthesis task of the electronic training range is the channel establishment of data communication equipment (DCE) providing the necessary and sufficient fidelity and reliability. The distinctive feature of DCE channel functioning is specific requirements to dynamic range of receiving equipment and constructive implementation of antenna modules providing the data transmission between the AV and Flight control center (FCC) both at high altitude and long ranges and at low altitude and short range.

The fulfilled studies determine the development methodology of DCE hardware-software tools during VER common receiving point (CRP) design the proper functioning of which provides the real time mode maintenance at combined functioning of MK complex models during actual flights. The use of code-modulation scheme with errors correction by the Reed-Solomon code was proposed as a basis of DCE technical implementation. The originality of expectations is confirmed by the fact that the requirements validation task to the VER structure on the base of possibilities mix of simulation modelling and actual flights hadn't been actually realized up to the present moment. The article has an important scientific and applied relevance during VER synthesis.

Поступила 17 апреля 2015 года.

НАУЧНЫЕ РЕЦЕНЗИИ И ОТЗЫВЫ



Цифровая обработка сигналов в многофункциональных радиолокаторах. Методы. Алгоритмы. Аппаратура. Коллективная монография / под ред. Г. В. Зайцева. – М.: Радиотехника, 2015. 376 с.: ил. Рецензенты: д-р техн. наук, профессор Алдошин В.М., д-р техн. наук, профессор Шатраков Ю.Г.

Монография подготовлена коллективом авторов, непосредственно связанных с проектированием систем цифровой обработки сигналов для многофункциональных радиолокационных комплексов.

В книге описаны принципы разработки устройств цифровой обработки сигналов, алгоритмы частотно-временной обработки, методы построения аппаратуры, конкретные разработанные устройства, методики оценки характеристик.

Цель монографии состоит, с одной стороны, в представлении научной общественности результатов проведённых работ, а с другой, – в том, чтобы служить учебным пособием для молодых специалистов. Не секрет, что в оборонно-промышленном комплексе России произо-

шел разрыв поколений, и книга направлена на то, чтобы помочь молодым специалистам сократить имеющийся разрыв.

Книга рассчитана на научных работников и инженеров, работающих в области радиолокации и радиосвязи, а также может быть полезна для студентов и аспирантов, обучающихся по соответствующим специальностям.