



*Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-54009 от 30 апреля 2013 г.
Рецензируемое научное издание*

Главный редактор С.И. Донченко, д.т.н., профессор

Редакционная коллегия:

Зам. гл. редактора А.Н. Щипунов, д.т.н.
Зам. гл. редактора М.В. Балаханов, к.ф.-м.н.

В.М. Боровков, д.т.н.
О.В. Денисенко, д.т.н.
В.И. Добровольский, к.т.н.
О.И. Коваленко, к.т.н.
И.М. Малай, д.т.н.
В.Н. Некрасов, д.т.н.
В.Г. Пальчиков, д.ф.-м.н.
В.А. Тищенко, к.ф.-м.н.
Ф.И. Храпов, д.т.н.
В.В. Швыдун, д.т.н.

Редакционная группа:

О.И. Обухова
Н.А. Степанова
Д.В. Студенова
М.Е. Якобсон
Г.А. Мирошникова



*The publication is registered by the Federal Service for Supervision of Communications,
information technology and mass communications (Roskomnadzor).
Certificate of registration of PI No. FS77-54009 dated April 30, 2013
Peer-reviewed scientific publication*

Chief Editor S.I. Donchenko, Doctor of Technical Science, Professor

Editorial board:

Deputy Chief Editor A.N. Shchipunov, Doctor of Technical Sciences

Deputy Chief Editor M.V. Balakhanov, Candidate of Physical and
Mathematical Sciences

V.M. Borovkov, Doctor of Technical Sciences

O.V. Denisenko, Doctor of Technical Sciences

V.I. Dobrovolsky, Candidate of Science

O.I. Kovalenko, Candidate of Science

I.M. Malay, Doctor of Technical Sciences

V.N. Nekrasov, Doctor of Technical Sciences

V.G. Palchikov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences

V.A. Tishchenko, Candidate of Physical and
Mathematical Sciences

F.I. Khrapov, Doctor of Technical Sciences

V.V. Shvydun, Doctor of Technical Sciences

Editorial staff:

O.I. Obukhova

N.A. Stepanova

D.V. Studenova

M.E. Jacobson

G.A. Miroshnikova



Точная наука немыслима без меры.

Д.И. Менделеев

Альманах современной метрологии, 2021, № 4 (28)

Almanac of modern metrology, 2021, № 4 (28)

Выходит с октября 2014 г.
Issued since October 2014.

Решением ВАК с июля 2019 г. включён в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук».

ISSN 2313-8068

Очередной номер «Альманаха современной метрологии» 4 (28) — четвёртый выпуск в нынешнем году. В предисловии номера идёт речь о развитии новых высокоточных методов и средств измерений во ВНИИФТРИ.

В номере помещены статьи, освещающие вклад в метрологию молодых учёных таких важнейших метрологических направлений измерений, как время-частотные, координатно-временные, радиотехнические, физико-химические, низкотемпературные и другие. Результаты работ были доложены на IX Научно-технической конференции «Метрология в XXI веке» и получили одобрение ведущих специалистов Оргкомитета этого популярного научно-технического мероприятия. При этом принимая во внимание факт, что отдельные авторы пригласили для написания и оформления статей своих научных руководителей, это значительно повысило уровень опубликованных материалов.

The running issue of the "Almanac of Modern Metrology" 4 (28) is the fourth issue this year. The foreword to this issue deals with the development of new high-precision methods and measuring instruments at VNIIFTRI.

The issue contains articles highlighting the young scientists' contribution to metrology of such important metrological areas of measurements as time-frequency, coordinate-temporal, radio engineering, physicochemical, low-temperature and others. The results of the work were reported at the IX Scientific and Technical Conference "Metrology in the XXI century" and were approved by the leading experts of the Organizing Committee of this popular scientific and technical event. At the same time, taking into account the fact that individual authors have invited their research advisors to write and prepare the articles, this has significantly increased the level of published materials.



© ФГУП «ВНИИФТРИ», 2021
© FSUE VNIIFTRI, 2021



СОДЕРЖАНИЕ**Предисловие главного редактора**

Донченко С.И. Альманах — о развитии новых высокоточных методов и средств измерений во ВНИИФТРИ	12
---	----

I. Разработка и совершенствование эталонов

Магомедов Т.М. Исследование метрологических характеристик Государственного первичного эталона единиц дисперсных параметров аэрозолей, взвесей и порошкообразных материалов ГЭТ 163 в части измерения массовой концентрации аэрозольных частиц	15
--	----

Гавалян М.Ю., Кытин В.Г. Конструкция акустического газового термометра в диапазоне от 79 до 273,16 К	28
---	----

Смирнов А.А. Разработка методики калибровки Государственного рабочего эталона единиц напряжённости электрического и магнитного полей в диапазоне частот от 10 Гц до 300 МГц	35
--	----

II. Координатно-временные измерения

Карауш Е.А. О проблеме компенсации ионосферной задержки навигационных сигналов в целях проведения калибровки ГНСС-приёмников	40
---	----

Жилинский В.О., Фролов А.А. Метод расчёта эксплуатационных характеристик базовой навигационной услуги системы ГЛОНАСС	49
--	----

Донченко С.С. Результаты разработки и исследования высокоточной модернизированной системы сравнений и передачи шкал времени (СОДС ШВ-М) по волоконно-оптической линии связи	56
--	----

Бурцев С.Ю., Печерица Д.С. Калибровка навигационной аппаратуры потребителей ГНСС по фазовым измерениям псевдодалности	65
--	----

Лопатин В.П., Фатеев В.Ф. Методы определения высоты геоида и скорости приповерхностного ветра по отражённым от поверхности океана сигналам глобальных навигационных спутниковых систем 73

Крылов В.С. Исследование возможностей повышения информативности траекторных измерений в задаче восстановления орбит навигационных спутников 84

Балакирева И.В. Гравиметр на оптических резонаторах с модами шепчущей галереи 90

Дейкун А.В., Колмогоров О.В. Исследование метода уменьшения погрешности измерений временных задержек между оптическими сигналами с гармонической модуляцией 96

III. Измерения времени и частоты

Белотелов Г.С., Сутырин Д.В., Слюсарев С.Н. Текущее состояние разработки компактных оптических реперов частоты на холодных атомах иттербия 100

Балаев Р.И. Современные требования к обеспечению сетей связи нового поколения эталонными сигналами времени и частоты 109

Малах М.П. Зависимость магниточувствительных резонансов в стандартах частоты на КПН-эффекте от величины внешнего магнитного поля 115

Раков А.А., Хатырев Н.П. Методы стабилизации волоконно-оптической линии с помощью псевдослучайной импульсной модуляции для передачи меток времени 119

Карауш А.А. Стабильность систематических задержек кодовых ГНСС-сигналов в приёмной аппаратуре 125

IV. Радиотехнические измерения

Анютин Н.В. Исследование эквивалентного уровня помех измерений характеристик антенн в ближней зоне 134

Белобородов А.А., Клеопин А.В. Разработка принципиальной схемы и результаты моделирования усилителя канала вертикального отклонения цифрового осциллографа с полосой пропускания 500 МГц	140
Дмитриева Л.И. Исследование электромагнитных свойств дисперсных систем в СВЧ-диапазоне	146
Логутов Д.В. Оценка влияния условий измерений модуля коэффициента отражения пирамидальных радиопоглощающих материалов в свободном пространстве	151
Макаров В.В., Клеопин А.В. Разработка калибровочной платы на основе копланарной линии для поверки и испытаний высокочастотных пробников напряжения	159
Олисов Е.А. Оценка погрешности экстраполяции коэффициента усиления измерительных антенн	165
Хайруллин Р.З. Построение доверительных интервалов и областей для модели множественной линейной регрессии с использованием байесовского подхода	170
V. Внедрение в практику перспективных разработок	
Аверкин Д.В., Беленький Д.И. Разработка стандартных образцов дзета-потенциала частиц в дисперсных системах	186
Лавров Е.А., Кожеманов А.В. Узел привода отражателя короткого плеча двухволнового интерферометра для регистрации дробных частей интерференционных полос	194
Лазовик И.Н., Лазовик Р.И., Якимов Н.П. Конструкция газовых блоков генераторов влажного газа и предложения по их совершенствованию	200
VI. Разработка новых методик (методов) измерений	
Ханзадян М.А., Мазуркевич А.В. Разработка методики измерений астрономического азимута с помощью электронного тахеометра	206

Васильева М.В. Сравнительный анализ методов аппроксимации амплитудной характеристики детекторных измерительных преобразователей	216
Курбатов К.И. Разработка средств и методов метрологического обеспечения современных антенных измерительных комплексов ближней зоны	225
Сангалов П.Д., Мазуркевич А.В. Исследование методик измерений длин базисных линий прямым и косвенным методами	233
Кожеманов А.В., Беляев В.С. Метрологическое обеспечение измерений параметров сетей передачи данных в целях обеспечения целостности и устойчивости функционирования сетей связи общего пользования	237
Новикова И.В., Соколов Д.А. Экспериментальное исследование соосной и ортогональной методик сравнения лазерных измерительных интерферометрических систем	243

VII. Вопросы прикладной метрологии

Захарова А.Р., Хопрова Е.В., Добровольский В.И. Подбор метода пробоподготовки и исследование стабильности метрологических характеристик стандартных образцов глюкозы в сухом молоке	246
Якимов Н.П., Машанов А.В., Лазовик И.Н., Лазовик Р.И. Новые измерительные возможности биопотенциалов головного мозга	253
Стахеев А.А., Столбоушкина Т.П. Измерения массовой доли свинца и мышьяка в речной воде методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой	261

VIII. Основоположники метрологических направлений

Соков Игорь Антонович	266
Рыбкин Николай Павлович	267

CONTENTS**Preface of the Chief Editor**

- Donchenko S.I.** Al'manac — on the development of new high-precision methods and measuring instruments at VNIIFTRI 12

I. Development and improvement of standards

- Magomedov T.M.** Study of metrological characteristics of the state primary standard of disperse parameter units of aerosols, suspensions and powder materials GET 163 in terms of measuring mass concentration of aerosol particles 15

- Gavalyan M.Yu., Kytin V.G.** Construction of the acoustic gas thermometer in the range from 79 to 273,16 K 28

- Smirnov A.A.** Development of a procedure for calibration of the State working standard of electric and magnetic field strength units in the frequency range from 10 Hz to 300 MHz 35

II. Coordinate-temporal measurements

- Karaush E.A.** On the problem of compensation of ionospheric delay of navigation signals for the purpose of calibration of GNSS receivers 40

- Zhilinskiy V.O., Frolov A.A.** Method of calculation the GLONASS standard positioning service performance 49

- Donchenko S.S.** Results and studies of a high-precision modernized system of comparisons and transmission of time scales (SODS TS-M) over a fiber-optic communication line 56

- Burtsev S.Yu., Pecheritsa D.S.** Receiver calibration based on pseudorange measurements by carrier phase 65

- Lopatin V.P., Fateev V.F.** Methods for determining geoid height and surface wind speed by global navigation satellite signals reflected from the ocean surface 73

- Krylov V.S.** Study of the possibilities of increasing the information capacity of trajectory measurements in the problem of restoring the orbits of navigation satellites 84

Balakireva I.V. Gravimeter on optical resonators with whispering gallery modes	90
---	----

Deikun A.V., Kolmogorov O.V. Study of the method of reducing the uncertainty of measuring time delays between optical signals with harmonic modulation	96
---	----

III. Time and frequency measurements

Belotelov G.S., Sutyurin D.V., Slyusarev S.N. Current state of development of compact optical frequency references on cold atoms of ytterbium	100
--	-----

Balaev R.I. Up-to-date requirements for providing new generation communication networks with reference signals of time and frequency	109
---	-----

Malakh M.P. Dependence of magnetosensitive resonances in frequency standards on the CPT effect on the value of the external magnetic field	115
---	-----

Rakov A.A., Khatyrev N.P. Methods for stabilizing a fiber-optical line using pseudo-random pulse modulation for time stamp transmission	119
--	-----

Karaush A.A. Stability of systematic delays of code GNSS signals in receiving equipment	125
--	-----

IV. Radio engineering measurements

Anyutin N.V. Study of the equivalent level of interference in the measurement of antenna characteristics in the near zone	134
--	-----

Beloborodov A.A., Kleopin A.V. Development of a line circuit and results of simulation of the amplifier of the vertical deflection channel of a digital oscillograph with a bandwidth of 500 MHz	140
---	-----

Dmitrieva L.I. Study of electromagnetic properties of disperse systems in the microwave range	146
--	-----

Logutov D.V. Estimation of the influence of the measurement conditions of the modulus of reflection coefficient of pyramidal radio absorbing materials in a free space	151
---	-----

Makarov V.V., Kleopin A.V. Development of a calibration board based on a coplanar line for verification and testing of high frequency voltage probes 159

Olisov E.A. Estimation of extrapolation uncertainty of the gain of measuring antennas 165

Khayrullin R.Z. Constructing the confidence intervals and areas for a multiple linear regression model using bayesian scientific approach 170

V. Introduction of advanced developments into practice

Averkin D.V., Belenky D.I. Development of reference materials of zeta-potential of particles in dispersed systems 186

Lavrov E.A., Kozhemanov A.V. Drive unit of short haul reflector of a two-wave interferometer for registration of fractional parts of interference bands 194

Lazovik I.N., Lazovik R.I., Yakimov N.P. Design of gas blocks of wet gas generators and proposals for their improvement 200

VI. Development of new measurement procedures (methods)

Khanzadyan M.A., Mazurkevich A.V. Development of a method for measuring the astronomic azimuth using an electronic total station 206

Vasilieva M.V. Comparative analysis of methods for approximation of amplitude characteristics of detector measuring transmitters 216

Kurbatov K.I. Development of means and methods of metrological support of modern antenna measuring complexes in the near zone 225

Sangalov P.D., Mazurkevich A.V. Study of methods for measuring the lengths of base lines by direct and indirect methods 233

Kozhemanov A.V., Belyaev V.S. Metrological support of measuring the parameters of data transmission networks to ensure the integrity and stability of the functioning of communication networks of common use 237

Novikova I.V., Sokolov D.A. Experimental study of coaxial and orthogonal procedures for comparing laser measuring interferometric systems 243

VII. Applied metrology issues

Zakharova A.R., Khoprova E.V., Dobrovolsky V.I. Selection of a sample preparation method and study of stability of metrological characteristics of reference materials of glucose in dry milk 246

Yakimov N.P., Mashanov A.V., Lazovik I.N., Lazovik R.I. New measuring capabilities of brain potentials 253

Stakheev A.A., Stolboushkina T.P. Measuring the mass part of lead and arsenic in river water by the method of mass spectrometry with inductively coupled plasma 261

VIII. The founders of metrological directions

Sokov Igor Antonovich 266

Rybkin Nikolay Pavlovich 267