

ВМ 3/2026 (Основан в 2005 году)

ВЕСТНИК МЕТРОЛОГА

Научно-технический журнал
Решением ВАК от 18.12.2017 года
включен в «Перечень рецензируемых
научных изданий, в которых должны
быть опубликованы основные научные
результаты диссертаций на соискание
ученой степени кандидата наук, на
соискание ученой степени доктора наук»
(«Перечень...» от 25.12.2017 г. за № 2210).

Учредитель и издатель

Федеральное государственное
унитарное предприятие «Всероссийский
научно-исследовательский
институт физико-технических и
радиотехнических измерений»

Почтовый адрес:

п/о Менделеево, Солнечногорский
район, Московская область, 141570

Редакционный совет:

И.Ю. Блинов, доктор технических наук.
В.А. Вышков, доктор технических наук
профессор.
О.В. Денисенко, доктор технических наук.
Ю.А. Клейменов, доктор технических наук.
Д.А. Кузнецов, заместитель начальника
Управления государственной политики
в сфере технического регулирования,
стандартизации и обеспечения единства
измерений.
Е.Р. Лазаренко, заместитель руководителя
Федерального агентства по техническому
регулированию и метрологии.
И.М. Малай, доктор технических наук.
Б.А. Сахаров, доктор технических наук.
Ф.И. Храпов, доктор технических наук.
В.В. Швыдун, доктор технических наук.
А.Н. Ципиунов, доктор технических наук.

Главный редактор

В.Н. Храменков, доктор технических
наук, профессор

Заместитель главного редактора

О.В. Надеина, кандидат педагогических
наук

В подготовке номера участвовали:

Крупская Д.Л.

Адрес редакции: 141006, г. Мытищи
Московской обл., Олимпийский проспект,
владение 13, строение 1, оф. 307

Адрес для переписки, размещения
рекламы и приобретения журнала
«Вестник метролога»:

п/о Менделеево, Солнечногорский
район, Московская область, 141570;
E-mail: zhamkova@vniiftri.ru
(тел. +7(495)526-63-44 / доб 81-12)
Редакция: Email:32gniii_vm@mail.ru
тел. +79857656675; +7999989015

Отпечатано ООО «ПРИНТ»

426035, г. Ижевск, ул. Тимирязева, д. 5

Сдано в набор 22.06.2026

Подписано в печать 03.07.2026

Тираж 300 экз.

Зарегистрирован ISSN 2413–1806 в Федеральной службе
по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых
коммуникаций. Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС 77- 60016 от 21 ноября 2014 г.
Материалы журнала размещаются на сайте Научной
электронной библиотеки и включаются в национальную
информационно-аналитическую систему РИНЦ

СОДЕРЖАНИЕ

Информационное сообщение 3

Общие вопросы метрологии

С.В. Кизима, д.т.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России, старший
научный сотрудник, эксперт МСЭ.; В.А. Скляров, к.т.н., ФГАУ НИЦ
Телеком, заместитель начальника отдела; Е.Г. Руденкова, к.т.н.,
доцент, ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России, старший научный сотрудник;
К.Н. Федулов, ФГАУ НИЦ Телеком, инженер-программист;
О.Н. Федулов, ФГАУ НИЦ Телеком, инженер-программист
**Контроль помеховой обстановки и обнаружение помех
беспроводной связи и передачи данных** 4

Супрунюк В.В., д.т.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России
Цифровой формат передачи размера единиц величин 11

А.П. Фокин, к.т.н., ВУНЦ ВВС «ВВА им. профессора Н.Е. Жуковского
и Ю.А. Гагарина»;
М.Е. Гришаев, к.т.н., доцент, ВУНЦ ВВС «ВВА им. профессора
Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»;
Я.В. Соболев, ВУНЦ ВВС «ВВА им. профессора Н.Е. Жуковского
и Ю.А. Гагарина»
**Модель погрешности определения ортогональных
составляющих вектора скорости, через измерения вектора
магнитной индукции** 16

Шумков К.А., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России;
Черняев К.С., к.т.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России;
Рудакова О.А., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России
**Особенности применения полеобразующих систем для оценки
метрологических характеристик измерительных
электрических антенн** 20

Плясовских А.П., д.т.н., АО «НПО Северо-Западный региональный
центр Концерта ВКО «Алмаз-Антей» – Обуховский завод»,
г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный
университет гражданской авиации имени Главного маршала
авиации А.А. Новикова
**Идеальная синхронизация часов, движущихся с любыми
ускорениями** 24

Шпилевский О.Б., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России;
Чумаков В.В., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России;
Надеина О.В., к.п.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России;
Козлова А.В., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России
**Обзор мировых технических решений повышения
производительности процесса поверки индивидуальных
электронных дозиметров** 30

Смирнов А.О., АО «РАТЕП»;
Полесский А.В., д.т.н., АО «НПО «ОРИОН»
**Применение упрощенной 3D модели отсеков
при контроле формы и объемов баков** 33

К сведению авторов 38

Информация 40

VM 3/2026

Research magazine «Vestnik Metrologa»
«Vestnik Metrologa» magazine is published
and extends in Russian since 2005

«Vestnik Metrologa»

Scientific and technical journal

By the solution of VAK of 18.12.2017 it is
included in «The list of the reviewed scientific
publications in which have to be the main
scientific results of theses for a degree of
the candidate of science, for a degree of the
doctor of science are published» («List»...
of 25.12.2017 for No. 2210).

FSUE VNIIFTRI Russian Metrological Institute
of Technical Physics and Engineering You
are: Publisher

Address: 141570, Moscow region,
Solnechnogorsk district., Township Mendeleevo

The Editorial advice:

I.Y. Blinov, doctor of the technical sciences.
sciences.

V.A. Vyshlov, doctor of the technical
sciences, professor.

O.V. Denisenko, doctor of the technical
sciences.

Y.A. Kleymenov, doctor of the technical
sciences

D.A. Kuznetsov, deputy of the chief of
Management state politicians in sphere of
the technical regulation, standardizations
and provision unity measurements.

E.R. Lazarenko, deputy of the leader
Federal agency on technical regulation
and metrologies.

I.M. Malai, doctor of the technical sciences.

B.A. Saharov, doctor of the technical
sciences.

F.I. Hrapov, doctor of the technical
sciences.

V.V. SHvydun, doctor of the technical
sciences,

A.N. Shchipunov, doctor of the technical
sciences.

Editor-in-chief

V.N. Khramenkov, doctor of the technical
sciences, professor

Deputy main of the editor

O.V. Nadeina, candidate of the pedagogical
sciences

Address to editings: 141006, Mytitschi,
Moscow obl., Olympic avenue, possession
13, construction 1, of. 307;
telephone +79857656675
E-mail: 32gniii_vm@mail.ru
141570, Moscow region, Solnechnogorsk
district., Township Mendeleevo
E-mail: zhamkova@vniiftri.ru
(тел.+7(495)526-63-44/доб. 81-12)

It is Printed by ООО «Print»

Legal address: 426035, Russia, Izhevsk,
Timiryazeva st., 5.

telephone (3412) 56-95-53

The Circulation

300 copies

ISSN 2413-1806 Are Registered

in Federal service on control in sphere relationship, information
technology and mass communication. Certificate about registrations PI
№ FS77-60016 from November 21, 2014 Material of the journal take
seats on put Scientific electronic library and are included in national
information-analytical system RINC

CONTENTS

Information message 3

Common questions of a metrology

S.V. Kizima, Scientific Metrological Center, Senior Researcher, ITU expert,
Dr.Sci.(Tech.);

V.A. Sklyarov, National Research Centre for Telecommunication, Deputy
Head of the Department, Cn.Sci.(Tech.);

E.G. Rudenkova, Scientific Metrological Center, Senior Researcher, Cn.Sci.(Tech.);
K.N. Fedulov, National Research Centre for Telecommunication, software engineer;

O.N. Fedulov, National Research Centre for Telecommunication, software engineer

**Checking hindrances situations and finding the hindrances demon
wire relationship and data communication 4**

Suprunyuk V.V., Doctor of Technical Sciences,

FSBI «MSHC» of the Ministry of Defense of Russia

Digital format of the issue of the size of the units of the values 11

Fokin A.P., k.t.s., Military and Air academy of Zhukovsky and Gagarin

(VUNTs Air Force «VVA»);

Grishaev M.E., k.t.s., Military and Air academy of Zhukovsky and Gagarin

(VUNTs Air Force «VVA»);

Sobolev Y.E., Military and Air academy of Zhukovsky and Gagarin (VUNTs
Air Force «VVA»)

**Model of the error in determining the orthogonal components
of the velocity vector, through measurements of the magnetic
induction vector 16**

Shumkov K.A., FSBI «MSHC» of the Ministry of Defense

of the Russian Federation,

Chernyaev K.S., c.t.s., FSBI «MSHC» of the Ministry of Defense

of the Russian Federation,

Rudakova O.A., FSBI «MSHC» of the Ministry of Defense

of the Russian Federation

**Features of using field-generating systems to evaluate the
metrological characteristics of measuring electrical antennas 20**

Plyasovskikh A.P., d.t.s., JSC «NPO North-West Regional Center of the

Almaz-Antey Air Defense Concern –

Obukhov Plant», St. Petersburg; St. Petersburg State University of Civil Aviation

Perfect synchronization of clocks moving with any acceleration 24

Shpilevskiy O.B., FSBI «MSHC» of the Ministry of Defense of the Russian
Federation;

Chumakov V.V., FSBI «MSHC» of the Ministry of Defense of the Russian
Federation;

Nadeina O.V., c.p.s., FSBI «MSHC» of the Ministry of Defense of the
Russian Federation;

Kozlova A.V., FSBI «MSHC» of the Ministry of Defense of the Russian Federation

**Overview of global engineering solutions in improving the
performance of the verification process of individual electronic
radiation dosimeters 30**

Smirnov A.O., «JOIN-STOCK COMPANY RATEP»;

Polesskiy A.V., JOIN-STOCK COMPANY

«RESEARCH-AND-PRODUCTION ENTERPRISE «ORION»

**Using simplified by 3d models compartment when checking the form
and volumes tank 30**

NOTE AUTHORS 38

INFORMATION 40

IV НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «МЕТОДЫ И СРЕДСТВА НАВИГАЦИИ»

С 30 сентября по 2 октября 2026 г. ФГУП «ВНИИФТРИ» совместно с Научным советом РАН по проблеме «Координатно-временное и навигационное обеспечение» при поддержке Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии проводят IV научно-техническую конференцию «Методы и средства навигации»



Научно-техническая конференция «Методы и средства навигации» - это прекрасная возможность обмена опытом, последними достижениями и новейшими тенденциями в области создания комплексированной автономной системы навигации по геофизическим полям Земли, а также обсуждения существующих проблем и путей их решения.

ТЕМАТИКА И НАПРАВЛЕНИЯ

- Методы и средства комплексной навигации с использованием геофизических полей.
- Методы и средства уточнения моделей ГПЗ, МПЗ, геоцентрической системы координат и высотной основы.
- Квантовые технологии гравиметрии, магнитометрии, гироскопии и акселерометрии.
- Технологии космической гравиметрии и магнитометрии.
- Бесплатформенные инерциальные системы и гравиметры.
- Радиотехнические средства навигации.

ВРЕМЯ И МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ

30 сентября – 2 октября 2026 г.

г. Ярославль, отель «Ринг Премьер Отель», ул. Свободы, 55.

ПУБЛИКАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ НТК

Планируется специальный выпуск журнала «Альманах современной метрологии», входящего в перечень ВАК (K2) и ЕГПНИ – Белый список (Уровень 3), изд. – ФГУП «ВНИИФТРИ».

ВАЖНЕЙШИЕ ДАТЫ

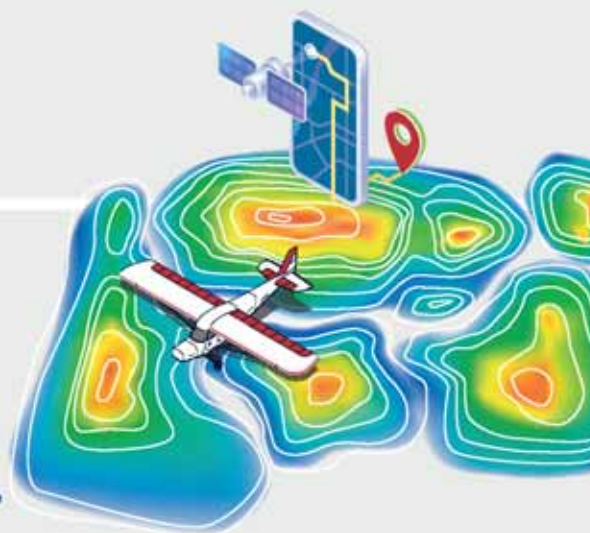
- Заявка на участие с докладом до 20.08.2026 г.
- Представление рекламных материалов до 20.08.2026 г.
- Заявка на участие без доклада до 15.09.2026 г.
- Предложения в проект Решения до 10.09.2026 г.
- Представление выставочных экспонатов до 29.09.2026 г.

РЕГИСТРАЦИЯ

Контактные лица Оргкомитета для регистрации и уточнения деталей:

Мурзабеков Мурат Муштафарович,
тел.: +7 (495) 526-63-79 (доб. 91-55),
e-mail: murzabekov@vniiftri.ru (ФГУП «ВНИИФТРИ»)

Романова Татьяна Александровна
тел.: +7 (495) 526-63-78 (доб. 20-08), моб.: +7 (963) 671-92-01,
e-mail: romanova_ta@vniiftri.ru (ФГУП «ВНИИФТРИ»)



КОНТРОЛЬ ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ И ОБНАРУЖЕНИЕ ПОМЕХ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ CHECKING INTERFERENCE SITUATIONS AND FINDING THE INTERFERENCE OF WIRELESS RELATIONSHIP AND DATA COMMUNICATION

С.В. Кизима, ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России, старший научный сотрудник,
эксперт МСЭ, д.т.н., e-mail: KizimaSV@nic-t.ru; +7 9165314368;

В.А. Скляр, ФГАУ НИЦ Телеком, заместитель начальника отдела, к.т.н.,
e-mail: sklyarovva@nic-t.ru; +79042139920;

Е.Г. Руденкова, ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России, старший научный сотрудник, к.т.н., доцент,
e-mail: l654007@yandex.ru; +7 9859237072;

К.Н. Федулов, ФГАУ НИЦ Телеком, инженер-программист, e-mail: fedulovkn@nic-t.ru;

О.Н. Федулов, ФГАУ НИЦ Телеком, инженер-программист, e-mail: fedulovon@nic-t.ru;

S.V. Kizima, Scientific Metrological Center, Senior Researcher, ITU expert, Dr.Sci.(Tech.);

V.A. Sklyarov, National Research Centre for Telecommunication, Deputy Head of the Department, Cn.Sci.(Tech.);

E.G. Rudenkova, Scientific Metrological Center, Senior Researcher, Cn.Sci.(Tech.);

K.N. Fedulov, National Research Centre for Telecommunication, software engineer;

O.N. Fedulov, National Research Centre for Telecommunication, software engineer

Аннотация. Статья посвящена особенностям создания и применения по целевому назначению специализированных систем и комплексов контроля помеховой обстановки, и проблематике обеспечения эффективности их функционирования. В статье рассматриваются основные категории систем контроля помеховой обстановки, к которым относятся объекты защиты, нормы параметров радиосигналов, нормы параметров помеховой обстановки и соответствующие им параметрические определения категорий радиопомех в методах, алгоритмах и правилах, используемых для обнаружения и идентификации помеховых излучений.

Annotation. The article is devoted to the specifics of the creation and application of specialized interference monitoring systems, and the problems of ensuring the effectiveness of their functioning. The article discusses the main categories of interference monitoring systems, which include "Protection objects", "Norms of radio signals parameters", "Norms of interference parameters" and the corresponding parametric definitions of radio interference categories in methods, algorithms and rules used to detect and identify interference emissions.

Ключевые слова: телекоммуникационная инфраструктура, беспроводные сети связи и передачи данных, радиоэлектронные средства, радиочастотный спектр, радиоизлучения, радиопомехи, радиотехнические измерения, радиомониторинг.

Keywords: telecommunication infrastructure, wireless communication networks, radio electronic devices, radio emissions, radio interference, radio engineering measurements, radiomonitoring.

Введение. Актуальность проблематики

Современный этап технологического развития предусматривает активное сетевое информационное взаимодействие оборудования в составе разноуровневых технологических, коммуникативных и специальных систем, в интересах субъектов потребителей государственной, ведомственной, корпоративной областей деятельности и индивидуальных пользователей сервисов и услуг цифрового общества и цифровой экономики.

Сетевое взаимодействие в автоматизированных производственных, технологических, информационных и коммуникативных системах обеспечивается телекоммуникационной инфраструктурой, основанной на проводных и беспроводных каналах связи распределенного оборудования источников, ретрансляторов и потребителей телекоммуникационного трафика.

Наличие большого количества мобильных потребителей и потребителей в малонаселенных территориальных районах, в т.ч. в условиях отсутствия возможностей доступа к инфраструктуре проводных линий связи, обуславливает важность беспроводной связи и беспроводного доступа к услугам мобильной и фиксированной наземной и спутниковой радиосвязи.

Услуги мобильной связи, обеспечиваемые операторами наземных и спутниковых сетей связи, и услуги навигации, обеспечиваемые глобальными навигационными спутниковыми системами, являются услугами массового потребления и образуют базис современной телекоммуникационной инфраструктуры.

Вместе с тем, в отличие от проводных каналов связи, возможности которых по наращиванию объемов сетевого трафика решаются увеличени-

ем количества линий проводной связи и совершенствованием каналообразующего оборудования, возможности наращивания объемов информационного взаимодействия, передачи данных и трафика в беспроводных сетях и каналах связи связаны с проблемами ограниченности радиочастотного ресурса.

Ограниченность радиочастотного ресурса и возможности взаимного негативного влияния эксплуатируемого радиооборудования и любого другого радиоизлучающего оборудования делают необходимым государственное регулирование в области использования радиочастотного спектра для обеспечения устойчивой беспомеховой работы действующих радиоэлектронных средств и радиосистем различного назначения.

Вместе с тем, статистика радиопомех указывает на их фактическое наличие и различные по масштабам негативные последствия влияния помех на эксплуатируемые радиосредства и радиосистемы, вплоть до блокирования их работы и отказов в предоставлении услуг связи, вещания и передачи данных.

Уровень важности отдельных радиотехнологий, радиоканалов, средств и систем связи делает необходимым обеспечение их радиоэлектронной защиты от всевозможных умышленных и неумышленных помех однократного, периодического, постоянного или импульсного действия. Меры радиоэлектронной защиты включают широкий спектр способов, предусматривающих как понижение уровня чувствительности оборудования к радиопомехам, так и всевозможные оградительные способы, включающие, например, использование противозумного и противопомехового экранирования защищаемых радиоустройств.

Во многих случаях блокирование радиоканалов помехами приводит к значительным потерям эффективности или отказам в работе важных коммуникативных систем, систем навигации подвижных объектов, линий и каналов беспроводной наземной и спутниковой связи. При этом требуется оперативное обнаружение наличия помех радиоприему для целей оперативного реагирования и минимизации негативного эффекта от действия помех, переходу на дублирующие или альтернативные радиоканалы, принятию мер по обнаружению источников и прекращению действия помеховых излучений.

В таких случаях актуально использование специализированных систем контроля помеховой обстановки, обеспечивающих он-лайн мониторинг радиочастотного пространства, оперативное выявление наличия действия источников помех, идентификацию помеховых излучений, определение местоположения источников помех, сигнализацию и информирование о фактах наличия и негативного действия помех для инициирования мер по прекращению их действия или нейтрализации последствий их негативного влияния на защищаемые радиосредства и радиосистемы.

Особенности построения систем контроля помеховой обстановки

Эффективность разрабатываемых и эксплуатируемых систем контроля помеховой обстановки (далее – СКПО) определяется многими факторами, правилами и принципами их конструирования и применения по целевому назначению.

Основа СКПО определяется формализованными описаниями и реализацией в СКПО таких важных категорий, как «Объекты защиты», «Нормы параметров радиосигналов», «Нормы параметров помеховой обстановки» и, в этой связи, соответствующих им параметрических определений категорий радиопомех в методах, алгоритмах и правилах, используемых для обнаружения, идентификации и геолокации помеховых излучений и источников радиопомех.

В зависимости от специфики области и конкретной цели и задач контроля помеховой обстановки в качестве объекта защиты могут определяться:

- защищаемые полосы и номиналы радиочастот;
- защищаемые радиосигналы;
- защищаемые радиосредства;
- защищаемые зоны распространения и приема радиосигналов.

Указанные объекты защиты являются взаимосвязанными. И в этом смысле для каждого конкретного случая должна устанавливаться их приоритетность для их формализации, параметрического определения и реализации в конкретной прикладной СКПО.

Для глобальных навигационных спутниковых систем (далее – ГНСС), ввиду их повсеместного использования в качестве объектов защиты, в первую очередь, целесообразно рассматривать по-

лосы частот распространения и приема сигналов ГНСС. Низкие энергетические уровни сигналов ГНСС обуславливают блокирование их приема в случае наличия излучений других радиосредств в местах работы навигационных приемников. Соответственно, в данном случае, нормы параметров помеховой обстановки в регионах и территориальных районах использования навигационных приемников определяются нулевыми уровнями излучений других радиосредств в полосах частот ГНСС. Соответственно, в случае использования направленных антенн в составе СКПО, нормы параметров излучений фактически определяются условно нулевыми энергетическими уровнями на входе приемных антенн по азимутам и малым углам места направленности антенн, т.е. отсутствием радиоизлучений от других источников излучений по азимутам и малым углам места направленности антенн СКПО [1, 2].

Для наземных базовых станций мобильной связи (БС) и наземных фидерных станций спутниковой связи (ФС) в качестве объектов защиты определяются их сигналы, параметры которых нормируются разрешительными документами на использование радиочастотного спектра и радиоэлектронных средств БС и ФС. При этом нормы параметров сигналов БС и ФС для любой точки пространства местоположения СКПО рассчитываются с использованием автоматизированных систем планирования радиосетей с использованием моделей распространения радиоволн на основе исходных данных разрешенных параметров радиоизлучений БС и ФС, задаваемых в разрешительных документах для точек места нахождения БС и ФС [3, 4].

Для защищаемых радиосредств нормируются уровни излучений других радиосредств других радиосистем согласно требованиям защитных отношений для принимаемых полезных радиосигналов.

Защита наземных зон распространения и приема радиосигналов как правило предполагает полный или частичный запрет на использование радиосредств и радиосетей, за исключением конкретных радиосредств и радиосетей специального назначения. При этом излучения других радиосредств не допускаются, т.е. уровни их излучений должны быть нулевыми.

При разработке и использовании по целевому назначению систем контроля помеховой обста-

новки в интересах обеспечения функционирования заданных радиосредств и радиосетей первостепенное значение имеет параметрическое задание и использование в алгоритмах контроля масок норм защищаемых полезных сигналов.

Маски норм полезных сигналов для любой точки пространства могут определяться расчетным способом, могут задаваться и декларироваться разработчиком радиосредств и радиосистем по результатам их испытаний или могут определяться опытным путем посредством спектральных измерений при условии наличия реального и фактического допустимого качества радиосвязи. В последнем случае, при условно экспериментальном (опытном) подтверждении требуемого (допустимого) качества радиосвязи наблюдаемый спектр сигнала фиксируется огибающей маской, назначаемой в качестве спектральной нормы, используемой в СКПО для обнаружения, сигнализации и параметрического определения вредных помеховых излучений.

Алгоритмы контроля помеховой обстановки в СКПО фактически осуществляют информативное сличение наблюдаемого спектра радиочастот в заданной полосе частот с нормами масок защищаемых полезных сигналов. При этом решаются следующие частные задачи:

- обнаружение излучений и сигналов (далее сигналов) с фиксацией их количества и определением параметров каждого сигнала;
- идентификация и категорирование сигналов на предмет их отношения к полезным (защищаемым) сигналам, к помеховым сигналам, или к другим сигналам, не являющимся помеховыми по отношению к полезным сигналам.

К важным практическим задачам по фактам выявления помеховых излучений следует отнести задачу оперативной оценки объема причиняемого ущерба и объема поражения радиоресурса. Данная задача является во многих случаях нетривиальной и требует учета не только данных геолокации источников и параметров помеховых излучений, но и учета особенностей и технологической специфики защищаемых радиосетей и систем управления их радиоресурсом.

По результатам идентификации и категорирования сигналов в заданной полосе частот генерируются информативные сообщения:

- об обнаружении или отсутствии полезных сигналов;

– о наличии и характере помеховых сигналов с их категорированием по отношению к полезным сигналам как блокирующих полезные сигналы и/или помеховых сигналов, ухудшающих качество связи;

– о номенклатуре пораженных помехами каналов связи с указанием уровней поражений (блокирование канала связи, ухудшение качества связи и др.).

Для сложных распределенных сетей связи при наличии центров управления сетями связи (далее – ЦУС) возникает необходимость автоматизации процессов постановок задач контроля помеховой обстановки и визуализации всех основных процессов и результатов контроля помеховой обстановки. В этом контексте при конструировании СКПО полезен учет опыта создания и эксплуатации уже разработанных систем типа СКПО.

Пример функционирования СКПО

Рассмотрим пример СКПО, разработанной в интересах обеспечения функционирования многофункциональной системы персональной спутниковой связи и передачи данных (далее – МСПСС и ПД).

Рисунок 1 представляет главный экран СКПО на центре управления связи (далее – ЦУС) МСПСС и ПД в режиме реального времени мониторинга состояния помеховой обстановки в полосах частот МСПСС и ПД (объект защиты «МСПСС и ПД – 7001 МГц»). Распределенные средства мониторинга, включающие анализаторы спектра, антенное и серверное оборудование СКПО включены в состав фидерных наземных региональных станций связи (далее – РСС). СКПО распределенных РСС сопряжено с серверами СКПО ЦУС. Данные радиотехнических измерений в полосах частот МСПСС и ПД сохраняются на серверном оборудовании СКПО РСС и передаются на сервера ЦУС для централизованной обработки хранения данных мониторинга помеховой обстановки. При этом на главный экран СКПО ЦУС выводится текущее состояние оборудования постов контроля СКПО РСС и текущие данные результатов мониторинга состояния помеховой обстановки с сигнализацией отсутствия или наличия помеховых сигналов и результатами категорирования помеховых сигналов для оценки обстановки и принятия мер необходимого реагирования по фактам помеховых воздействий.

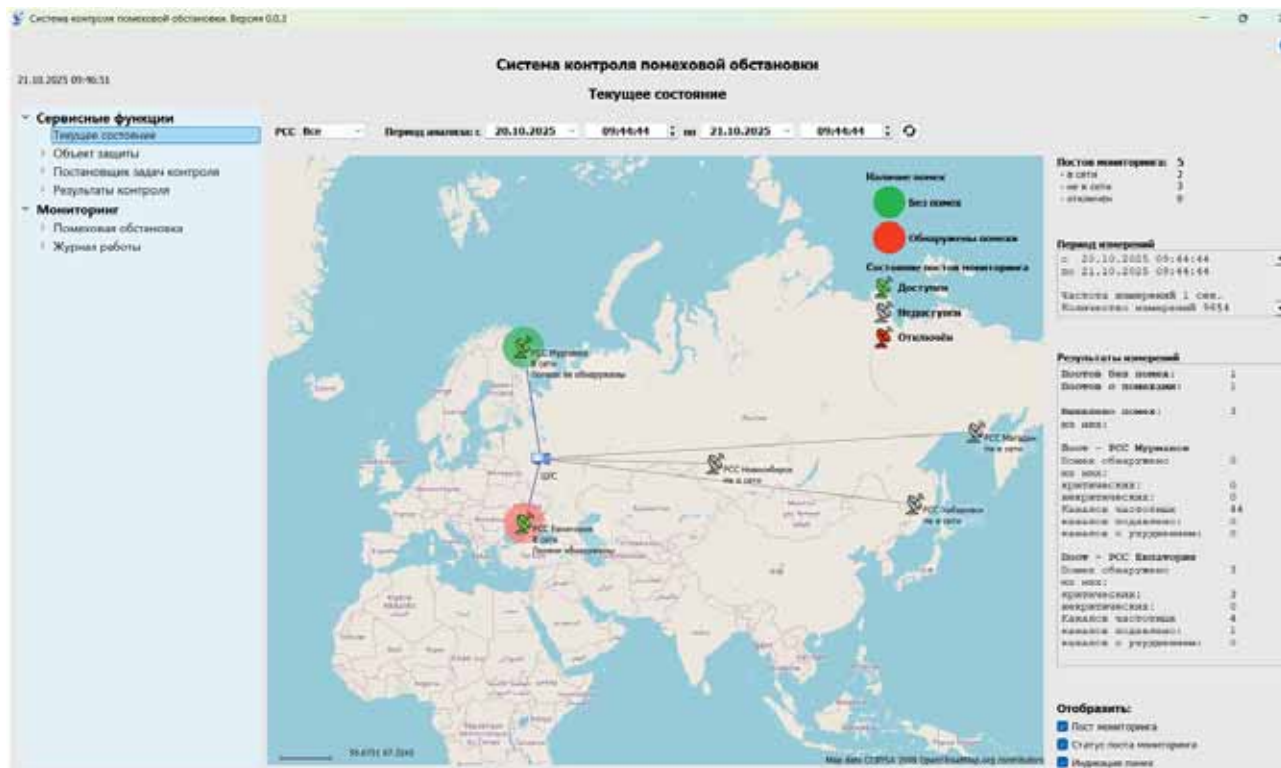


Рисунок 1 – Главный экран СКПО ЦУС

Функционирование СКПО определяется последовательностью решения технологических задач:

- заданием масок защищаемых сигналов;
- активизацией постановок задач мониторинга помеховой обстановки, предусматривающих последующее автоматическое управление распределенными средствами мониторинга (анализатора-ми спектра и антенными системами СКПО);
- производством радиотехнических измерений распределенным измерительным оборудованием СКПО;
- сбором и вторичной обработкой данных результатов распределенных радиотехнических измерений на ЦУС СКПО;

– визуализацией данных результатов текущей оценки помеховой обстановки на ЦУС СКПО.

В целях обеспечения основного режима работы СКПО ЦУС с использованием возможностей АРМ оператора СКПО ЦУС первоначально вводятся нормы полезных (защищаемых) сигналов объекта защиты. Результаты ручного ввода маски нормы полезных сигналов для МСПСС и ПД представлены на рисунке 2.

Далее работа СКПО показана на примере объекта защиты радиопередатчиков в FM-диапазоне в варианте определения нормы масок полезных сигналов по данным радиотехнических измерений. На рисунке 3 представлены определенные в

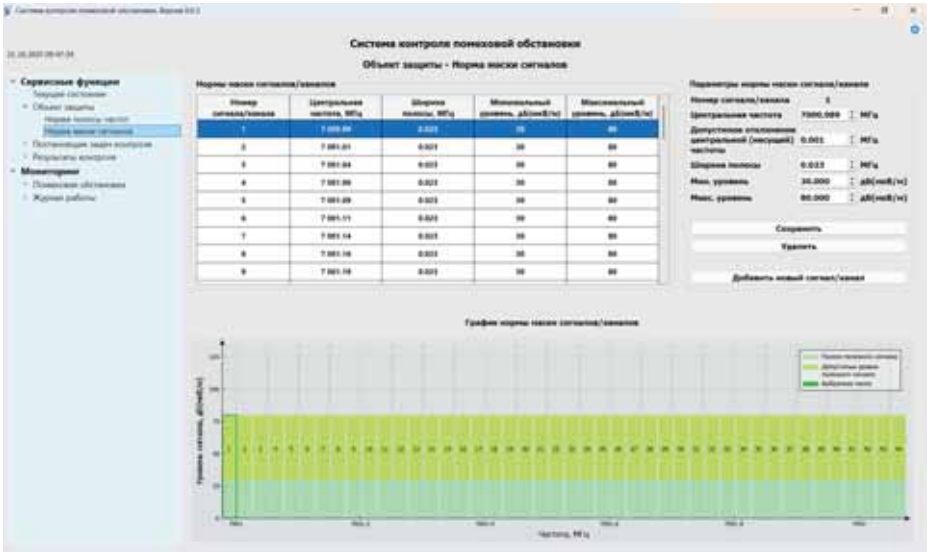


Рисунок 2 – Маска нормы полезных сигналов объекта защиты МСПСС и ПД



Рисунок 3 – Маска нормы полезных сигналов объекта защиты «FM 100-105 МГц»

СКПО нормы масок полезных сигналов в точке проведения измерений в городской черте центра субъекта РФ для случая объекта защиты «FM 100-105 МГц».

В СКПО реализованы алгоритмы и сервисы постановки задач измерений и контроля на удаленное оборудование радиомониторинга на заданный период времени в требуемых полосах частот. Для демонстрации возможностей сигнализации случаев обнаружения радиопомех на рисунке 4 представлено экранное окно АРМ оператора СКПО в режиме постановки задачи мониторинга помеховой обстановки для объекта защиты «FM 100-105 МГц» с использованием поста СКПО с

анализатором спектра и приемной ненаправленной антенной, расположенных в точке проведения измерений.

Далее, в автоматическом режиме выполняется мониторинг в заданных радиочастотных диапазонах с формированием журналов результатов измерений и контроля помеховой обстановки с индикацией случаев обнаружения помех и записью подтверждающих спектрограмм излучений, как это показано на рисунке 5.

Спектрограммы СКПО представляют обнаруженные радиоизлучения с выделением защищаемых сигналов, нормы параметров защищаемых сигналов, а также излучений, категорируемых как

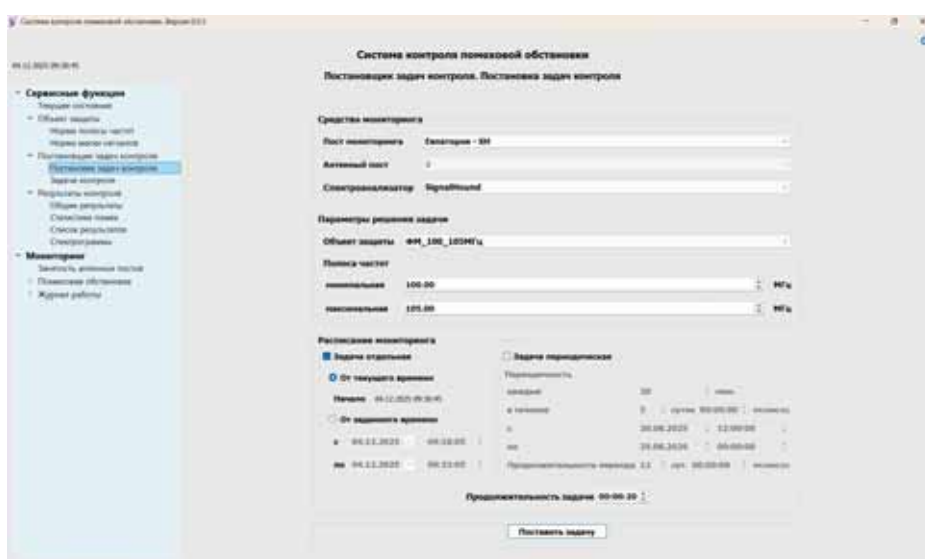


Рисунок 4 – Постановка задачи мониторинга

ID задачи	Пост мониторинга	Начало мониторинга	Конец мониторинга	Единица	Результат	Нормы помех, МГц	Время помех, МГц	Помеховый сигнал
1	304870	04.11.2025 09:00:00	04.11.2025 09:00:30	Волновое	Помехи обнаружены	100	100	Помеховый сигнал
2	304870	04.11.2025 09:00:30	04.11.2025 09:01:00	Волновое	Помехи обнаружены	100	100	Помеховый сигнал
3	304870	04.11.2025 09:01:00	04.11.2025 09:01:30	Волновое	Помехи обнаружены	100	100	Помеховый сигнал
4	304870	04.11.2025 09:01:30	04.11.2025 09:02:00	Волновое	Помехи обнаружены	100	100	Помеховый сигнал
5	304870	04.11.2025 09:02:00	04.11.2025 09:02:30	Волновое	Помехи обнаружены	100	100	Помеховый сигнал
6	304870	04.11.2025 09:02:30	04.11.2025 09:03:00	Волновое	Помехи обнаружены	100	100	Помеховый сигнал
7	304870	04.11.2025 09:03:00	04.11.2025 09:03:30	Волновое	Помехи обнаружены	100	100	Помеховый сигнал
8	304870	04.11.2025 09:03:30	04.11.2025 09:04:00	Волновое	Помехи обнаружены	100	100	Помеховый сигнал
9	304870	04.11.2025 09:04:00	04.11.2025 09:04:30	Волновое	Помехи обнаружены	100	100	Помеховый сигнал
10	304870	04.11.2025 09:04:30	04.11.2025 09:05:00	Волновое	Помехи обнаружены	100	100	Помеховый сигнал
11	304870	04.11.2025 09:05:00	04.11.2025 09:05:30	Волновое	Помехи обнаружены	100	100	Помеховый сигнал
12	304870	04.11.2025 09:05:30	04.11.2025 09:06:00	Волновое	Помехи обнаружены	100	100	Помеховый сигнал
13	304870	04.11.2025 09:06:00	04.11.2025 09:06:30	Волновое	Помехи обнаружены	100	100	Помеховый сигнал
14	304870	04.11.2025 09:06:30	04.11.2025 09:07:00	Волновое	Помехи обнаружены	100	100	Помеховый сигнал

Рисунок 5 – Журнал результатов мониторинга помеховой обстановки

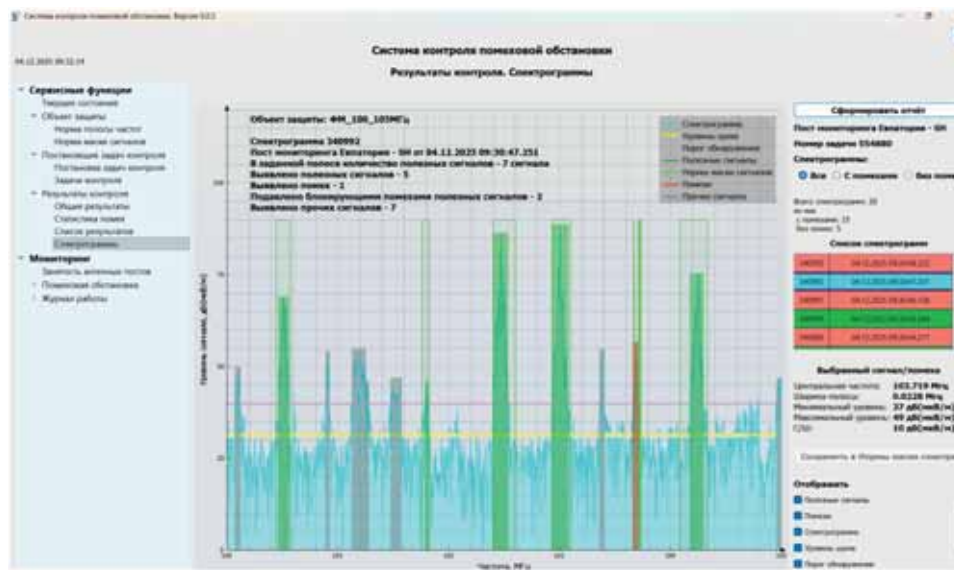


Рисунок 6 – Программный анализатор радиочастотного спектра в СКПО

помеховые по отношению к полезным защищаемым сигналам, как это показано на рисунке 6.

Номенклатура фиксируемых параметров, с учетом времени и точки места проведения измерений, является достаточной для формирования заявок на устранение радиопомех [5].

Выводы

Мониторинг спектра и обнаружение радиопомех сетям беспроводной связи и передачи данных в реальном масштабе времени способствует оперативному реагированию по фактам обнаружения помех, инициированию мероприятий по устранению действия помех, минимизации ущерба от действия помех и обеспечению устойчивого бесперебойного функционирования оборудования и каналов связи в интересах потребителей услуг телекоммуникационной инфраструктуры.

Разработка и внедрение автоматизированных систем и комплексов контроля помеховой обстановки, включающих распределенное измерительное оборудование, объединенное в единую сеть управления СКПО, обеспечивает оперативное выявление и прогнозирование угроз средствам и сетям беспроводной связи и передачи данных, а также формирование карт помеховой обстановки в заданных территориальных районах, представляющих информацию об источниках, параметрах и зонах действия помеховых излучений.

Литература

1. Кизима С.В., Скляр В.А., Коробейников П.В., Миусов С.И. Практическая оценка электромагнитной и помеховой обстановки в полосах радиочастот ГНСС // *Электросвязь*, 2017, № 9, с. 33–39.
2. Spectrum monitoring techniques in the radionavigation-satellite service frequency bands. Report ITU-R SM.2454-0 (06/2019) SM Series: Spectrum management, 18 с.
3. Кизима С.В., Руденкова Е.Г. Оценка состояния электромагнитной обстановки и контроль качества условий распространения и приема радиосигналов // *Электросвязь*, 2020, № 7, с. 44–50.
4. Spatial assessment of radio signals in different frequency bands. Report ITU-R SM.2454-1 (06/2023) SM Series: Spectrum management, 13 с.
5. Приказ Роскомнадзора от 02.02.2010 N 78 «Об утверждении Инструкции по поиску и обнаружению источников радиопомех».

ЦИФРОВОЙ ФОРМАТ ПЕРЕДАЧИ РАЗМЕРА ЕДИНИЦ ВЕЛИЧИН DIGITAL FORMAT OF THE ISSUE OF THE SIZE OF THE UNITS OF THE VALUES

*Супрунук В.В., д.т.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России
Suprunyuk V.V., d.t.n., FSBI «MSMC» of Russia Ministry of Defense
e-mail: 3260vvs@mail.ru; тел. 8(916)040-79-04*

Аннотация. Рассмотрены подходы к передаче единиц величин от эталона средствам измерений с использованием цифровых технологий.

Annotation. The Considered approaches to issue of the size of the units of the values from measurement facility standard with use digital technology.

Ключевые слова: средства измерений, цифровые технологии, точность измерений.

Keywords: facilities of the measurements, digital technologies, accuracy of the measurements

Одной из приоритетных национальных целей развития Российской Федерации является цифровая трансформация на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года [1]. Поставленная цель обуславливает качественные изменения в вопросах комплексной информатизации отечественной метрологии и обеспечивает системный процесс внедрения информационных технологий для формирования единой цифровой среды системы единства и точности измерений [2]. Эти изменения связаны с мировой глобальной цифровой трансформацией, определяющей развитие и внедрение цифровой основы Международной системы единиц (Digital SI / DCC) [3]. Осуществляются переходы к определению единиц через фундаментальные физические константы [4], внедрению цифровых стандартов в промышленность [5], компьютерному моделированию измерений с применением нейросетевой обработки [6–8].

В процессе цифровой трансформации закладываются методические основы для дистанционной поверки (калибровки) средств измерений, расширяются возможности автоматизации процессов измерений и встроенных систем самоконтроля [9–14].

В работе [11] предлагается передачу размера электрической величины осуществить с помощью носителя цифровой информации, в качестве которого может быть использована цифровая электронная память в виде флэш-памяти. Флэш-память представляет собой переносимое полупроводниковое устройство, обеспечивающее запись, хранение и считывание цифровых данных в вычислительной технике. На флэш-памяти должно быть записано определенное количество цифровой информации об эталонном значении элек-

трической величины в виде компьютерного файла или пакета файлов.

Передача размера единицы электрической величины от соответствующего эталона единицы электрической величины передается средству измерений (СИ) в оцифрованном виде с помощью флэш-памяти. Для чего информацию об эталонном аналоговом сигнале посредством аналого-цифрового преобразования (АЦП) переводят в цифровую кодовую последовательность и записывают на флэш-память. Флэш-память доставляют к СИ, где цифровую информацию об эталонном электрическом сигнале трансформируют в аналоговый сигнал с помощью цифро-аналогового преобразования (ЦАП) для подачи его в электрическую схему СИ. По результатам сравнения значений эталонного сигнала с показаниями СИ определяют его погрешность. Протокол сравнения показаний СИ на эталонный сигнал оцифровывается и передается по каналу сетевой передачи данных (Ethernet) в метрологическую лабораторию, в которой находится исходный эталон и, где была записана на флэш-память цифровая информация о значении единицы электрической величины. Специалистами метрологической лаборатории на основании полученного протокола принимается решение о соответствии метрологических характеристик СИ установленным требованиям.

Носитель цифровой информации о размере единицы электрической величины в обязательном порядке должен сопровождаться паспортом, в котором указываются:

- контрольные суммы файлов (пакетов файлов) информации о значении или значениях в соответствующем диапазоне воспроизведения электрической величины на эталоне;

- сведения о показателях погрешности воспроизведения эталонного сигнала с учетом его аналого-цифрового преобразования (при записи на флэш-память);

- требования к метрологическим характеристикам ЦАП, который подключают к электрической схеме СИ;

- сведения о расчетных показателях суммарной погрешности эталонного сигнала с учетом показателей погрешности его цифро-аналогового преобразования.

Основная цель оценки метрологических характеристик СИ по предлагаемому в работе [11] подходу состоит в установлении расхождения между показаниями СИ и эталонными значениями электрической величины с привлечением для этого эталонов метрологической лаборатории. При этом определяют погрешность (или неопределенность) показаний СИ. Неопределенность является количественным показателем, отражающим диапазон возможных значений, которые с определённой вероятностью можно приписать при калибровке СИ измеряемой им физической величине. Неопределенность показаний СИ в отличие от погрешности его показаний, где оценивается отклонение показаний от истинного значения измеряемой величины, может рассматриваться как оценка вероятностного разброса значения физической величины при её измерениях. Неопределенность измерений отражает степень сомнения в достоверности результата измерений, а погрешность измерений имеет определенный положительный или отрицательный знак отклонения от истинного значения измеряемой величины и может быть выражена пределом или доверительным интервалом измерений. Исходной основой для расчета погрешности или неопределенности при проведении оценки метрологических характеристик СИ является разница в его показаниях и эталона. Поэтому в процессе выполнения поверки (калибровки) показания СИ сравнивают с показаниями эталона (или эталонного сигнала). При этом всегда возникает практическая дилемма, каким способом (методом) это лучше осуществить и возможно ли при этом использовать современные достижения цифровых технологий.

В работе [11] показано, что эталонный сигнал от эталона единицы электрической величины после его аналого-цифрового преобразования обладает информационной избыточностью, выражаемой формулой [15]:

$$\delta = \{N_{\max}(X_n) - N(X_n)\} / N_{\max}(X_n), \quad (1)$$

где δ – информационная избыточность эталонного сигнала в цифровой форме его представления, X_n – любой цифровой код из n -ой комбинации цифровых кодов, $N(X_n)$ – неопределенность информации о цифровом коде из множества n кодов, $N_{\max}(X_n)$ – максимальная возможная неопределенность информации от цифрового преобразования.

Информационную избыточность по выражению (1) можно рассматривать как превышение неопределенности о цифровом представлении сигнала над его минимально необходимой неопределенностью. Если избыточность δ будет равна нулю, то формируемые АЦП коды будут оптимальны в смысле наибольшего количества трансформируемой информации. Поэтому в соответствии с выражением (1) цифровое кодирование аналоговых электрических сигналов призвано внести в них информационную избыточность, которая может предохранить цифровой сигнал от возмущающих воздействий.

Если рассматривать аналого-цифровое преобразование в двоичной системе исчисления, как показано в работе [11], то на сигнал в цифровом формате накладываются ограничения – его амплитуда может принимать только два предельных значения – ноль и единица. Поэтому вся зона возможных амплитуд исходного эталонного электрического сигнала может быть разделена на три зоны: нижняя представляет нулевые значения, верхняя – единичные, а промежуточная является запрещенной – внутрь которой должны попадать только возмущающие воздействия. Таким образом, любое воздействие, амплитуда которого меньше половины амплитуды несущего сигнала, не оказывает влияния на достоверность цифрового преобразования. Следует отметить, что воздействие с большей амплитудой также не оказывают влияния, если его длительность значительно меньше длительности непосредственно информационного измерительного импульса. Представляется возможным сумму возмущающих воздействий на исходный сигнал отнести к информационным ошибкам его аналого-цифрового представления, следовательно, поместить их в разряд паразитных, которые желательно устранить, к примеру, когда будет произведена трансформация цифровой информации в части ее избыточности.

Меру неопределенности информации цифрового преобразования $N(X_n)$ в выражении (1), как

априорную меру информации, при условии случайного процесса появления любого цифрового кода после аналого-цифрового преобразования можно представить в следующем виде [16]:

$$H(X_n) = -\sum P(X_n) \log_2 P(X_n) \quad (2)$$

где $P(X_n)$ – априорная вероятность появления n -го цифрового кода; $\sum P(X_n)$ – сумма вероятностей появления цифровых кодов.

$H(X_n)$ в формуле (2) до получения цифрового кода на выходе АЦП при наличии внешних воздействий может быть характеризоваться как неполной неопределенностью информации. Если предположить, что вместо X_n на выходе АЦП будет код Z_n , можно найти условную меру информации, выражаемую формулой:

$$H(X_n/Z_n) = -\sum P(X_n/Z_n) \log_2 P(X_n/Z_n), \quad (3)$$

где $H(X_n/Z_n)$ – условная мера апостериорной информации, $P(X_n/Z_n)$ – апостериорная вероятность появления X_n при Z_n на выходе АЦП.

Частное количество информации на выходе АЦП при равновероятном появлении цифровых кодов можно представить как разность априорной и апостериорной мер неопределенности информации [16]:

$$I(X_n) = H(X_n) - H(X_n/Z_n) = \log_2 [P(X_n/Z_n)/P(X_n)]. \quad (4)$$

По формуле (4) о количестве информации на выходе АЦП можно судить следующим образом: при компенсации возмущающих воздействий за счет избыточности цифровой информации $P(X_n/Z_n)=1$ и $I(X_n)=H(X_n)$, а это максимальное количество информации, которое можно получить от цифрового кода X_n . Следовательно, такое количество информации может трактоваться как мера снятой неопределенности или мера информации об эталонном значении единицы электрической величины в цифровом формате.

Если обозначить количество информации об эталонном электрическом сигнале с амплитудой a и частотой f в случае с работой [11] как $A(a, f)$, то мера цифровой информации об эталонном электрическом сигнале после АЦП можно представить выражением:

$$I(X_n) = F[A(a, f), R(t, f_d)] - \Omega_n \quad (5)$$

где $F[A(a, f), R(t, f_d)]$ – количество полезной информации после трансформации электрического

сигнала $A(a, f)$ с разрешающей способностью АЦП $R(t, f_d)$ по времени t и частоте дискретизации f_d , Ω_n – оценка потери полезной информации при цифровой трансформации электрического сигнала.

Для выражения (5) должны выполняться обязательные условия:

- частота дискретизации АЦП f_d должна превышать частоту f более чем в два раза, что обеспечивает нахождение $F[A(a, f), R(t, f_d)]$ в частотной зоне Найквиста [16] и сохранение целостности полезной информации о цифровом представлении электрического сигнала;

- формирование $F[A(a, f), R(t, f_d)]$ должно быть при безусловной вероятности получения на выходе АЦП равновероятных цифровых кодов о $A(a, f)$ с $R(t, f_d)$.

Оценка потери полезной информации при цифровой трансформации электрического сигнала Ω_n зависит от разрешающей способности АЦП $R(t, f_d)$, чем она выше, тем меньше Ω_n . При правильном формировании мера цифровой информации об эталонном электрическом сигнале $I(X_n)$ должна соответствовать требуемому количеству информации $\max F[A(a, f), R(t, f_d)]$.

Меру цифровой информации об эталонном электрическом сигнале $I(X_n)$ можно представить в единицах количества информации – байт (8 бит). В национальной системе обеспечения единства и точности измерений в байт выражают количество информации, а в бит пропускную способность или скорость передачи информации (бит/с) [17]. Поэтому полученные после АЦП данные о $I(X_n)$ записывают на цифровой носитель информации в виде количества информации $I(X_n)$.

Количество информации $I(X_n)$ с цифрового носителя подвергают обратной трансформации (цифро-аналоговому преобразованию) посредством следующего выражения:

$$A(a, f)^* = Q[I(X_n)] \pm \Omega_a, \quad (6)$$

где $A(a, f)^*$ – эталонный аналоговый электрический сигнал, восстановленный после ЦАП для подачи в электрическую схему СИ, $Q[I(X_n)]$ – функционал обратной трансформации количества цифровой информации (совокупности цифровых кодов) в аналоговый электрический сигнал, Ω_a – оценка потери полезной информации при обратной трансформации, зависящая от разрешающей способности ЦАП.

В итоге при передаче информации о значении эталонного электрического сигнала можно предположить, что будет справедливо следующее соотношение:

$$A(a, f)^* = A(a, f) - \Omega_{\tau}, \quad (7)$$

где Ω_{τ} – оценка суммарной потери информации при трансформации электрического сигнала.

Если $A(a, f)$ и $A(a, f)^*$ можно рассматривать как некие функциональные зависимости (логические или аналитические), то оценку суммарной потери информации при трансформации электрического сигнала Ω_{τ} следует рассматривать как сумму расширенных неопределенностей цифровой и обратной трансформации:

$$\Omega_{\tau} = (\delta_{\text{ц}} + \delta_{\text{а}} + \delta_{\text{ф}}), \quad (8)$$

где $\delta_{\text{ц}}$ – расширенная неопределенность цифровой трансформации эталонного электрического сигнала, $\delta_{\text{а}}$ – расширенная неопределенность обратной трансформации цифровой информации в аналоговый сигнал, $\delta_{\text{ф}}$ – расширенная неопределенность хранения информации на электронном носителе информации.

Представляется возможным также перейти к оценке Ω_{τ} по показателям погрешности:

$$\Omega_{\tau}^* = \Sigma(\Delta_{\text{ц}}, \Delta_{\text{а}}, \Delta_{\text{ф}}), \quad (9)$$

где Ω_{τ}^* – оценка суммарной погрешности цифровой трансформации эталонного электрического сигнала, $\Delta_{\text{ц}}$, $\Delta_{\text{а}}$ – пределы погрешностей АЦП и ЦАП, $\Delta_{\text{ф}}$ – предел погрешности хранения информации на флэш-памяти.

Рассмотренный подход к передаче информации о размере эталонного сигнала единицы электрической величины имеет распространение только на электроизмерительные приборы и преобразователи. К электроизмерительным преобразователям относятся АЦП и ЦАП. Известны подходы в передаче размера единиц электрических величин, когда с помощью АЦП калибруют ЦАП и наоборот с помощью ЦАП калибруют АЦП [18-20].

В практике, в частности, в измерительных системах, нашли широкое применение преобразователи, которые преобразуют неэлектрические величины в электрические (напряжение, силу тока, электрическое сопротивление). Как правило, такие преобразователи свой электрический сигнал на выходе для помехоустойчивой его передачи

в распределенной структуре измерительных систем (ИС) трансформируют в цифровой сигнал с помощью АЦП. В этой связи представляется возможность использовать элементы цифровых технологий (АЦП, ЦАП, ЭВМ) для передачи размера единиц неэлектрических величин в дистанционном формате без демонтажа компонентов ИС и без доставки к месту их установки эталонов этих величин. Сущность подхода к передаче размера единиц неэлектрических величин ИС, в которых установлено большое количество преобразователей неэлектрических величин, отражена в работах [21] на примере возможных способов поверки ИС на месте эксплуатации.

Предлагаемый в работах [21,12] подход к передаче единиц неэлектрических величин ИС заключается в следующем. В измерительные каналы ИС на выходе измерительных преобразователей вводят АЦП и параллельно коммутируют ЦАП, у которого имеется электрическая связь с измерительным преобразователем и АЦП. Предварительно АЦП и ЦАП калибруют. Эталонный сигнал от соответствующего эталона неэлектрической величины посредством преобразователя и АЦП трансформируют в цифровую информацию (количество информации) и сохраняют в электронной памяти ИС. Для передачи размера единицы неэлектрической величины используют эталон на разряд выше, чем в случае классической поверки ИС. При поверке измерительного канала ИС цифровую информацию об эталонном сигнале посредством ЦАП трансформируют в аналоговый сигнал, который воздействует на электрическую схему измерительного преобразователя и на АЦП с целью проверки стабильности их метрологических характеристик и измерительного канала ИС в целом.

При данном подходе к поверке измерительного канала ИС неэлектрической величины его предел суммарной погрешности при передаче размера единицы величины можно представить в следующем виде:

$$\Delta_{\text{ик}} = \Sigma(\Delta_{\text{э}}, \Delta_{\text{а}}^*, \Delta_{\text{ц}}^*, \Delta_{\text{хр}}^*), \quad (10)$$

где $\Delta_{\text{ик}}$ – предел суммарной погрешности измерительного канала ИС; $\Delta_{\text{э}}$ – предел погрешности эталона единицы величины, $\Delta_{\text{а}}^*$, $\Delta_{\text{ц}}^*$ – пределы суммарной погрешности АЦП и ЦАП, $\Delta_{\text{хр}}^*$ – предел погрешности хранения размера единицы величины в электронной памяти ИС.

Выражение (10) отличается от выражения (9) следующим:

- оно учитывает погрешность эталона неэлектрической величины и Δ_{Σ} в выражении (10) значительно меньше, чем в классической методике поверки, а это обеспечивает практически полную компенсацию погрешностей Δ_a и Δ_{Σ} выражения (9);

- значение Δ_a^* в выражении (10) меньше Δ_a за счет дополнительной проверки АЦП с помощью ЦАП;

- $\Delta_{\text{хр}}^*$ выражения (10) меньше погрешности $\Delta_{\text{хр}}$ выражения (9), так как вся измерительная информация хранится непосредственно на жестком диске ИС.

Главная отличительная особенность предложенного подхода в передаче размера единиц величин от подхода работы [11] состоит в том, что передаче размера единиц величин подлежат не только электрические величины, но и неэлектрические величины, а это является важным фактором для метрологической практики.

Таким образом, в статье рассмотрены известные подходы к передаче размера единиц величин от эталона средствами измерений с использованием цифровых технологий. Показано, что целесообразно рассматривать такие подходы как цифровой формат передачи размера единиц электрических и неэлектрических величин в виде определенного количества информации.

Список использованных источников:

1. Указ Президента РФ от 7.04.2024 года № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года».
2. Федеральный закон от 14.02.2024 года № 18-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений».
3. Резолюция о глобальной цифровой трансформации. 27 заседание Генеральной конференции по мерам и весам. – 2022.
4. ГОСТ Р 70988-2023 «Система стандартов в цифровой промышленности. Общие положения. Общие требования к системе».
5. ГОСТ 8.417-2024 ГСОЕИ. Единицы величин.
6. ГОСТ. Р 71561-2024 «Средства измерений на основе искусственного интеллекта. Состав, структура и область применения. Общие требования».
7. ГОСТ Р 71562-2024 «Средства измерений на основе искусственного интеллекта. Метрологическое обеспечение. Общие требования».

8. ГОСТ Р 57700.37-2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения».

9. Худоногова Л.И. Разработка системы для дистанционной калибровки средств измерений на основе использования технологических возможностей программной среды LAB VIEW // Вестник науки Сибири. – 2013. – № 4(10).

10. Стукач О.В., Ершов И.А. Совершенствование технологии калибровки средств измерений электрических величин на базе модульных приборов в системе Интернета измерений (IoM). Системная инженерия и инфокоммуникации. Автоматизация в промышленности. – 2026. – № 2.

11. Иванов Ю.М., Клейменов Ю.А. Способ поверки электроизмерительных приборов. Патент. – 2024. – МПК G01R35/00. – RU2812229C2.

12. Супрунюк В.В., Кувыкин Ю.А., Максак А.Г., Горбачев А.А. Поверка измерительных систем на объекте установки с использованием цифровой информации // Вестник метролога. – 2024. – № 1. – С. 9–13.

13. Максак А.Г., Супрунюк В.В., Горбачев А.А. К вопросу о возможности дистанционной поверки измерительных систем // Сборник по материалам XIV ВНТК «Метрология в радиоэлектронике». Нижний Новгород. – 2025. – С. 91–93.

14. Супрунюк В.В., Кувыкин Ю.А., Щедрин А.Ю., Горбачев А.А. О метрологическом самоконтроле измерительных систем // Вестник метролога. – 2024. – № 1. – С. 9–13.

15. Чиркин Д.Е. Теория информации и кодирования // Курс лекций. Казань, Казанский университет – 2013. – С. 116.

16. Дмитриев В. И. Прикладная теория информации // Москва, Высшая школа. – 1989. – С. 320.

17. Приказ Росстандарта от 20.03.2023 N 581 "Об утверждении Государственного первичного эталона единицы количества переданной (принятой) информации (данных) и единиц величин параметров пакетных сетей передачи данных".

18. Агрич Ю.В., Лифшиц В.Б. Аналого-цифровой преобразователь и способ его калибровки. Патент. – 2012. – МПК H03M1/10. – RU2568323C2.

19. Агрич Ю.В. Цифро-аналоговый преобразователь и способ его калибровки. Патент. – 2015. – МПК H03M1/10. – RU2442279C1.

20. Агрич Ю.В., Лифшиц В.Б. Новый АЦП компании «Миландр» // Электроника. Москва. – 2014. – №5. – С. 66–72

21. Супрунюк В.В. Измерительные системы с цифровым представлением информации и возможные способы их поверки на месте установки // Вестник метролога. – 2026. – № 1. – С. 5–10.

МОДЕЛЬ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРТОГОНАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВЕКТОРА СКОРОСТИ ЧЕРЕЗ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕКТОРА МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ MODEL OF THE ERROR IN DETERMINING THE ORTHOGONAL COMPONENTS OF THE VELOCITY VECTOR THROUGH MEASUREMENTS OF THE MAGNETIC INDUCTION VECTOR

А.П. Фокин, к.т.н., ВУНЦ ВВС «ВВА им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
 e-mail: fox_314@mail.ru; тел. +7 (905) 706-19-42;

М.Е. Гришаев, к.т.н., доцент, ВУНЦ ВВС «ВВА им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
 e-mail: mihail79.vrn@gmail.com ; тел. +7 (960) 116-72-07;

Я.В. Соболев, ВУНЦ ВВС «ВВА им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
 e-mail: sobolek06@mail.ru; тел. +7 (980) 530-90-97;

Fokin A.P., Military and Air academy of Zhukovsky and Gagarin (VUNTs Air Force "VVA");
 Grishaev M.E., Military and Air academy of Zhukovsky and Gagarin (VUNTs Air Force "VVA");
 Sobolev Y.E., Military and Air academy of Zhukovsky and Gagarin (VUNTs Air Force "VVA")

Аннотация. Проведено математическое моделирование определения погрешности ортогональных составляющих вектора скорости через измерения вектора магнитной индукции в зависимости от параметров летательных аппаратов.

Annotation. Mathematical modeling of the error in determining the orthogonal components of the velocity vector through measurements of the magnetic induction vector, depending on the parameters of aircraft.

Ключевые слова: моделирование, навигация, скорость, магнитное поле Земли, магнитная индукция.

Keywords: modeling, navigation, velocity, Earth's magnetic field, magnetic induction.

Из-за недостатков космических навигационных спутниковых систем, таких как их слабая помехозащищенность, возникает необходимость в разработке новых навигационных устройств, основанных на других физических принципах, позволяющих с необходимой точностью определять местоположение и параметры движения объекта.

Для работы большинства навигационных систем, например, инерциальных навигационных систем, необходимо знать:

- начальные координаты объекта;
- направление движения;
- скорость движения;
- время движения.

Если для определения первого и последнего пунктов можно воспользоваться существующими техническими решениями, то в определении направления и скорости движения возникают трудности. Так, например, у инерциальных навигационных систем, основанных на применении акселерометров, низкая точность в определении скорости движения, а, соответственно, и пройденного расстояния, так как пройденное расстояние находится через 2-ю первообразную от ускорения, определенного акселерометрами по трем осям. И чем дальше объект находится в движении, тем больше погрешность определения своего местоположения.

Для уменьшения этой погрешности необходимо проводить измерения непосредственно скорости движения объекта относительно неподвижной системы координат, связанной с центром масс Земли, для этого можно использовать естественное магнитное поле Земли [1].

Для определения составляющих вектора скорости потребителя

$(\vec{P} = |x_0, y_0, z_0, V_x, V_y, V_z, t|)$ предлагается решить классическую задачу по физике, когда известна величина и направление вектора магнитной индукции относительно направления движения самолета, электродвижущая сила, возникающая на концах его крыльев, и необходимо найти скорость. Решается данная задача по формуле 1. [2]

$$|\vec{v}| = \frac{\varepsilon}{|\vec{B}| \times l \times \sin \alpha}, \quad (1)$$

где: ε – электродвижущая сила, возникающая на концах крыльев самолета (проводника, движущегося в магнитном поле); B – величина магнитной индукции; l – размах крыльев (длина проводника); α – угол между направлением вектора магнитной индукции и направлением движения самолета.

В [1] представлен расчет составляющих вектора скорости потребителя через измерения ортогональных составляющих вектора магнитной индукции (B_i) и модель погрешности определе-

ния составляющей вектора скорости (формулы 2 и 3).

$$\Delta V_x = \sqrt{\Delta \varepsilon^2 + \Delta l^2 + \Delta B_x^2 + \Delta B_y^2 + \Delta B_z^2}, \quad (3)$$

где: $\Delta \varepsilon$ – погрешность измерения электродвижущей силы; Δl – погрешность измерения размаха крыльев (длины проводника) самолета; ΔB_x , ΔB_y , ΔB_z – погрешности измерения составляющих вектора магнитной индукции по осям координат x , y , z , соответственно.

Продифференцировав выражение (3), рассчитываем погрешность составляющих вектора скорости по направлению к остальным осям аналогичным путем.

Учитывая, что погрешность измерения и максимально измеряемые величины ортогональных составляющих вектора магнитной индукции по всем осям равны, так как используются идентичные преобразователи, тогда можно записать:

$$\sigma V_x = \sigma V_y = \sigma V_z = \sqrt{\left(\frac{dV}{d\varepsilon}\right)^2 \times \sigma_\varepsilon^2 + \left(\frac{dV}{dl}\right)^2 \times \sigma_l^2 + \left(\frac{dV}{dB}\right)^2 \times 3 \times \sigma_B^2}. \quad (4)$$

Зная параметры современных лайнеров, а также максимальную величину магнитного поля Земли, и погрешности измерений составляющих вели-

чин, можно оценить погрешность определения составляющих вектора скорости V_x , V_y , V_z . Для оценки погрешности определения составляющих вектора скорости выбираются значения величин, дающие максимальное значение погрешности.

Опираясь на погрешности измерительных приборов, имеющихся на Российском рынке в свободной продаже, необходимых для проведения измерений, и параметры современных летательных аппаратов, можно грубо оценить погрешность определения составляющих вектора скорости по формуле (4).

В таблице 1 приведены средние значения погрешностей, имеющихся на рынке средств измерений. В таблице 2 приведены диапазоны параметров летательных аппаратов, взятых для моделирования различных состояний при оценке погрешностей определения ортогональных составляющих вектора скорости.

Для моделирования различных состояний при оценке погрешностей определения ортогональных составляющих вектора скорости необходимо ввести следующие ограничения:

- летательный аппарат движется прямолинейно с постоянной скоростью,
- вектор магнитной индукции перпендикулярен направлению движения летательного аппарата ($|\vec{V}_x| \perp |\vec{B}|$ или $\sin \alpha = 90$).

Таблица 1

Погрешности измерений физических величин, используемых при оценке погрешности определения ортогональных составляющих вектора скорости

Наименование измеряемого параметра	Физическая величина	Погрешность измерения
Скалярное значение напряженности магнитного поля Земли	Напряженность магнитного поля, А/м	0,07
Электродвижущая сила	Напряжение, В	$1 \cdot 10^{-8}$
Размах крыла	Длина, м	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Погрешность определения временного интервала прямолинейного движения	Относительная погрешность опорного генератора по частоте, безразмерная величина	$1 \cdot 10^{-7}$

Таблица 2

Диапазоны параметров для моделирования

Наименование измеряемого параметра летательного аппарата	Единица измерений	Значения
Размах крыла	м	от 14 до 65
Скорость	м/с	от 100 до 900

На рисунках 1 и 2 представлены графики зависимостей погрешности определения ортогональной составляющей вектора скорости летательного аппарата в зависимости от размаха крыла, при прямолинейном движении летательного аппарата.

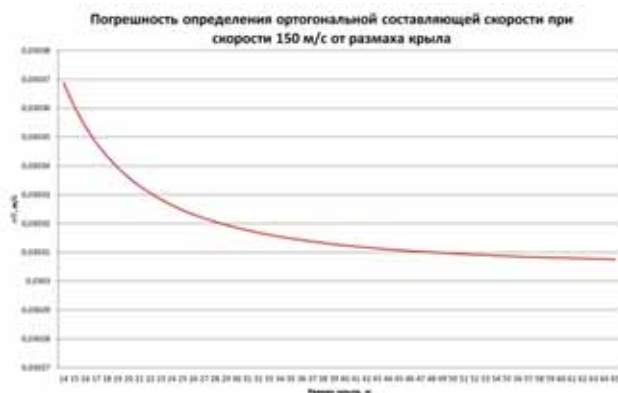


Рисунок 1 – Зависимость погрешности определения ортогональной составляющей вектора скорости летательного аппарата в зависимости от размаха крыла летательного аппарата при скорости 150 м/с

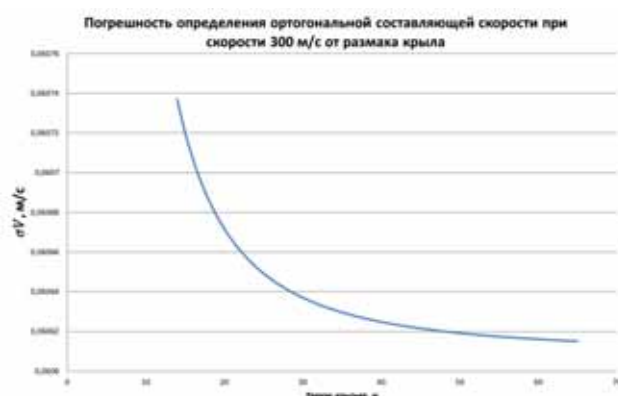


Рисунок 2 – Зависимость погрешности определения ортогональной составляющей вектора скорости летательного аппарата в зависимости от размаха крыла летательного аппарата при скорости 300 м/с

На основании проведенного моделирования зависимости погрешности определения ортогональной составляющей вектора скорости ($|\vec{V}_x|$) летательного аппарата в зависимости от размаха крыла летательного аппарата можно сделать следующие выводы:

1) При увеличении скорости движения летательного аппарата, возникающая на концах крыльев, электродвижущая сила возрастает.

2) При увеличении размаха крыла летательного аппарата погрешность определения ортогональной составляющей вектора скорости ($|\vec{V}_x|$) уменьшается и стремится к своему пределу снизу.

3) При увеличении скорости движения летательного аппарата, несмотря на увеличение электродвижущей силы, погрешность определения ортогональной составляющей вектора скорости ($|\vec{V}_x|$) увеличивается (рисунок 3), имея линейную зависимость.

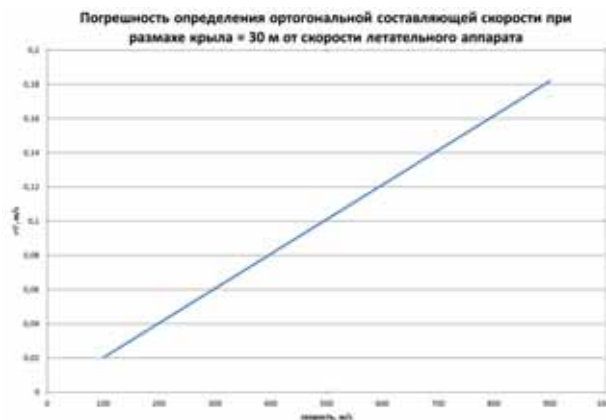


Рисунок 3 – Зависимость погрешности определения ортогональной составляющей вектора скорости ($|\vec{V}_x|$) летательного аппарата в зависимости от скорости движения летательного аппарата при фиксированном размахе крыла

На основе измерения ортогональных составляющих вектора скорости происходит расчет текущих навигационных координат путем прибавления рассчитанных приращений к координатам предыдущей точки ($X_i = X_{i-1} + \Delta X$), где ΔX рассчитывается из ортогональной составляющей вектора скорости измеренной на прямолинейном равномерном участке движения летательного аппарата и временем полета на данном участке. Соответственно, каждое следующее определение текущих навигационных координат будет вносить погрешность, вызванную бортовыми часами. В таблице 3 приведены результаты моделирования погрешности определения приращения координат по оси X, в зависимости от времени прохождения прямолинейного равномерного участка полета для летательного аппарата, с размахом крыла 30 м на основе моделирования погрешностей определения ортогональных составляющих вектора скорости.

Таблица 3

Погрешности определения ортогональных составляющих вектора скорости и приращения координат в зависимости от времени прохождения прямолинейного равномерного участка полета при скорости летательного аппарата 450 м/с

Время прохождения прямолинейного равномерного участка полета, с	Погрешность определения составляющих вектора скорости, м/с	Погрешность определения приращения координат, м
1	0,090956	9,10E-09
10	0,090956	9,10E-08
100	0,090956	9,10E-07
1000	0,090956	9,10E-06
3600	0,090956	3,27E-05

Как видно из расчетов, погрешность определения ортогональных составляющих вектора скорости не зависит от времени прохождения прямолинейного равномерного участка. На всем участке она одинаковая, но прямо пропорциональна времени прохождения данного участка. Следовательно, общая погрешность определения текущих навигационных координат будет иметь линейную зависимость от времени полета.

Данный метод определения расширенного вектора состояния движения потребителя $\vec{P}$ имеет недостаток, заключающийся в линейном изменении погрешности местоопределения (определения текущих координат), зависящим от дрейфа бортовых часов (стандарта частоты и времени), так как имеет место накопление ошибки во времени. Таким образом, применение описанного метода будет ограничено во времени.

При этом, в инерциальных навигационных системах погрешность определения текущих координат имеет вид квадратической функции от времени, поскольку при определении расширенного вектора состояния движения потребителя $\vec{P}$, для нахождения ортогональных составляющих вектора скорости V_x , V_y , V_z измеряются ортогональные составляющие ускорения (α_x , α_y , α_z). Таким образом, предложенный метод имеет преимущество по сравнению с инерциальными навигационными системами, так как для опре-

деления текущих координат потребителя необходимо вычислить первую первообразную от измеряемой функции, то есть рассчитать ортогональные приращения координат объекта через измерение скорости во времени. В решении навигационной задачи с применением инерциальных навигационных систем происходит расчет ортогональных приращений координат объекта через определение ортогональных составляющих его скорости, которые определяются из измеряемых ортогональных составляющих ускорения.

Данный метод позволит определять местоположение и параметры движения объекта без использования карт магнитных градиентов магнитного поля Земли и сигналов глобальных навигационных спутниковых систем на этапе движения, что делает его привлекательным при разработке перспективных навигационных систем не подверженных влиянию систем радиоэлектронной борьбы.

Список использованных источников

1. Фокин А.П., Фокина Н.Н. Теоретические основы определения расширенного вектора состояния движения потребителя через непрерывное измерение ортогональных составляющих магнитного поля Земли – Вестник метролога. 2025. № 3. С. 28–33.
2. Трофимова Т.И.- Курс физики: учебное пособие для вузов. 11-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 560с.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛЕОБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОЦЕНКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АНТЕНН

FEATURES OF USING FIELD-GENERATING SYSTEMS TO EVALUATE THE METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF MEASURING ELECTRICAL ANTENNAS

Шумков К.А., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России;
 Черняев К.С., к.т.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России;
 Рудакова О.А., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России;
 Shumkov K.A., FSBI «MSMC» of the Ministry of Defense of the Russian Federation;
 Chernyaev K.S., c.t.s., FSBI «MSMC» of the Ministry of Defense of the Russian Federation;
 Rudakova O.A., FSBI «MSMC» of the Ministry of Defense of the Russian Federation
 e-mail: shumkovkon@yandex.ru, tel. +7(977)9807917;
 e-mail: 32gnii@mail.ru, tel. +7(903)1209090;
 e-mail: rudakova@mail.ru, tel. +7(926)3637996

Аннотация. В статье рассмотрены основные методы и средства оценки метрологических характеристик измерительных электрических антенн в диапазоне частот до 30 МГц, предложена методика их оценки без использования образцовой антенны.

Аннотация. The article discusses the main methods and tools for evaluating the metrological characteristics of measuring electrical antennas in the frequency range up to 30 MHz, proposes a method for evaluating them without using a reference antenna.

Ключевые слова: радиолокационные системы и комплексы, напряженность электрического поля, измерительные антенны, GTEM-ячейка, коэффициент калибровки.

Key words: radar systems and complexes, electric field strength, measuring antennas, GTEM-cell, calibration coefficient.

Введение

В настоящее время в оборонно-промышленном комплексе задача измерений напряженности электрического и магнитного полей становится все более актуальной. Это связано с потребностью измерения характеристик радиоэлектронных систем и комплексов, обеспечением электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств различного назначения и контролем безопасности работы на объектах радиолокационной техники.

Используемые для поверки рабочие эталоны напряженностей электрического поля (НЭП), а также установки высшей точности для измерений параметров измерительных антенн, предполагают геометрическую и конструктивную идентичность образцовой и поверяемой антенны. В результате, при проведении испытаний в целях утверждения типа и проверок измерительных электрических антенн, существенно отличающихся по конструктивным и геометрическим параметрам от образцовой, возникают существенные методические погрешности, достигающие 3–4 дБ, не позволяющие проводить испытания и последующие поверки перспек-

тивных измерительных электрических антенн и измерителей поля [1]. При этом проблемной становится задача обеспечения единства измерений между метрологическими органами, использующими различные типы образцовых антенн. Очевидно, что создание образцовых антенн под каждый тип поверяемых антенн является неэффективным, особенно в пределах одного поверочного органа.

В этой связи, в рамках данной работы представляется целесообразным проведение исследований по разработке средств и методов обеспечения единства измерений характеристик измерительных электрических антенн на основе создания методик поверки, обеспечивающих удовлетворительные погрешности измерений характеристик антенн, учитывающих возможные конструктивные отличия поверяемых и образцовых антенн.

Результаты анализа парка средств измерений напряженности электрического поля

Результаты анализа парка средств измерений НЭП, эксплуатирующихся в настоящее время, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики СИ НЭП, эксплуатируемых в РФ

Регистрационный номер СИ	81474-21	82330-21	86146-22	54568-13	25853-03	Перспективные СИ
Рассматриваемый диапазон рабочих частот, МГц	от 0,009 до 2	от 0,009 до 30				
Динамический диапазон определяемых коэффициентов калибровки, дБ(м ⁻¹)	от 20 до 40	от 10 до 45	от 20 до 110	от 8,5 до 11,5	от 17 до 52	от минус 20 до 10
Погрешность определения коэффициентов калибровки, не более, дБ	2,0				1,5	1,0

В рассматриваемом диапазоне рабочих частот, указанные в таблице измерительные электрические антенны, имеют существенные отличия как в значениях коэффициентов калибровки, так и в геометрических размерах.

Методы оценки метрологических характеристик измерительных электрических антенн

Существует две основные группы методов определения метрологических характеристик измерительных электрических антенн – абсолютные и относительные [2, 3].

К абсолютным методам относятся:

- метод образцового поля;
- метод трех антенн.

К относительным методам относятся:

- метод эквивалентной емкости;
- метод замещения.

Но в каждом из методов присутствуют свои ограничения:

- применимость метода образцового поля ограничена размерами используемой полеобразующей системы;

– метод эквивалентной емкости применим только для штыревых антенн;

– метод трех антенн слишком трудоемок и требует проведения сложных математических расчетов;

– для метода замещения требуется наличие однотипной образцовой антенны.

В Российской Федерации для исследования метрологических характеристик электрических антенн в диапазоне частот до 30 МГц используются специализированные полеобразующие системы, входящие в состав вторичного эталона единицы напряженности электрического поля и комплекса образцовых средств измерений напряженности электрического поля КОСИ НЭМП «Панировка-ЭМ».

Результаты определения коэффициентов калибровки (КК) (основной метрологической характеристики) антенны измерительной электрического поля П6-220 с применением полеобразующей системы из состава вторичного эталона и устройства для создания электрического поля КОСИ НЭМП «Панировка-ЭМ» представлены на рисунке 1.

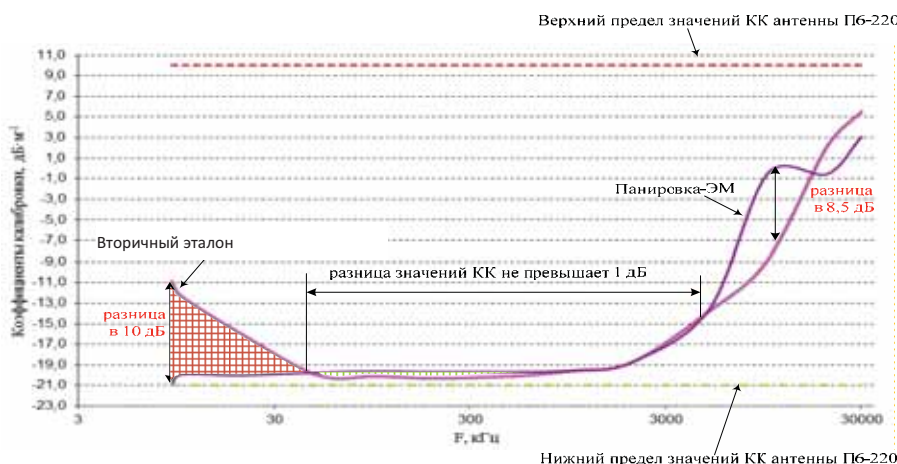


Рисунок 1 – График зависимости коэффициентов калибровки антенны измерительной электрического поля П6-220 от частоты

Из графика видно, что значения КК, полученные с помощью полеобразующей системы из состава КОСИ НЭМП «Панировка-ЭМ», находятся в пределах, установленных для данного средства измерений. Расхождение в значениях коэффициентов, полученных на вторичном эталоне и КОСИ НЭМП «Панировка-ЭМ», в диапазоне частот от 50 кГц до 2 МГц не превышает 1 дБ.

Однако, на остальном участке диапазона частот, на отдельных частотах различия в значениях коэффициентов калибровки достигают значения в 10 дБ.

Такая разница в значениях КК вызвана тем, что противовесы антенны и обкладки плоского конденсатора полеобразующей системы КОСИ НЭМП «Панировка-ЭМ» соразмерны и расположены очень близко друг к другу. Это создает дополнительный емкостной эффект и приводит к возникновению емкостных токов между ними, что в свою очередь влечет за собой изменение импеданса полеобразующей системы и изменение ее резонансной частоты [4].

В этой связи, были проведены исследования полеобразующей системы на базе ГТЕМ-ячейки, входящей в состав измерительной установки и предусмотренной для поверки штыревых и рамочных антенн, для оценки ее пригодности для измерения метрологических характеристик электрических антенн.

Для определения КК электрических антенн в ГТЕМ-ячейке применяется метод, описанный в ГОСТ CISPR 16-1-4-2023.

Однако, в случае его применения для определения КК электрических антенн, выявлен ряд недостатков:

- ограниченное количество частотных точек при определении КК;
- невозможность определения КК при отсутствии образцовой антенны;
- возможность определения КК только для штыревых электрических антенн.

Методика оценки метрологических характеристик измерительных электрических антенн

Для устранения указанных недостатков была разработана методика, основанная на применении метода эталонного поля для определения коэффициентов калибровки измерительных электрических антенн в ГТЕМ-ячейке.

Суть метода – генерация равномерного поля с известной напряжённостью в определённой области пространства («рабочей зоне») и измерение его величины с помощью исследуемой антенны. Коэффициент калибровки антенны определяется как отношение напряжённости эталонного поля к напряжению, измеренному на выходе антенны.

При использовании указанного метода коэффициенты калибровки исследуемой антенны рассчитываются по формуле:

$$KK_{исл} = 20 \log \frac{E}{U},$$

где E – значение коэффициента калибровки эталонной антенны на частоте;

U – напряжение на выходе исследуемой антенны на частоте;

$KK_{исл}$ – коэффициент калибровки антенны, дБ(м⁻¹).

В целях реализации указанного метода для существующих СИ НЭП была разработана методика определения коэффициентов калибровки электрических антенн с применением полеобразующей системы на базе ГТЕМ-ячейки.

Измерения по разработанной методике проводятся с помощью полеобразующей системы ГТЕМ-ячейки, генератора сигналов и измерительного приемника.

Алгоритм применения указанной методики приведен на рисунке 2.

Результаты опробования указанной методики для антенны измерительной дипольной АИ5-0 и в сравнении с результатами, полученными на вторичном эталоне электрического поля, представлены на рисунке 3.

Из рисунка видно, что значения коэффициентов калибровки, полученные с использованием ГТЕМ-ячейки, отличаются от значений коэффициентов калибровки, полученных с использованием полеобразующей системы эталона, не более чем на 2 дБ.

Выводы

Разработанный методический аппарат позволяет определять метрологические характеристики измерительных электрических антенн в заданном диапазоне частот без использования образцовой антенны.

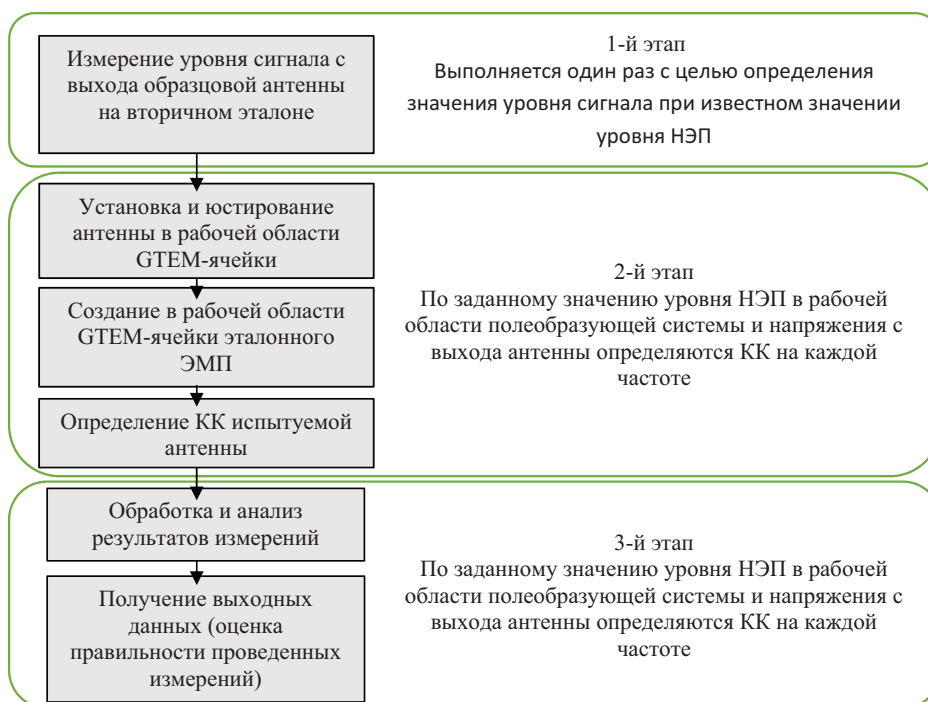


Рисунок 2 – Алгоритм методики

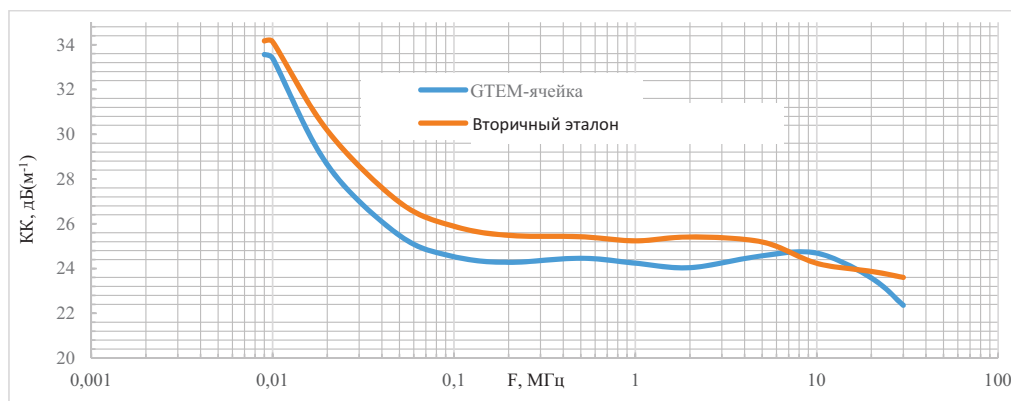


Рисунок 3 – Значения коэффициентов калибровки антенны измерительной дипольной АИ5–0 полученные на вторичном эталоне и в ГТЕМ-ячейке

Литература

1. Хиллов В.П., Кудрявцев А.М. Современные проблемы метрологического обеспечения контроля электромагнитной совместимости технических средств. // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Методы и средства измерений в области электромагнитной совместимости технических средств». – Н. Новгород, 2018.
2. Щелкунов С., Фриис Г. Антенны. – М.: Советское радио, 1955. – 604 с.
3. Фрадин А.З., Рыжков Е.В. Измерения параметров антенно-фидерных устройств – М.: Издательство «Связь», 1972. – 352 с.
4. Шумков К.А., Бакшанов Е.А. Метод определения коэффициентов калибровки дипольных антенн в ГТЕМ-ячейке в диапазоне частот до 30 МГц. Вестник метролога, № 3, 2022 г., с 30–32.

ИДЕАЛЬНАЯ синхронизация часов, движущихся с любыми ускорениями PERFECT SYNCHRONIZATION OF CLOCKS MOVING WITH ANY ACCELERATION

Плясовских А.П., д.т.н., АО «НПО Северо-Западный региональный центр Концерна
ВКО «Алмаз-Антей» – Обуховский завод», г. Санкт-Петербург; Санкт-Петербургский государственный
университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова
Plyasovskikh A.P., d.t.s., JSC “NPO North-West Regional Center of the Almaz-Antey Air Defense Concern –
Obukhov Plant”, St. Petersburg; St. Petersburg State University of Civil Aviation
E-mail: al.plyasovskikh@yandex.ru

Аннотация. Представлена математическая модель идеальной (теоретически абсолютно точной и вечной) синхронизации неподвижных часов и часов, движущихся с любыми скоростями и ускорениями. Эта задача не решена ни в специальной теории относительности (СТО), ни в какой-либо другой теории. Результаты работы могут найти применение в авиационной и космической навигации, в области метрологического обеспечения космических средств, а также в космической метрологии.

Abstract. A mathematical model of ideal (theoretically, absolutely precise and eternal) synchronization of stationary clocks and clocks moving at any speed and acceleration is presented. This problem has not been solved by either the special theory of relativity (STR) or any other theory. The results of this work can find application in aviation and space navigation, in the field of metrological support for spacecraft, and in space metrology.

Ключевые слова: измерение времени; релятивистское замедление времени; синхронизация движущихся часов; специальная теория относительности; космическая навигация.

Keywords: measurement of time; relativistic time dilation; synchronization of moving clocks; special theory of relativity; space navigation.

Введение

Настоящая работа является продолжением статьи [1], которая посвящена вопросам идеальной синхронизации множества часов, движущихся друг относительно друга с релятивистскими скоростями. Проблема, которая решается в статье [там же] заключается в следующем. В соответствии с существующими представлениями, основанными на СТО, синхронизация хотя бы трех часов, движущихся друг относительно друга со скоростями, при которых возникает релятивистское замедление хода часов, теоретически невозможна.

Приведем пример. Пусть на земле у железнодорожного полотна, в точках А и В расположены два неподвижных наблюдателя с заранее синхронизированными часами (рисунок 1). В голове и в хвосте движущегося поезда в точках А' и В' расположены два неподвижных (относительно поезда) наблюдателя, которые также имеют синхронизированные между собой часы. Неподвижная система отсчета связана с железнодорожным полотном, а движущаяся – с поездом.

Если наблюдатели на земле будут следить за движущимися часами А' и В' (будем считать, что поезд движется с релятивистской скоростью), то, в соответствии с СТО, они обнаружат, что по их наблюдениям, часы А' и В' рассинхронизированы.

Кроме того, они увидят, что движущиеся на поезде часы идут медленнее, чем неподвижные часы на земле.

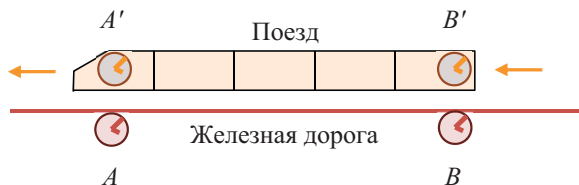


Рисунок 1 – Синхронизировать все часы в разных движущихся друг относительно друга системах отсчета с точки зрения всех наблюдателей, расположенных в разных системах, согласно СТО, невозможно.

Для синхронизации движущихся и неподвижных часов в спутниковых навигационных системах GPS, ГЛОНАСС и других используют метод введения релятивистских поправок хода движущихся на спутниках часов [2, 3].

Допустим, в примере с поездом, неподвижные наблюдатели на земле располагают аппаратурой дистанционного управления движущимися часами. Если они введут соответствующие релятивистские поправки хода движущихся на поезде часов так, чтобы синхронизировать движущиеся часы с неподвижными, то после этой процедуры

наблюдатели на поезде обнаружат, что их часы A' и B' оказались рассинхронизированными. Переместив часы B' к часам A' так, чтобы они оказались рядом, наблюдатели на поезде зафиксируют, что часы A' и B' показывают разное время.

Этот пример демонстрирует, что введение релятивистских поправок для компенсации ухода движущихся с релятивистскими скоростями часов не решает проблему их синхронизации. Вместе с тем, потребности высокоточной навигации летательных аппаратов (ЛА) в авиационной и космической отраслях, а также потребности высокоточного наблюдения за движущимися ЛА обуславливают необходимость повышения точности синхронизации часов, расположенных на различных движущихся объектах, включая космические аппараты (КА).

Теория идеальной синхронизации множества движущихся с релятивистскими скоростями часов, представленная в [1], обеспечивает возможность идеальной (теоретически абсолютно точной и вечной) синхронизации таких часов, с точки зрения всех наблюдателей, расположенных в любой системе отсчета.

Однако, остается нерешенной проблема высокоточной синхронизации часов, движущихся с различными ускорениями. Если, например, часы расположены на КА, выполняющем разгон или торможение (в том числе при межпланетных перелетах или, в будущем, при полетах к другим звездам нашей Вселенной), то для обеспечения высокоточной навигации КА эти часы необходимо с высокой точностью синхронизировать с земными эталонами времени. Но в СТО вопросы синхронизации часов, движущихся ускоренно, не рассматриваются [4,5].

Одним из важнейших принципов метрологии является единство измерений, которое обеспечивает достоверность, точность и сопоставимость результатов измерений, проведенных в разных местах и в разное время. Для метрологического обеспечения космических навигационных систем требуется обеспечить единство измерений времени на Земле и на КА, а для этого необходимо с высокой точностью синхронизировать земные часы и часы КА.

В настоящей работе представлена теория идеальной синхронизации часов, движущихся с любыми ускорениями относительно синхронизированных неподвижных часов в инерциальной системе отсчета. Эта теория обеспечивает единство

измерений времени в разных системах отсчета, движущихся друг относительно друга с любыми скоростями и ускорениями.

Понятия и определения

Мы будем рассматривать движение часов в *инерциальной системе отсчета*, в которой скорость света во всех направлениях и в любой области данной системы одинакова.

Под *идеальной синхронизацией* понимается такая синхронизация часов, при которой часы, будучи теоретически абсолютно точно синхронизированными один раз, останутся синхронизированными неопределенно долго (теоретически вечно).

Введем следующие понятия [6–8].

Время часов (или просто время) – показание часов.

Истинное время часов – показание часов, наблюдаемое неподвижным наблюдателем, находящимся в непосредственной близости от часов.

Примечание. «*Собственное время*» специальной теории относительности и «*истинное время*» движущихся часов, синхронизированных с неподвижными часами, – разные понятия. Формулы, связывающие «собственное время» движущихся и неподвижных часов отличаются от формул, связывающих «истинное время» движущихся и неподвижных синхронизированных часов.

Наблюдаемое время часов – наблюдаемое показание часов удаленным от них наблюдателем.

Темп (скорость) хода часов – быстрота изменения показаний часов. Темп хода часов со стрелочным циферблатом характеризует угловую скорость вращения стрелок, а также линейную скорость движения концов стрелок по окружности циферблата. Чем больше темп хода часов, тем быстрее стрелки этих часов движутся по циферблату. Темп хода часов может регулироваться.

Идеальные часы – часы, темп хода которых является равномерным (постоянным), т.е. не имеет случайной составляющей. Темп хода идеально синхронизированных идеальных часов является всегда одинаковым.

Благодарность

Выражаю искреннюю благодарность д.т.н. Виктору Тимофеевичу Яковлеву за обсуждение различных аспектов теории идеальной синхронизации движущихся часов и за рекомендации, которые послужили улучшению изложения материала.

Определение движущихся часов, идеально синхронизированных с неподвижными часами

Рассмотрим синхронизацию неподвижных и движущихся часов. Пусть часы A движутся в непосредственной близости от бесконечного ряда предварительно синхронизированных неподвижных часов, которые расположены на оси X инерциальной системы отсчета K (рисунок 2). Возле каждого неподвижного часа с известной координатой X имеется датчик, фиксирующий показания часов A в момент прохождения мимо него, а также показания ближайших к датчику неподвижных часов на оси X .

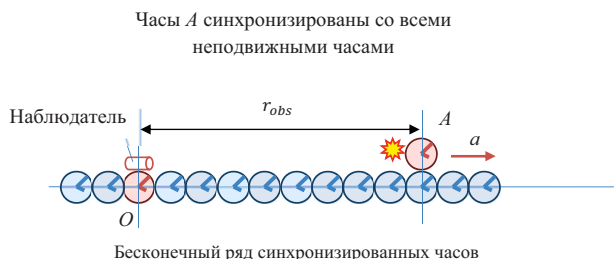


Рисунок 2 – Движение часов A идеально синхронизированных со всеми неподвижными часами

Будем считать, что часы A идеально синхронизированы со всеми неподвижными часами на оси X , если показания часов A всегда совпадают с показаниями ближайших неподвижных часов при прохождении мимо них с любой скоростью и с любым ускорением. Другими словами, для идеально синхронизированных часов всегда выполняется равенство $t_{tr x} = t_{tr A}$, где x – координата часов A и неподвижных часов, оказавшихся рядом.

Итак, движущиеся часы, идеально синхронизированные с неподвижными, всегда показывают одинаковое время с часами, мимо которых они проходят, независимо от скорости и ускорения. Это главное свойство движущихся часов, идеально синхронизированных с неподвижными часами.

Соотношения, описывающие идеальную синхронизацию неподвижных и движущихся с ускорением часов

Рассмотрим синхронизацию неподвижных часов и часов, движущихся с ускорением.

Пусть на оси X инерциальной системы отсчета расположен бесконечный ряд предварительно

синхронизированных неподвижных часов. Вдоль оси X с ускорением a движутся часы A . Задача заключается в том, чтобы получить уравнения идеальной синхронизации часов O , расположенных в начале координат системы, и движущихся с ускорением часов A (рисунок 2).

Часы A показывают одинаковое время со всеми синхронизированными часами неподвижного ряда часов в моменты встречи с любыми из них. Потому неподвижные часы O и часы A синхронизированы. Наблюдатель может быть расположен или рядом с неподвижными часами O , или рядом с движущимися часами A .

Будем считать, что закон движения часов известен, координата движущихся часов определяется уравнением $x = x(t)$, а расстояние между неподвижными и движущимися часами O и A определяется формулой $r(t) = |x(t)|$.

Например, закон движения часов может задаваться соотношением

$$x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}, \quad (1)$$

где x_0 и v_0 – соответственно координата и скорость движущихся часов в начальный момент времени, a – их ускорение.

Тогда расстояние между часами в момент времени t (по любым синхронизированным часам) равно

$$r(t) = |x(t)| = \left| x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2} \right|.$$

Наблюдатель находится рядом с неподвижными часами

Пусть в момент времени t_{obs}^a по движущимся часам (верхний индекс « a » означает, что часы движутся с ускорением a) рядом с их циферблатом произошла вспышка света (рисунок 3, а).

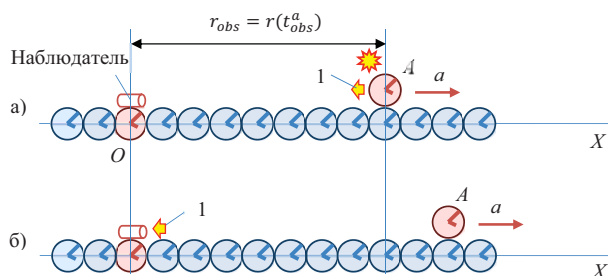


Рисунок 3 – Движение часов A с ускорением. Наблюдатель расположен рядом с неподвижными часами O в начале координат: а) момент вспышки света возле циферблата движущихся часов A ; б) момент достижения луча света 1 наблюдателя

В этот момент расстояние от начала координат до часов А было равным $r_{obs} = r(t_{obs}^a)$. Свет 1 от освещенного циферблата будет двигаться до начала координат в течение интервала времени Δt , равного отношению расстояния $r(t_{obs}^a)$ к скорости света:

$$\Delta t = \frac{r(t_{obs}^a)}{c}.$$

В момент, когда наблюдатель в начале координат увидит (зафиксирует с использованием системы наблюдения) показание t_{obs}^a движущихся часов (рисунок 3, б), истинное показание неподвижных часов О рядом с наблюдателем будет равно

$$t_{tr} = t_{obs}^a + \Delta t = t_{obs}^a + \frac{r(t_{obs}^a)}{c}.$$

Таким образом, уравнение, связывающее наблюдаемые показания идеально синхронизированных неподвижных и движущихся с ускорением часов, при условии, что наблюдатель находится рядом с неподвижными часами, имеет вид

$$t_{obs}^a + \frac{r(t_{obs}^a)}{c} = t_{tr}. \quad (2)$$

Пример 1. Если закон движения часов А задан уравнением (1), то расстояние между часами в момент вспышки света t_{obs}^a (рисунок 3, а) равно

$$r(t_{obs}^a) = |x(t_{obs}^a)| = \left| x_0 + v_0 t_{obs}^a + \frac{a(t_{obs}^a)^2}{2} \right|.$$

В соответствии с уравнением (2) соотношение, связывающее наблюдаемые показания часов в этом случае, приобретает вид

$$t_{tr} = t_{obs}^a + \frac{1}{c} \left| x_0 + v_0 t_{obs}^a + \frac{a(t_{obs}^a)^2}{2} \right|. \quad (3)$$

Пример 2. Рассмотрим упрощенный пример движения КА в сторону от Земли с постоянным ускорением. В момент старта координата x_0 и скорость v_0 космического аппарата были равны нулю, часы на Земле и на космическом аппарате были синхронизированы, и их показания были равны нулю.

В соответствии с уравнением (3) если в полете часы КА остаются синхронизированными с земными часами, то будет выполняться условие

$$t_{tr} = t_{obs}^a + \frac{a(t_{obs}^a)^2}{2c},$$

где t_{tr} и t_{obs}^a – соответственно наблюдаемые наблюдателем на Земле показания земных часов и часов КА.

Если, например, с КА периодически передаются сигналы, содержащие информацию о времени

передачи сигнала (метку времени) t_{ts}^a , то в момент приема сигнала на Земле при условии, что часы синхронизированы, будет выполняться соотношение

$$t_{tr} = t_{ts}^a + \frac{a(t_{ts}^a)^2}{2c}.$$

В рассмотренном примере мы пренебрегаем движением Земли вокруг Солнца, пример представлен лишь для иллюстрации условия идеальной синхронизации неподвижных и движущихся с ускорением часов.

Наблюдатель находится рядом с движущимися с ускорением часами.

Рассмотрим случай, когда наблюдатель расположен рядом с движущимися с ускорением часами А (рисунок 4).

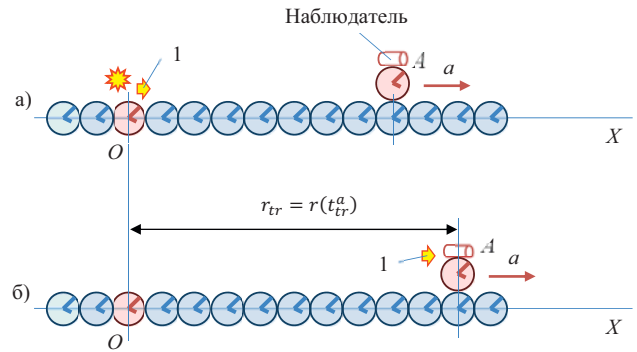


Рисунок 4 – Движение часов А с ускорением a вдоль ряда синхронизированных часов: а) момент вспышки света возле циферблата неподвижных часов О; б) момент достижения луча света 1 наблюдателя, расположенного рядом с движущимися часами

Часы А идеально синхронизированы со всеми неподвижными часами и показывают одинаковое время при встрече с любыми из них. В момент, изображенный на рисунке 4, а, циферблат неподвижных часов О кратковременно освещает вспышка света. Луч света 1 от циферблата начинает двигаться к наблюдателю. В момент, представленный на рисунке 4, б, луч 1 достигает наблюдателя, который кратковременно видит (фиксирует с помощью приборов наблюдения) наблюдаемые показания t_{obs} неподвижных часов.

Поскольку часы синхронизированы, то истинные показания движущихся часов t_{tr}^a в момент наблюдения показаний неподвижных часов t_{obs} равны

$$t_{tr}^a = t_{obs} + \Delta t,$$

где Δt – время движения луча света от циферблата неподвижных часов до наблюдателя, равное

$$\Delta t = \frac{r(t_{tr}^a)}{c},$$

$r(t_{tr}^a)$ – истинное расстояние между часами в момент наблюдения t_{tr}^a .

Таким образом, выражение, связывающее наблюдаемые показания синхронизированных неподвижных и движущихся с ускорением a часов, при условии, что наблюдатель расположен рядом с движущимися часами, имеет вид

$$t_{obs} = t_{tr}^a - \frac{r(t_{tr}^a)}{c}, \quad (4)$$

где t_{tr}^a и t_{obs} – соответственно наблюдаемые показания движущихся и неподвижных часов.

Пример 3. Рассмотрим пример движения КА от Земли с ускорением a , аналогичный примеру 2, но при условии, что наблюдатель расположен на КА. В этом случае выражение (4) приобретает вид

$$t_{obs} = t_{tr}^a - \frac{a(t_{tr}^a)^2}{2c}.$$

Если с Земли периодически передаются сигналы с метками времени t_{ts} , то при условии, что часы КА синхронизированы с земными часами, в моменты приема сигналов на КА истинные показания часов на нем будут равны t_{tr}^a и будет выполняться соотношение

$$t_{ts} = t_{tr}^a - \frac{a(t_{tr}^a)^2}{2c}.$$

Пример 4. Рассмотрим полет брата-близнеца на космическом корабле с околосветовыми скоростями и с любыми ускорениями. Если известен закон движения корабля, позволяющий определить расстояние от него до Земли в момент времени t_{tr}^a , по бортовым часам $f_r = r(t_{tr}^a)$, то условие синхронизации часов с точки зрения космического путешественника имеет вид (4). Если с Земли периодически посылаются сигналы с метками времени t_{ts} , то в моменты их приема должно выполняться соотношение

$$t_{tr}^a - \frac{r(t_{tr}^a)}{c} = t_{ts},$$

где t_{tr}^a – показания бортовых часов в моменты приема.

Бортовые часы, синхронизированные с земными часами в соответствии с этим уравнением, всегда будут показывать путешественнику точное земное время. После возвращения часы корабля будут идти синхронно с земными часами.

Таким образом, получены соотношения (2) и (4), описывающие условия идеальной синхронизации неподвижных часов и часов, движущихся с любым ускорением.

Следует отметить, что формулы (2) и (4) *асимметричны*. Это означает, что при одном и том же истинном расстоянии и в один и тот же момент истинного времени по этим синхронизированным часам, неподвижный и движущийся наблюдатели будут фиксировать разные наблюдаемые показания удаленных от них часов.

Отметим также следующее. Если наблюдатель расположен возле неподвижных часов, то расстояние между часами определяется в прошлый момент наблюдаемого времени t_{obs}^a , тогда как истинное текущее время по синхронизированным часам равно t_{tr} . Если наблюдатель расположен возле движущихся часов, то расстояние между часами определяется в настоящий момент времени t_{tr} . Эти особенности необходимо учитывать при высокоточной синхронизации неподвижных и движущихся часов.

Практическая реализация идеальной синхронизации множества часов, движущихся с разными скоростями и ускорениями

Наблюдение за ходом движущихся часов неподвижным наблюдателем или же наблюдение за ходом неподвижных часов движущимся наблюдателем может осуществляться с помощью технологии радиовещательного автоматического зависящего наблюдения АЗН-В. Для реализации АЗН-В рядом с наблюдаемыми часами устанавливаются передатчик, который периодически, например, раз в секунду передает короткие сообщения, содержащие идентификатор часов, высокоточную метку времени и их местоположение часов [8, 9]. В месте расположения наблюдателя приемник фиксирует время приема этого сообщения по своим часам. В момент приема сообщения время приема является истинным временем t_{tr} , при этом значение метки времени t_{ts} является наблюдаемым временем удаленных часов t_{obs} , то есть $t_{obs} = t_{ts}$.

С использованием АЗН-В любое множество часов, движущихся друг относительно друга с любыми скоростями и ускорениями, может быть идеально синхронизировано.

Синхронизацию движущихся часов и неподвижных часов – эталона времени можно осуще-

ствлять в два этапа. На первом этапе темп хода движущихся часов корректируют так, чтобы в любой момент выполнялись соотношения

$$t_{obs}^a + \frac{r(t_{obs}^a)}{c} = t_{tr} + b, \quad (4)$$

$$t_{obs} = t_{tr}^a - \frac{r(t_{tr}^a)}{c} + b, \quad (5)$$

где b – константа, которая с течением времени (при изменении t_{tr} и t_{tr}^a) не меняется.

Выполнение формул (4) и (5) гарантирует, что темп хода неподвижных и движущихся часов является одинаковым.

На втором этапе показания движущихся часов подводят так, чтобы константа b стала равной нулю. При этом будут выполняться соотношения (2) и (4), и часы окажутся синхронизированными. Если синхронизировать все движущиеся часы с неподвижными часами – эталоном времени, то все движущиеся часы будут синхронизированы друг с другом. Практическая реализация описанной процедуры синхронизации часов с использованием сообщений АЗН-В является относительно простой инженерной задачей.

Практическая значимость. Результаты этой работы могут быть использованы в космической навигации, в области метрологического обеспечения космических средств, а также в космической метрологии.

Одной из важнейших задач метрологического обеспечения космических средств является обеспечение единства измерений времени, поскольку время является одной из основных физических величин, наряду с длиной, массой, температурой и другими. Теория идеальной синхронизации часов, представленная в [1] и в этой работе, обеспечивает возможность теоретически идеальной синхронизации движущихся друг относительно друга часов при любых скоростях и ускорениях, что в свою очередь обеспечивает возможность повышения точности решения задач навигации космических аппаратов, точности расчетов траекторий полетов и маневров, точности расчетов потребного для их выполнения топлива. Следовательно, эта теория обеспечивает возможность повышения эффективности и безопасности космических полетов.

Заключение

Обеспечение единства измерений времени является важнейшей задачей метрологического

обеспечения космических средств. Ни СТО, ни какая-либо другая теория до настоящего времени не решали проблему обеспечения единства измерений времени в разных движущихся друг относительно друга системах отсчета при релятивистских скоростях и ускорениях. Другими словами, до сих пор не было никакой теории, обеспечивающей возможность теоретически идеально синхронизировать множество часов, расположенных на Земле и на разных авиационных и космических средствах (летательных аппаратах). Представленная в [1] и в этой работе теория идеальной синхронизации часов восполняет этот пробел.

В будущих публикациях автор планирует рассмотреть другие методы идеальной синхронизации движущихся друг относительно друга часов при релятивистских скоростях.

Литература:

1. Плясовских А. П. Идеальная синхронизация множества движущихся с релятивистскими скоростями часов // Научно-технический журнал Вестник метролога. – 2025. №5. – С. 3–8.
2. Audoin C., Guinot B. The Measurement of Time: Time, Frequency and the Atomic Clock. 2001. Cambridge University Press. ISBN 0–521–80080–3.
3. Тяпкин, В. Н. Методы определения навигационных параметров подвижных средств с использованием спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС: монография / В. Н. Тяпкин, Е. Н. Гарин. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 260 с. ISBN 978–5–7638–2639–5.
4. Эйнштейн А. К электродинамике движущихся тел // Собр. науч. тр. – Т. 1. – М.: Наука, 1965. – С. 7–35.
5. Угаров В. А. Специальная теория относительности. – М.: Наука, 1977. – 383 с.
6. Плясовских А. П. Теория абберации. Первая теория, альтернативная специальной теории относительности [Электронный ресурс]. – М.: Знание-М, 2023. – 503 с. – ISBN 978–5–00187–483–6.
7. Plyasovskikh A.P. Eshmuradov D.E. Theory of aberration – an alternative to the special theory of relativity. – Т.: «Fan va texnologiyalar mashriyot-matbaauyi» 2024, 432 p. – ISBN: 978–9910–748–53–0.
8. Плясовских А. П. Закон абберации и его приложения в навигации и управлении воздушным движением. – М.: Знание-М, 2022. – 70 с. – ISBN 978–5–00187–223–8.
9. Aeronautical Surveillance Manual. Doc. 9924 AN/474. ICAO, 2020. 372 p.

ОБЗОР МИРОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ПОВЕРКИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ДОЗИМЕТРОВ OVERVIEW OF GLOBAL ENGINEERING SOLUTIONS IN IMPROVING THE PERFORMANCE OF THE VERIFICATION PROCESS OF INDIVIDUAL ELECTRONIC RADIATION DOSIMETERS

Шпилевский О.Б., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России;

Чумаков В.В., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России;

Надеина О.В., к.п.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России;

Козлова А.В., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России;

Shpilevskiy O.B., FSBI «MSHC» of the Ministry of Defense of the Russian Federation;

Chumakov V.V., FSBI «MSHC» of the Ministry of Defense of the Russian Federation;

Nadeina O.V., k.p.s., FSBI «MSHC» of the Ministry of Defense of the Russian Federation;

Kozlova A.V., FSBI «MSHC» of the Ministry of Defense of the Russian Federation;

e-mail vchumakov57@mail.ru, tel. +7(495)223-69-26 dob. 226; e-mail shpilberg71@gmail.com, tel. +7(977)599-52-26;

e-mail: ovnadeina@gmail.com, tel. +7(999)998-90-15; e-mail: kavaro@mail.ru, tel. +7(925)034-76-24

Аннотация. Осуществлен обзор технических устройств, применяемых в метрологических лабораториях США, ФРГ и Японии, позволяющих увеличить производительность процесса поверочных работ индивидуальных электронных дозиметров.

Annotation. A review of the technical devices used in the metrological laboratories in the USA, Germany and Japan, allowing to increase the productivity of the verification process of individual electronic dosimeters.

Ключевые слова: метрологическое обеспечение, поверочная установка, индивидуальный электронный дозиметр.

Keywords: metrology support, calibration facility, individual electronic radiation dosimeter.

В настоящее время благодаря развитию в зарубежных странах атомной энергетики и промышленности, радиологической медицины, комплексов по переработке и захоронению радиоактивных отходов, а также в подразделениях национальных вооруженных сил и сил по борьбе с чрезвычайными ситуациями, широкое применение получили индивидуальные электронные дозиметры. Этот вид средств измерений радиационной разведки находится в личном пользовании и при своих «карманных» габаритах дает возможность измерять мощность амбиентной эквивалентной дозы ионизирующих излучений (гамма- и рентгеновского излучения, а некоторые модели – и нейтронного излучения), а также вести подсчет амбиентной эквивалентной дозы, полученной персоналом (личным составом) за определенный промежуток времени.

Необходимость своевременной поверки многочисленной группы данных средств измерений привело к поиску путей по созданию специальных поверочных устройств повышенной производительности.

Так, в Японии одним из крупнейших производителей дозиметрических приборов и оборудования компаний Фуджи Электрик (Токио) [1] созданы и работают калибровочно-поверочная

гамма-установка (Тип № 92–53) и калибровочно-поверочная нейтронная установка (Тип № 92–52).

Калибровочно-поверочная гамма-установка (Тип № 92–53) позволяет с целью поверки одно- временно облучать до 50 индивидуальных дозиметров с помощью стационарного устройства с набором четырех радиоактивных источников на основе Cs^{137} .

Нейтронная установка имеет возможность поверки одновременно до 24 индивидуальных дозиметров с помощью двух источников нейтронного излучения на основе радионуклида Cf^{252} .

Другое техническое решение было осуществлено в ФРГ в Центре им. Гельмгольца (Мюнхен) – Немецком исследовательском центре здоровья человека и окружающей среды. В связи с необходимостью ежемесячно поверять несколько тысяч индивидуальных дозиметров персонала и пациентов, находящихся на лечении центра, была специально создана автоматизированная поверочная установка на основе использования рентгеновского излучения [2].

На рисунке 1 представлено помещение, в котором находится рентгеновская установка с автоматической транспортной системой для доставки рамок с набором индивидуальных дозиметров к источнику ионизирующего излучения.



Рисунок 1 – Помещение для работы рентгеновской установки

На рисунке 1 показано помещение, где: 1 – рентгеновская трубка (320 кВ); 2 – устройство охлаждения (вода/масло); 3 – защитный корпус; 4 – коллиматор; 5 – защитная крышка; 6 – набор фильтров барабанного типа; 7 – облучаемая платформа; 8 – поворотная ось; 9 – фиксирующее устройство; 10 – рамка с установленными в ней дозиметрами; 12 – окно для подачи рамки; 13 – открывающаяся заслонка; 14 – подвижный держатель рамки; 15 – двигатель устройства привода доставки.

На рисунке 2 показана смежная комната с магазинным загрузочным устройством, а также постом управления и контроля, включающего в себя компьютер со специальным программным обеспечением и экран визуального контроля, где: 11 – загрузочное устройство с набором рамок; 12 – окно для подачи рамки; 16 – пост управления и контроля.

Эта установка с возможностью в больших пределах изменять мощность потока рентгеновского



Рисунок 2 – Комната загрузки дозиметров в рамки управления и контроля процесса поверки

излучения позволяет с высокой производительностью решать широкий спектр поверочных работ.

Иной подход для увеличения производительности поверки индивидуальных дозиметров предложила крупнейшая американская компания по производству радиационных приборов Мирион Технолоджис [3]. Здесь было создано мобильное портативное поверочное устройство FC2B (рисунок 3), которое позволяет производить поверку широко используемых в США пожарными, спасателями, врачами медицины катастроф и представителями других специальных служб индивидуальных дозиметров UltraRadiac. Данные устройства созданы как аналоги военных образцов индивидуальных дозиметров типа AN/UDR-14 / RGU-100.



Рисунок 3 – Портативное поверочное устройство FC2B и индивидуальный дозиметр UltraRadiac

Поверочное устройство FC2B обладает следующими конструктивными и поверочными характеристиками:

- размеры – (16,8 x 14,0) см, включая ручку для переноса изделия;
- вес – 5,4 кг;
- г- 8 встроенных поверочных микроисточников на основе Cs^{137} , которые в купе с пересчетной таблицей дают возможность без линейных искажений определять уровни радиации с относительной погрешностью измерений в диапазоне до 3,5 Зв/ч с погрешностью менее $\pm 15\%$ и от 3,5 Зв/ч до 5,0 Зв/ч с погрешностью порядка $\pm 20\%$;
- на крышке устройства приведена таблица поправок уровня излучений, связанных со старением источников;
- для сравнения показаний индивидуального дозиметра и самого устройства используется датчик Гейгера-Мюллера, расположенный внутри прибора напротив контрольных источников.

Такое портативное поверочное устройство позволяет производить поверку индивидуальных дозиметров UltraRadiac по мере необходимости в местах расположения конкретных подразделений.

Таким образом, в связи с широким применением в зарубежных странах индивидуальных электронных дозиметров и необходимостью своевременного проведения поверочных работ данных средств измерений привело к необходимости создания специальных поверочных устройств повышенной производительности на основе различных конструкторских решений.

Литература

1. Fuji Electric Global [Электронный ресурс] – URL: <https://www.fujielectric.com/products>
2. A fully automated secondary standard x-ray calibration facility for personal dosimeters [Электронный ресурс] – URL: <https://www.researchgate.net/publication/328662635>
3. Traceability of calibration facility [Электронный ресурс] – URL: <https://www.fujielectric.com>

ПРИМЕНЕНИЕ УПРОЩЕННОЙ 3D МОДЕЛИ ОТСЕКОВ ПРИ КОНТРОЛЕ ФОРМЫ И ОБЪЕМОВ БАКОВ USING SIMPLIFIED 3D MODELS COMPARTMENT WHEN CHECKING THE FORM AND VOLUMES TANK

Смирнов А.О., АО «РАТЕП»,
e-mail: anton-smirnov-88@mail.ru, tel. +79678658772;
Полесский А.В., д.т.н., АО «НПО «ОРИОН»,
e-mail: poleskiyav@orion-ir.ru tel. +79057152471;
Smirnov A.O., «JOIN-STOCK COMPANY RATEP»,
e-mail: anton-smirnov-88@mail.ru tel. +79678658772;
Polesskiy A.V., JOIN-STOCK COMPANY
«RESEARCH-AND-PRODUCTION ENTERPRISE «ORION»,
e-mail: poleskiyav@orion-ir.ru; tel. +79057152471

Аннотация. В статье представлены результаты разработки упрощённой 3D-модели отсека бака, которая повышает производительность вычислений с использованием метода конечных элементов. Приведены результаты расчетов полей перемещений модели обечайки с вафельной оболочкой и полей перемещений модели с эквивалентной цилиндрической гладкой оболочкой. Проведен расчет относительной погрешности при применении упрощенной 3D-модели.

Abstract. The article presents the results of the development of a simplified 3D model of the tank compartment, which improves the computing performance using the finite element method. The results of calculations of the displacement fields of a shell model with a wafer shell and displacement fields of a model with an equivalent cylindrical smooth shell are presented. The relative error was calculated when using a simplified 3D model.

Ключевые слова: методика измерения, 3D-модель, отсек ракетных баков.

Keywords: measurement methodology, 3D-model, rocket tank compartment.

Введение

Контроль геометрических параметров изделий аэрокосмической техники на разных стадиях изготовления является актуальной задачей. Повышение производительности вычислений геометрических параметров бака ракеты является одной из важнейших задач производства. При сборке топливных баков аэрокосмической техники необходимо учитывать и контролировать деформации элементов конструкций при разных видах нагружений в статическом и динамическом режимах, что позволяет определять текущий объем топлива в баках ракетополетителя с низкой погрешностью. За счет точной параметризованной трехмерной геометрической модели бака уменьшается суммарная погрешность измерения объемов баков. Таким образом, траектория полета ракеты более точно совпадает с расчетной, что позволяет снизить круговое отклонение при поражении цели, а также уменьшить величину гарантийного запаса топлива [1–3].

Исходные данные для расчетов объема бака включают основные габаритные размеры его компонентов и обечайки, расчетные массовые характеристики компонентов, а также на них нагрузки в процессе испытаний и эксплуатации, прочностные характеристики материала.

Таблица 1

Агрегаты и оборудование бака

Наименование	Объем агрегата	Масса
Топливная магистраль	V_1	M_1
Головная часть и третья ступень	V_2	M_2
ДУ первой ступени	V_3	M_3
ДУ второй ступени	V_4	M_4
Уровнемер	V_5	M_5

Обязательным элементом любого бака является обечайка. Она имеет вид вафельной цилиндрической оболочки, профиль которой показан на рисунке 2. При действии внешнего давления вафельные цилиндрические оболочки обеспечивают снижение массы конструкции в 1,5–1,7 раза по сравнению с гладкими оболочками равной несущей способности, что достигается за счет снижения влияния несовершенств формы и, в основном, благодаря рациональному распределению материала между стенкой и подкрепляющими ребрами. [4]

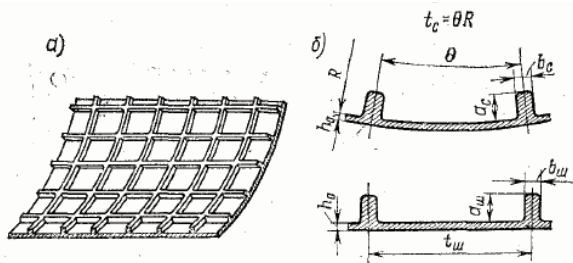


Рисунок 2 – Профиль вафельной оболочки и его параметры

Индекс «ш» соответствует поперечным подкреплениям (шпангоутам), «с» – продольным (стрингерам); h_o – толщина обшивки, м; t_c , t_w – шаг подкреплений, м; a_c , a_w – высота подкреплений, м; b_c , b_w – ширина подкреплений, м.

Обечайка обычно изготавливается из алюминиевого деформируемого сплава АМГ6. Для материала приняты следующие физико-механические свойства:

- модуль упругости, E : $0,71 \cdot 10^{11}$ Па;
- плотность, ρ : 2640 кг/м³;
- коэффициент Пуассона, μ : $0,3$;
- коэффициент линейного температурного расширения (секущий в диапазоне от 20 до 100 °С), α : $24,7 \cdot 10^{-6}$ 1/град.

Модель отсека бака с обечайкой показана на рисунке 3. Она представляет собой крупногабаритную обечайку с вафельной цилиндрической оболочкой.

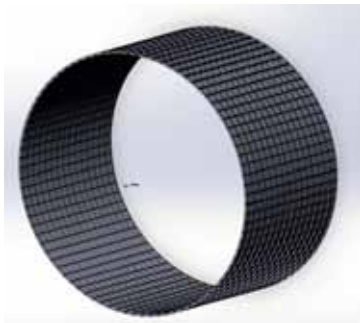


Рисунок 3 – Общий вид геометрической модели обечайки с вафельной оболочкой

Продольные и поперечные подкрепления расположены на наружной поверхности оболочки. Конечно-элементная модель показана на рисунке 4.

Обшивка и подкрепления смоделированы при помощи оболочечных конечных элементов типа Shell 181, применяемых в программе ANSYS. Харак-

терный размер конечного элемента составляет не менее пяти толщин моделируемой оболочки. При расчетах использована модель линейно-упругого материала, соответствующего выбранному материалу обечайки – алюминиевому сплаву АМГ6.

Таблица 2

Сравнения подходов к моделированию

Параметр	3D-модель вафельной оболочки	3D-модель гладкой оболочки
Геометрия	Реальная (ребра + стенка)	M1
Тип элементов	Shell 181	Shell 181 (оболочечные)
Количество элементов	2500000	4500
Машинное время	1620 минут	90 минут
Модель учитывает	деформации конструкции бака в целом	деформации конструкции бака в целом

Таким образом, прямое моделирование геометрии бака требует большого количества времени и машинных ресурсов. Альтернативой может являться упрощение геометрии бака за счет замены обечайки на гладкую оболочку.

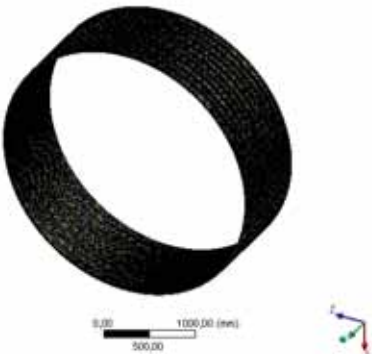


Рисунок 4 – Конечно-элементная модель обечайки с вафельной оболочкой

При замене необходимо соблюсти следующее условие – гладкая оболочка должна быть с эквивалентной несущей способностью вафельной. Проведем сравнительный расчет реальной вафельной обечайки, аналогичной той, что показана выше и эквивалентной ей гладкой оболочке.

Ниже приведены результаты тестового расчета вафельной цилиндрической обечайки при помо-

щи пакета ANSYS Workbench с применением анализа Static Structural. Граничные условия, приложенные к модели (рисунок 5).

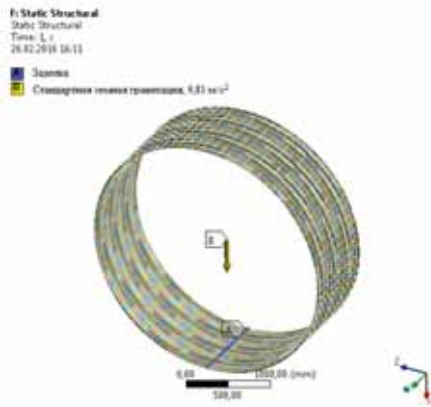


Рисунок 5 – Граничные условия для полной расчетной модели обечайки с вафельной оболочкой

Как видно из результатов расчета, представленных на рисунке 6, максимальные перемещения модели составили $Y_{\max}=24,904$ мм. Чтобы вычислить параметры эквивалентной оболочки, применим следующую систему уравнений, в которой используется равенство известных выражений для жесткостей продольных элементов обечайки на растяжение и изгиб.

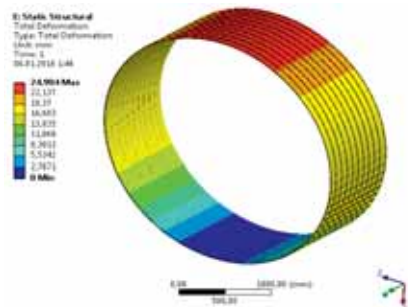


Рисунок 6 – Результат расчета поля перемещений модели обечайки с вафельной оболочкой (мм)

Жесткость – это способность металлоконструкции или ее элемента не подвергаться деформации под воздействием внешних механических нагрузок. Требуется найти E_{pr} и h [5].

$$\begin{cases} E_0 \cdot J_0 = E_{pr} \cdot \frac{B \cdot h^3}{12} \\ E_0 \cdot S_0 = E_{pr} \cdot B \cdot h \end{cases},$$

где E_0 – модуль упругости материала исходной обечайки, Па;

E_{pr} – модуль упругости материала приведенной обечайки, Па;

E_0 – осевой момент инерции элемента исходной обечайки, m^4 ;

S_0 – площадь сечения элемента исходной обечайки, m^2 ;

B – ширина основания элемента исходной обечайки, м;

h – высота элемента приведенной обечайки, м.

Поперечные сечения продольных элементов исходной и приведенной обечайки для данного варианта расчета представлены на рисунке 7.

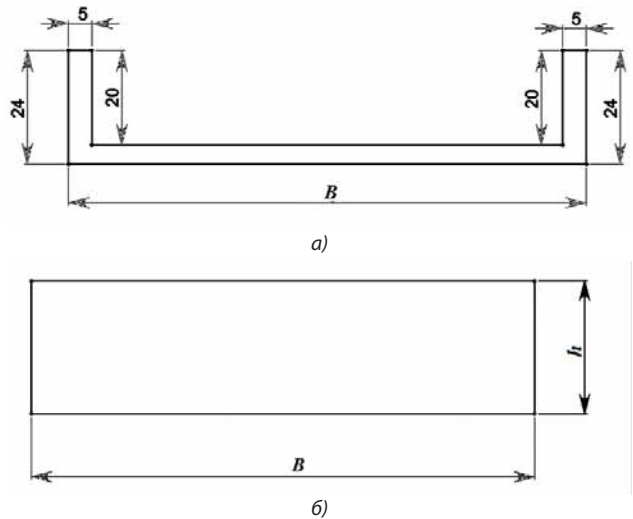


Рисунок 7 – Сечения элементов исходной вафельной а) и эквивалентной гладкой б) оболочки

Для упрощения расчета принято, что основание B элементов обечайки, в отличие от реальных элементов данной конструкции, имеет нулевую кривизну. При помощи найденных E_{pr} и h в пакетах SolidWorks и ANSYS Workbench соответственно построена (рисунок 8) и рассчитана обечайка с цилиндрической эквивалентной оболочкой.



Рисунок 8 – Геометрическая модель обечайки с эквивалентной гладкой оболочкой

Рассчитаем эквивалентную цилиндрическую оболочку при помощи пакета ANSYS Workbench с применением анализа Static Structural, задав найденные E_{pr} и h . Так же, как и в предыдущем расчете, следует построить конечно-элементную модель обечайки (рисунок 9).

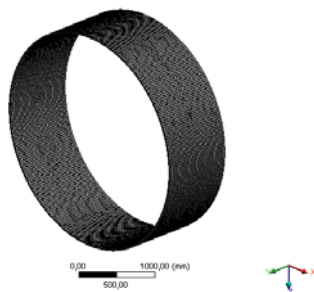


Рисунок 9 – Конечно-элементная модель обечайки с эквивалентной гладкой оболочкой

Для эквивалентной обечайки граничные условия заданы так же, как и для вафельной обечайки рисунок 10.

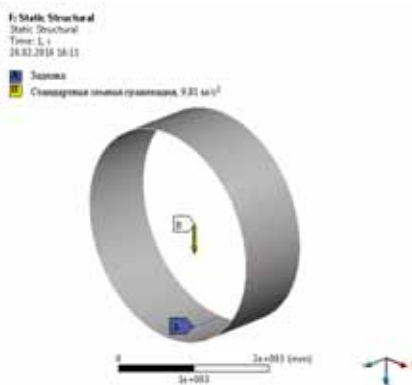


Рисунок 10 – Граничные условия для обечайки с эквивалентной гладкой оболочкой

Как видно из результатов расчета, представленных на рисунке 11, максимальные перемещения в эквивалентной цилиндрической оболочке составили $Y_{eq_max} = 24,296$ мм.

Относительную погрешность вычислений рассчитаем по следующей формуле:

$$\delta = \frac{Y_{max} - Y_{eq_max}}{Y_{eq_max}} \cdot 100\%,$$

где Y_{eq_max} – результат расчета перемещений упрощенной модели обечайки с гладкой эквивалентной оболочкой, мм;

Y_{max} – результат расчета перемещений полной модели обечайки с вафельной оболочкой, мм.

Значение δ составило 2,5 %, что соответствует нормам инженерных расчетов, в которых погрешность не должна превышать 5 %.

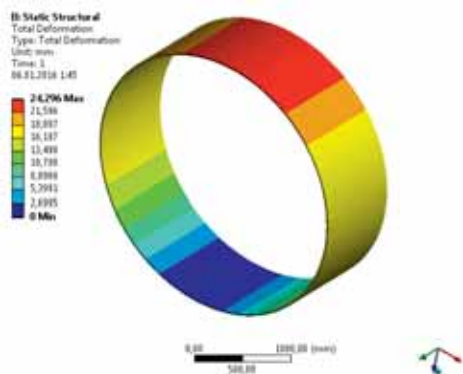
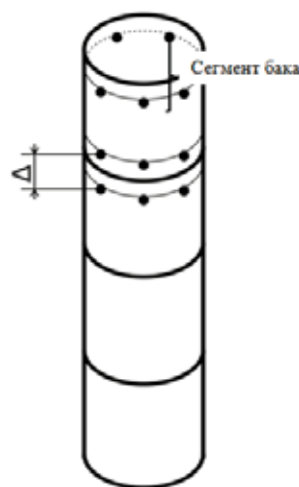


Рисунок 11 – Результат расчета поля перемещений модели с эквивалентной цилиндрической оболочкой (мм)

Для анализа возможности применения данного подхода на баке в целом была построена параметризованная геометрическая модель бака на основе данных, полученных при помощи фотограмметрии.

Геометрическая модель бака подразумевает использование эквивалентных гладких оболочек. На рисунке 12 схематично обозначены места расположения световозвращающих мишеней в контрольных поперечных сечениях бака на его внешней поверхности.



Δ – расстояние между контрольными параметризованными сечениями

Рисунок 12 – Контрольные (параметризованные) сечения бака со световозвращающими мишенями

Каждый сегмент бака строится на основе минимум двух контрольных поперечных сечений, отстоящих на расстоянии $\Delta/2$ (м) от его торцов. В каждом контрольном сечении через равный интервал располагается не менее 12 мишеней.

Общая последовательность операций по построению трехмерной геометрической модели бака имеет следующий вид:

- производится обработка измеренных координат центров световозвращающих мишеней и формируются массивы с координатами точек внутренней поверхности бака;
- на основе полученных массивов строятся параметризованные замкнутые кривые, соответствующие поперечным сечениям внутренней поверхности обечайки бака. Необходимо использование внутренней поверхности бака в качестве базовой для модели с эквивалентной гладкой оболочкой;
- поверхность обечайки «натягивается» по построенным кривым;
- производится измерение объема по полученной модели.

Приведенные операции формирования массивов данных реализованы в пакетах MathCAD и MS Excel, а построения геометрии – в пакете ANSYS SpaceClaim. Далее к построенной внутренней поверхности бака были добавлены внутренние элементы: топливные магистрали, перегородки для формирования отсеков, дополнительное оребрение и т.д. Готовая трехмерная геометрическая модель бака, состоящая из четырех частей, показана на рисунке 13.

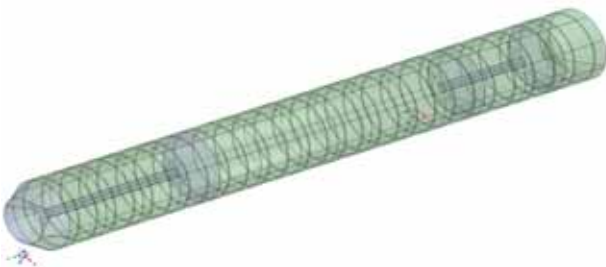


Рисунок 13 – Геометрическая параметризованная модель бака

Следует отметить, что построение геометрии может быть реализовано и в других САПР пакетах, предусматривающих импорт массивов с координатами точек и автоматизированное построение полилиний по ним.

Выводы

На основе выбранного метода схематизации в пакете ANSYS SpaceClaim разработана параметризованная трехмерная геометрическая модель бака, формируемая с использованием результатов мультисенсорных измерений его геометрии. Трёхмерная модель учитывает возможные несовершенства геометрии бака. Построение трехмерной геометрии может быть реализовано и в других САПР пакетах, предусматривающих импорт массивов с координатами точек и автоматизированное построение полилиний по ним.

Как видно из результатов расчета для повышения производительности вычислений геометрических параметров бака ракеты с использованием метода конечных элементов вафельную цилиндрическую оболочку можно схематизировать эквивалентной гладкой. При этом погрешность вычисления перемещений составит не более 2,5 %, что соответствует нормам погрешностей в инженерных расчетах и производительность увеличится в 18 раз.

Литература

1. Авдулов А.Н. Контроль и оценка круглости деталей машин. – М., Издательство стандартов, 1974. – 176 с.
2. Лин Индастриал [Электронный ресурс]. URL: <https://spacelin.ru/novosti/gidravlicheskie-ispytaniya-stenda-dlya-zhrd/> (дата обращения: 20.05.2025).
3. Высшая математика: Учеб. для вузов: В 3 т. / Я. С. Бугров, С. М. Никольский; Под ред. В. А. Садовниченко. – 6-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2004. – (Высшее образование: Современный учебник).
4. В.Т. Лизин, В.А. Пяткин «Проектирование тонкостенных конструкций» - 4, изд., перераб. и доп. - Москва: Машиностроение, 2003. - 447, [1] с.: ил.; 22 см - (Для вузов:В); ISBN 5-217-03209-X:1500
5. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов. – 10-е издание, перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1999. – 592 с.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Журнал «Вестник метролога» издается и распространяется на русском языке с 2005 года.

В журнале «Вестник метролога» публикуются научные статьи по всем разделам метрологии. К публикации принимаются законченные оригинальные работы по фундаментальным исследованиям в области метрологии; научные статьи, содержащие новые экспериментальные результаты; методические работы, включающие описание новых методик измерений; материалы теоретического характера с изложением новых принципов, подходов к обеспечению единства и точности измерений и др. Статья должна содержать четкую постановку задачи и выводы с указанием области применения результатов.

Направляя свою статью в журнал, автор подтверждает, что присланный в редакцию материал ранее нигде не был опубликован (за исключением статей, представленных на научных конференциях, но не опубликованных в полном объеме, а также тех, которые приняты к публикации в виде материалов научной конференции, обычно в форме тезисов, части лекции, обзора или диссертации) и не находится на рассмотрении в других изданиях.

Автор дает согласие на издание статьи на русском языке в журнале «Вестник метролога». При согласовании отредактированной статьи автор должен сообщить в редакцию по электронной почте о согласии на публикацию на русском языке.

Подавая статью, автор должен ставить в известность редактора о всех предыдущих публикациях этой статьи, которые могут рассматриваться как множественные или дублирующие публикации той же самой или близкой по смыслу работы. Автор должен уведомить редактора о том, содержит ли статья уже опубликованные материалы. В таком случае в новой статье должны присутствовать ссылки на предыдущую публикацию.

Все представленные статьи рецензируются. Датой принятия статьи считается дата получения положительной рецензии.

При разногласиях между автором и рецензентами окончательное решение о целесообразности публикации статьи принимает редакционный совет журнала. В случае отклонения статьи редакционным советом дальнейшая переписка с автором прекращается.

Авторам, гражданам России, следует представить экспертное заключение о том, что работа может быть опубликована в открытой печати. Экспертное заключение может быть прислано в печатном виде или по электронной почте в сканированном виде.

Публикация статей в журнале осуществляется бесплатно.

Отски опубликованных статей авторам не высылаются.

Статьи в редакцию следует представлять в напечатанном виде в 2-х экземплярах с приложением электронного носителя CD-R/CD-RW или присылать по электронной почте. Все файлы должны быть проверены антивирусной программой!

Объем статьи, включая аннотации на русском и английском языках, таблицы, подписи к рисункам, библиографический список, **не должен превышать 15 машинописных страниц**, количество рисунков – не более 4-х (рисунки а, б считаются как два).

Аннотация должна быть краткой, не более 10 строк (до 250 слов), коротко и ясно описывать основные результаты работы. Ключевых слов – не более 7.

Название статьи, фамилии авторов и место работы, аннотация и ключевые слова должны быть приведены на русском и английском языках.

Материал статьи – текст, включая аннотации на русском и английском языках, список литературы, подписи к рисункам и таблицы, оформляются одним файлом, графические материалы – отдельными файлами с соответствующей нумерацией (рисунок 1, рисунок 2 и т. д.).

Статья должна содержать УДК.

Статья должна быть подписана автором (авторами) с указанием фамилии, имени и отчества полностью, ученой степени, ученого звания, места работы, контактных телефонов, электронного адреса.

При подготовке материалов должны быть использованы следующие компьютерные программы и нормативные документы.

Текстовый материал должен быть набран в Microsoft Office Word 2007 (или более поздние версии); шрифт основного текста Times New Roman, размер шрифта – 14, межстрочный интервал – полупетельный, выравнивание по ширине; параметры страницы – верхнее поле 2,3 см, нижнее 2,3 см, левое 3,9 см, правое 1,5 см; для оформления текста можно использовать курсив или полужирный.

Статьи присылать с минимумом форматирования, не использовать стили и шаблоны.

Все условные обозначения, приведенные на рисунках, необходимо пояснить в основном или подрисуночных текстах. Размер рисунка не должен превышать 14×20 см.

Формулы должны быть набраны в MS Word с помощью над- и подстрочных знаков, специальных символов или в программе MathType (версия 4.0 и выше). Показатели степеней и индексы должны быть набраны выше или ниже строки буквенных обозначений, к которым они относятся: K^{12} , A^3 , B_2 .

Формулы должны быть единообразными и целыми, т. е. недопустимо величины в одной формуле набирать в разных программах.

После формулы должна быть приведена расшифровка (расшифровка всех приведенных буквенных обозначений величин). Последовательность расшифровки буквенных обозначений должна соответствовать последовательности расположения этих обозначений в формуле.

Нумеровать следует только наиболее важные формулы, на которые есть ссылка в последующем тексте.

Таблицы (и ссылки на них) должны иметь последовательные порядковые номера и заголовки.

Единицы измерений и буквенные обозначения физических величин должны отвечать требованиям ГОСТ 8.417–2002 «ГСИ. Единицы величин», а термины – требованиям соответствующих государственных стандартов.

В библиографических ссылках фамилии авторов и названия журналов и книг следует указывать в оригинальной транскрипции. Ссылки дают в соответствии с ГОСТ 7.0.5–2008 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

Для книг указывают фамилию и инициалы автора, заглавие, том (часть, выпуск), место, название издательства, год издания. Для журнальных статей – фамилию и инициалы автора, названия статьи и журнала, год издания, том или часть, номер (выпуск), страницы.

Ссылки в тексте на источники, указанные в списке используемой литературы, отмечаются цифрами в квадратных скобках, в порядке упоминания в тексте, например [1], [2–4].

В библиографическом списке должно быть указано не менее 2–3 работ, опубликованных за последние 10 лет.

NOTE AUTHORS

«Vestnik Metrologa» magazine is published and extends in Russian since 2005.

«Vestnik Metrologa» scientific articles according to all sections of metrology are published in the magazine. To the publication the finished original operations on basic researches in the field of metrology are accepted; the scientific articles containing new experimental results; the methodical operations including the description of new techniques of execution of measurements; materials of theoretical character with presentation of the new principles, approaches to support of unity and accuracy of measurements, etc. Article shall contain accurate problem definition and outputs with specifying of a scope of results.

Sending the article to log, the author confirms that the material sent to edition wasn't published earlier anywhere (except for the articles provided at scientific conferences, but not published in full and also those which are accepted to the publication in the form of materials of a scientific conference is normal in the form of theses, a part of a lecture, the review or the thesis) and isn't under consideration in other issuings.

The author agrees to issuing of article in Russian in Bulletin of the Metrologist log. In case of coordination of the edited article the author shall report in edition by e-mail about a consent to the publication in Russian.

Submitting article, the author shall inform the editor of all previous publications of this article which can be considered as multiple or duplicating the same publication or faithful operation. The author shall notify the editor on whether article contains already published materials. In that case at new article there shall be links to the previous publication.

All provided articles are reviewed. The date of receipt of the positive review is considered acceptance date of article.

In case of disagreements between the author and reviewers the final decision on feasibility of the publication of article is made by editorial council of log. **In case of a rejection of article by editorial council further correspondence with the author stops.**

To authors, citizens of Russia, it is necessary to provide the expert opinion that operation can be published in the open printing. The expert opinion can be sent in printed form or by e-mail in the scanned look.

The publication of articles in log is carried out free of charge.

Prints of the published articles aren't sent to authors.

2. Articles in edition should be presented in the printed form in duplicate with application of the CD-R/CD-RW electronic medium or to send by e-mail. All files shall be checked by the anti-virus program!

Article volume, including summaries in the Russian and English languages, tables, signatures to figures, the bibliography, shan't exceed 15 typewritten pages, quantity of figures – no more than 4 (figures and, would be considered as two). The summary shall be short, no more than 10 lines (to 250 words), shortly and it is clear to describe the main results of operation. Keywords – no more than 7.

The name of article, surname of authors and the place of operation, the summary and keywords shall be given in the Russian and English languages. Article material – the text, including summaries in the Russian and English languages, the list of references, signatures to figures and tables, are made out by one file, graphic materials – separate files with the appropriate numbering (fig. 1, fig. 2 etc.).

Article shall contain UDC (Universal Decimal Classification). Article shall be signed by the author (authors) with specifying of a surname, name and middle name completely, an academic degree, an academic status, the place of operation, contact phones, the e-mail address.

3. By preparation of materials the following computer programs and normative documents shall be used.

Text material shall be collected in Microsoft Office Word 2007 (or later versions); a font of the body text Times New Roman, type size – 14, line spacing – one-and-a-half, alignment on width; page setup – a top margin of 2,3 cm, the lower 2,3 cm, the left 3,9 cm, the right 1,5 cm; for design of the text it is possible to use italic type or bold.

To send articles with a formatting minimum, not to use styles and templates.

All reference designations given on figures need to be explained in the main or captions. The size of a figure shan't exceed 14×20 of cm.

Formulas shall be collected in MS Word with the help over – and subscript signs, special characters or in the MathType program (version 4.0 above). Indices of levels and indexes shall be collected above or lines of letter symbols which they treat are lower: K^{12} , A^3 , B_2 or lines of letter symbols to which they belong are lower: K^{12} , A^3 , B_2 .

Formulas shall be uniform and whole, i.e. inadmissibly gain values in one formula in different programs. After a formula the explication (decryption of all given letter symbols of values) shall be given. The sequence of decryption of letter symbols shall correspond to the sequence of layout of these designations in a formula.

It is necessary to number only the most important formulas on which there is a link in the subsequent text.

Tables (and references to them) shall have sequential sequence numbers and titles.

Units of measurements and letter symbols of physical quantities shall meet the requirements of GOST 8.417-2002 “GSI. Units of values”, and terms – to requirements of the appropriate state standards.

In bibliographic links of a surname of authors and names of logs and books it is necessary to specify in an original transcription. References are given according to GOST 7.0.5-2008 “System of standards according to information, library and to publishing. Bibliographic link. General requirements and rules of compilation”.

For books specify a surname and the author's initials, the title, volume (a part, release), the place, the name of publishing house, year of issuing. For journal articles – a surname and initials of the author, the name of article and log, year of issuing, volume or a part, number (release), pages.

Links in the text to the sources specified in the list of the used literature are marked by digits in square brackets, as mentioning in the text, for example [1], [2-4].

In the bibliography at least 2-3 operations published over the last 10 years shall be specified.

Tables (and references to them) shall have sequential sequence numbers and titles.

Units of measurements and letter symbols of physical quantities shall meet the requirements of GOST 8.417-2002 “GSI. Units of values”, and terms – to requirements of the appropriate state standards.

In bibliographic links of a surname of authors and names of logs and books it is necessary to specify in an original transcription. References are given according to GOST 7.0.5-2008 “System of standards according to information, library and to publishing. Bibliographic link. General requirements and rules of compilation”.

For books specify a surname and the author's initials, the title, volume (a part, release), the place, the name of publishing house, year of issuing. For journal articles – a surname and initials of the author, the name of article and log, year of issuing, volume or a part, number (release), pages.

Links in the text to the sources specified in the list of the used literature are marked by digits in square brackets, as mentioning in the text, for example [1], [2-4]. In the bibliography at least 2-3 operations published over the last 10 years shall be specified.

Прейскурант на 2026 год

Наименование	Периодичность издания	Цена за 1 номер (руб.) с НДС
Журнал «Вестник метролога»	4 раза в год	1 250,00
«Вестник метролога» по подписке	4 раза в год	1 250,00
Журнал «Альманах современной метрологии»	4 раза в год	1 600,00

Расценки на размещение рекламы в журнале «Вестник метролога»

Формат модулей (стр.)	Расположение в номере	Цена (руб.) черно-белой полосы	Цена (руб.) цветной полосы
1	Обложка - 2 страница	17 000	18 500
1	Обложка - 3 страница	16 000	17 000
1	Обложка - 4 страница	16 000	17 000
1	Внутренний блок	16 000	17 000
1/2	Внутренний блок	8 000	8 500
1/3	Внутренний блок	5 500	6 000
1/4	Внутренний блок	4 000	4 500

ПОДПИСКА

Принимается подписка на ежеквартальный журнал «Вестник метролога»

Читатели могут оформить подписку
п/о Менделеево, Солнечногорский район,
Московская область, 141570;
E-mail: zhamkova@vniiftri.ru
(тел. +7(495)526-63-44 / доб 81-12)
Индекс – 45112 по Объединенному каталогу
«Пресса России»
<http://www.ppressa-rf.ru/cat/1/edition/e45112/>

