

ВМ 1/2026 (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. Вышлов, 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. Щипунов, 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

Тел./факс +7999989015; +79857656675.
E-mail: 32gnii_vm@mail.ru

Отпечатано ООО «ПРИНТ»
Юридический адрес: 125413, Россия,
г. Ижевск, ул. Тимирязева, 5.

Сдано в набор 15.01.2026
Подписано в печать 13.02.2026
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

Общие вопросы метрологии

- Мамлеев Т.Ф., к.т.н., Щеглов В.А.,
ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России
Особенности нормативного правового регулирования
технических систем и устройств с измерительными
функциями, являющихся изделиями вооружения и военной
техники, применяемыми в области обороны государства. 3
- Супрунюк В.В., д.т.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России
Измерительные системы с цифровым представлением
информации и возможные способы их поверки
на месте установки 7
- Клеопин А.В., к.т.н., ФГУП «ВНИИФТРИ»,
Фуфаев С.А., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России,
Апрелева М.А., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России,
Модернизация вторичного эталона единицы импульсного
электрического напряжения. 13
- Денисов И. Г., Косковский С.В., Курт В. И., д.т.н.,
Фатыхова Р.А., АО «НПО «Государственный институт
прикладной оптики», г. Казань
Модифицированные функции передачи модуляции,
моделирование и экспериментальные результаты,
цифровые ОЭС. 17
- Шпилевский О.Б., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России,
Руденкова Е. Г., к.т.н., доцент, ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России,
Надеина О.В., к.п.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России
Итоги российско-китайского сотрудничества в области
стандартизации, метрологии и сертификации в 2025 году 24

Радиоэлектронные измерения

- Григорьев А.С., Казанцев А.А., к.т.н.,
Протасова А.В., Самородов В.А.,
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского,
Санкт-Петербург, Россия
Методика оценивания минимальной разрешающей
способности и пределов погрешности определения координат
центров рассеяния радиолокационных измерительных
комплексов 27

Страницы истории

- Рудаков А.И. 34

К сведению авторов 37

Новинки измерительной техники (ОБЛОЖКА)

VM 1/2026

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 Head of Department State Policy Department in the sphere of technical regulation, standardisation and ensuring the uniformity measurements.

E.R. Lazarenko, Deputy Head Federal agency on technical regulating and metrology.

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, Mytishi Moscow obl., Olympic avenue, possession 13, construction 1, of. 307

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

telephone/fax +7999989015; +79857656675
E-mail:32gniii_vm@mail.ru

It is Printed by OOO «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**Common questions of a metrology**

- Mamleev T.F., c.t.s., Shcheglov V.A., FSBI «MSHC» of Russia Federation Ministry of Defense of Russia*
Particularities of the normative legal regulation of the technical systems and device with measuring function, being product of the arms and military technology, applicable state in the field of defence 3
- Suprunyuk V.V., Doctor of Technical Sciences, FSBI «MSHC» of the Ministry of Defense of Russia*
Measuring systems with digital representation of information and possible ways to verify them at the installation site 7
- Kleopin A.V., c.t.s., FSUE «VNIIFTRI», Fufaev S.A., FSBI «MSHC» of Russian Federation Ministry of Defense, Apreleva M.A., FSBI «MSHC» of Russian Federation Ministry of Defense,*
Modernization of the secondary standard of the impulse electric voltage unit 13
- Denisov I.G., Koskovskiy S.V., Kurt V. I., Doctor of Engineering Sciences, Fatyhova R.A., JSC «SPA «State Institute of Applied Optics», Kazan*
Modified functions of the issue to inflexions, modeling and experimental results, digital OES 17
- Shpilevskiy O.B., FSBI «MSHC» of the Ministry of Defense of the Russian Federation,*
Rudenkova E.G., c.t.s., FSBI «MSHC» of the Ministry of Defense of the Russian Federation,
Nadeina O.V., c.t.s., FSBI «MSHC» of the Ministry of Defense of the Russian Federation
Results of russian-chinese cooperation in the field of standardization, metrology and certification in 2025 24

Radioelectronic measurements

- Grigoriev A.C., Kazancev A.A., c.t.s., Protasova A.V., Samorodov B.A., Military-cosmic academy of the name A.F. MOZHAYSKOGO, SAINT PETERSBURG, Russia*
The method of evaluation resolution and scattering centers coordinates determination precision for radar test ranges

The Pages to histories

- Rudakov A.I. 27

INFORMATION 34**NOTE AUTHORS 37**

**ОСОБЕННОСТИ НОРМАТИВНОГО ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И УСТРОЙСТВ
С ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ ФУНКЦИЯМИ, ЯВЛЯЮЩИХСЯ ИЗДЕЛИЯМИ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ,
ПРИМЕНЯЕМЫМИ В ОБЛАСТИ ОБОРОНЫ ГОСУДАРСТВА**
**PARTICULARITIES OF THE NORMATIVE LEGAL REGULATION OF THE TECHNICAL SYSTEMS AND DEVICE WITH
MEASURING FUNCTION, BEING PRODUCT OF THE ARMS AND MILITARY TECHNOLOGY, APPLICABLE STATE IN THE
FIELD OF DEFENCE**

*Мамлеев Т.Ф., к.т.н., Щеглов В.А.,
ФГБУ «ГНМИЦ» Минобороны России
Mamleev T.F., c.t.s., Shcheglov V.A.,
FSBI «MSHC» of Russia Federation Ministry of Defense
E-mail: 32gnii@mil.ru,
tel.+7 (495) 586-23-88*

Аннотация. В статье излагаются основные результаты анализа содержания закона [1] и Порядка, утвержденного приказом [2], а также проекта закона [3] о внесении изменений в закон [1] (далее – Проект) в части основных понятий и нормативного правового регулирования технических систем и устройств с измерительными функциями (далее – ТСУИФ), подготовленного Минпромторгом России и Росстандартом. Сформулированы особенности нормативного правового регулирования ТСУИФ, являющихся изделиями вооружения и военной техники (далее – ВВТ). Делаются выводы о невозможности распространения на такие изделия этого Проекта.

Abstract. In article are stated main results of the analysis of the contents of the law [1] and Order, confirmed by order [2], as well as project of the law [3] about contributing the changes to law [1] (hereinafter – a Project) in a part main notion and normative legal regulation of the technical systems and device with measuring function (hereinafter – TSUIF), prepared Minpromtorgom Russia and Rosstandartom. The Worded particularities of the normative legal regulation TSUIF, being product of the arms and military technology (hereinafter – VVT). The findings are Done about impossibility of the spreading on such products of this Project.

Ключевые слова: технические слова и устройства с измерительными функциями, измерительная функция, нормативное правовое регулирование, обязательные требования, оценка соответствия.

Keywords: technical words and device with measuring function, measuring function, normative legal regulation, obligatory requirements, estimation of the correspondence to

В соответствии с законом [1] (пункт 23 статьи 2): «технические системы и устройства с измерительными функциями – это технические средства, которые наряду с их основными функциями выполняют измерительные функции (необходимые для качества реализации основных)»

Статьей 10 этого закона установлено, что обязательные требования к ТСУИФ, а также формы оценки их соответствия устанавливаются законодательством Российской Федерации (далее – РФ) о техническом регулировании. Понятие «измерительная функция» в законе [1] не определено.

В существующем виде статья 10 закона [1] должна быть исключена, так как понятие «измерительная функция» не определено, а ТСУИФ регулируется только законодательством РФ о техническом регулировании. Попытки определить приказом [2] Порядок

отнесения технических средств к ТСУИФ и принять 2 национальных стандарта [4] и [5] системы ГСИ, устанавливающих требования к таким системам и формы оценки их соответствия этим требованиям, успеха не имели, так как не соответствовали законодательству РФ об обеспечении единства измерений (далее – ОЕИ) и не смогли однозначно определить содержание понятия «измерительная функция» и необходимость его введения.

Подготовленный Минпромторгом России и Росстандартом проект закона [3] о внесении изменений в закон [1] размещен на сайте regulation.gov.ru для общественного обсуждения, расширяет действие статьи 10 закона [1] о ТСУИФ, регулируемых законодательством РФ о техническом регулировании, распространяя на них все положения Федерального закона об ОЕИ, значительно усложняя и удорожая государственное регулирование ОЕИ в РФ.

Для этого проект предусматривает внесение следующих изменений в закон [1]:

- отнесение измерений, реализующих измерительные функции в ТСУИФ в областях деятельности, перечисленных в части 3 статьи 1 этого закона, к сфере государственного регулирования ОЕИ;

- утверждение Правительством РФ перечня федеральных органов исполнительной власти (далее – ФОИВ), в сферу ведения которых входят технические устройства, отнесенные в установленном им порядке к ТСУИФ;

- установление обязательных требований, включая обязательные метрологические требования, к ТСУИФ, а также форм оценки их соответствия указанным требованиям;

- оценку соответствия ТСУИФ обязательным метрологическим требованиям в форме их первичной и периодической аттестаций, включение в статью 11 закона этой новой формы государственного регулирования обеспечения единства измерений (далее – ОЕИ);

- допуск к применению в системе государственного регулирования ОЕИ только ТСУИФ, соответствующих обязательным метрологическим требованиям, подтвержденным аттестацией;

- аттестацию ТСУИФ государственными метрологическими институтами и государственными региональными центрами метрологии, уполномоченными Росстандартом, без их аккредитации в национальной системе аккредитации (далее – НСА), а также юридическими лицами, аккредитованными в соответствии с законодательством об аккредитации в НСА, для чего в закон [6] должны быть внесены соответствующие изменения:

- утверждение Росстандартом результатов первичной аттестации ТСУИФ, с установлением методик аттестации и периодичности аттестации;

- утверждение Минпромторгом России порядка их аттестации, требований к методикам аттестации, их содержанию и оформлению;

- внесение результатов аттестации ТСУИФ в Федеральный информационный фонд по ОЕИ и распространение на них Федерального государственного метрологического контроля (надзора).

Статья 2 закона [1] дополняется Проектом следующими понятиями и их определениями:

- **измерительная функция** – функция, обеспечивающая получение результата измерений;

Справочно: после этого определения по-прежнему остается неизвестным – зачем это новое понятие включено в закон об обеспечении единства измерений, в полной мере регулирующих измерения, выполняющие их средства измерений и ОЕИ, точности, достоверности и сопоставимости результатов измерений.

- **техническая система и устройство с измерительной функцией** – техническая система и устройство, которое наряду с основными функциями выполняет измерительные функции, необходимые для реализации основных функций (и обеспечения качества их выполнения);

- **аттестация ТСУИФ** – теоретические и (или) экспериментальные исследования ТСУИФ и подтверждение их соответствия установленным обязательным требованиям, включая обязательные метрологические требования.

Проведенный авторами статьи системный анализ содержания Проекта и проблем его распространения на изделия ВВТ, являющиеся ТСУИФ, показал следующее:

1. В соответствии с определением понятия ТСУИФ большинство изделий ВВТ относится к категории технических средств со встроенными в них средствами измерений, обеспечивающими необходимое качество выполнения основных функций, определяющих боеготовность ВВТ и эффективность их боевого применения.

2. Регулировка измерительных функций, выполняемых встроенными в ВВТ средствами измерений, не отнесенными в установленном порядке к сфере государственного регулирования ОЕИ, осуществляется и оценивается по качеству выполнения их основных функций. Такая регулировка находится в ведении и области ответственности Минобороны России и других федеральных органов и государственных корпораций, осуществляющих деятельность в области обороны, а не Минпромторга России и Росстандарта.

3. Распространение Проектом на изделия ВВТ, являющиеся ТСУИФ, обязательных ме-

трологических требований, относящих их к сфере государственного регулирования ОЕИ, и подтверждения их выполнения введением еще одной формы этого регулирования – первичной и периодической аттестации ВВТ, регистрация аттестованных ВВТ в Федеральном информационном фонде ОЕИ и установление за ними Федерального государственного метрологического контроля (надзора):

- нарушает пункт 7 Положения, утвержденного постановлением [7], где на ТСУИФ распространяются только обязательные (не метрологические) требования, и Положение, утвержденное постановлением [8], определившее систему установления обязательных требований к ВВТ (в том числе относящихся к ТСУИФ) и формы оценки их выполнения в виде измерений, испытаний и контроля качества, основанного на них, а не аттестацию;

- не соответствует компетентности и полномочиям Минпромторга России, Росстандарта и находящихся в их ведении государственных структур;

- ничем не обосновано, кроме нескольких неочевидных примеров в пояснительной записке;

- отсутствует в мировой метрологической практике;

- увеличивает на 30 % количество объектов, регулируемых законом [1], добавляя к измерениям и средствам измерений еще и многочисленные ТСУИФ;

- предполагает установление множества новых процедур, существенно усложняющих и удорожающих действующее метрологическое законодательство, когда количество обязательных нормативных правовых актов в нем может превысить 60 и более наименований;

- несет большие риски разглашения гостайны, срыва качества и сроков выполнения государственного оборонного заказа, снижение уровня боевой готовности и эффективности боевого применения изделий ВВТ, недопустимых в условиях проведения специальной военной операции и военных угроз Запада.

Если в Проекте измерительная функция определена как «функция, обеспечивающая получение результата измерений» параметров ВВТ и к измерениям установлены обязательные метро-

логические требования, то она в полной мере регулируется действующим Федеральным законом без внесения в него Проектом многочисленных изменений и не требует введения понятия «измерительная функция».

Остальная часть измерений, к которым обязательные требования (не являющиеся метрологическими) устанавливаются Минобороны России и другими ФОИВ, уполномоченными в области обороны государства, в соответствии с законодательством РФ о техническом регулировании может относиться к «измерительной функции», регулируемой по качеству выполнения основной функции ВВТ.

В этом случае основные понятия и их содержание для ВВТ, отнесенных к ТСУИФ, имеют вид:

а) ТСУИФ – изделие ВВТ, которое наряду с основными функциями, определяемыми его назначением, выполняет измерительные функции, обеспечивающие необходимое качество основных;

б) измерительная функция – функция, реализуемая встроенными в ВВТ средствами измерений, выполняющими измерения, к которым отсутствуют обязательные метрологические требования, относящие их к сфере государственного регулирования ОЕИ;

в) отнесение изделий ВВТ к ТСУИФ осуществляется в порядке, установленном ФОИВ, уполномоченными в области обороны государства, в соответствии с определением понятия «измерительная функция»;

г) оценка соответствия таких изделий обязательным требованиям выполняется в порядке, установленном законодательством РФ о техническом регулировании, с использованием измерений и средств измерений военного назначения утвержденного типа в процессе технического обслуживания, контроля технического состояния и применения по правилам, определенным эксплуатационной документацией и нормативными правовыми актами ФОИВ.

Приведенные формулировки в области ТСУИФ, к которым относятся ВВТ, соответствуют пункту 7 Положения, утвержденного постановлением [7] и законодательству РФ о техническом регулировании, наделившему ФОИВ в области обороны и безопасности государства полномочиями по установлению обязательных

требований, и постановлению [8], установившему систему оценки соответствия ВВТ обязательным требованиям, основанную на измерениях и испытаниях.

Такое понимание измерительной функции через обеспечение качества выполнения основной функции реализовано в проекте окончательной редакции Руководства по метрологическому обеспечению Вооруженных Сил Российской Федерации, внедрено и успешно применяется в войсках (силах).

В заключение:

1. Как показал выполненный системный анализ предусмотренное Проектом дальнейшее усложнение действующего законодательства РФ об ОЕИ с распространением его на ТСУИФ, к которым относится большинство изделий ВВТ, не может быть одобрено и принято для области обороны, так как не соответствует основным нормативным правовым актам РФ [7] и [8], устанавливающим особенности ОЕИ и технического регулирования в области обороны, создаст повышенные риски утраты гостайны, срыва выполнения государственного оборонного заказа и снижения боеготовности и эффективности изделий ВВТ.

2. Учитывая вышеперечисленное предлагается:

а) исключить из Федерального закона № 102-ФЗ статью 10, определяемую только законодательством РФ о техническом регулировании, вместо распространения на нее многочисленных процедур этого закона, неоправданно усложняющих и без того сложное метрологическое законодательство;

б) или внести в статью 10 в редакции Проекта информацию о том, что она не распространяется на область обороны государства и выполнение государственного оборонного заказа.

Литература:

1. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
2. Порядок отнесения технических средств к техническим системам и устройствам с измерительными функциями, утвержденный приказом Минпромторга России от 15.12.2015 № 4092.
3. Проект Федерального закона «О внесении изменений в Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
4. ГОСТ Р 8.678–2009. Национальный стандарт Российской Федерации. Государственная система обеспечения единства измерений. Формы оценки соответствия технических систем и устройств с измерительными функциями установленным требованиям.
5. ГОСТ Р 8.674–2009. Национальный стандарт Российской Федерации. Государственная система обеспечения единства измерений. Общие требования к средствам измерений и техническим системам и устройствам с измерительными функциями.
6. Федеральный закон от 28.12.2013 № 412-ФЗ «Об аккредитации в национальной системе аккредитации».
7. Положение об особенностях обеспечения единства измерений при осуществлении деятельности в области обороны и безопасности Российской Федерации, утвержденное постановлением Правительства РФ от 02.10.2009 № 780.
8. Положение об особенностях оценки соответствия оборонной продукции (работ, услуг), поставляемой по государственному оборонному заказу..., утвержденное постановлением Правительства РФ от 11.10.2012 № 1036.

**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ С ЦИФРОВЫМ ПРЕДСТАВЛЕНИЕМ ИНФОРМАЦИИ
И ВОЗМОЖНЫЕ СПОСОБЫ ИХ ПОВЕРКИ НА МЕСТЕ УСТАНОВКИ**
**MEASURING SYSTEMS WITH DIGITAL REPRESENTATION OF INFORMATION
AND POSSIBLE WAYS TO VERIFY THEM AT THE INSTALLATION SITE**

Супрунюк В.В., д.т.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России
Suprunyuk V.V., Doctor of Technical Sciences,
FSBI «MSHC» of the Ministry of Defense of Russia
e-mail: 3260vvs@mail.ru
тел. 8(916)040-79-04

Аннотация. Представлены обобщенные сведения по измерительным системам с цифровым представлением информации, раскрывающие существо использования цифровой трансформации измерительной информации с целью её передачи, обработки, хранения и применения при поверке измерительных систем на месте установки.

Abstract. The article presents generalized information on measuring systems with digital representation of information, revealing the essence of the use of digital transformation of measuring information for the purpose of its transmission, processing, storage and application in the verification of measuring systems at the installation site.

Ключевые слова: измерительные системы, цифровое представление информации, измерительная информация, способы поверки.

Keywords: measuring systems, digital representation of information, measuring information, verification methods.

В измерительных системах с цифровым представлением информации (далее по тексту – ИС) для измерения физических параметров используют первичные измерительные преобразователи (ПИП), которые на выходе имеют электрические сигналы – ток, напряжение, частоту следования сигналов. Эти сигналы с помощью аналого-цифровых преобразователей (АЦП) оцифровывают и формируют цифровые каналы передачи и обработки измерительной информации ИС.

Информационный обмен в таких ИС с цифровым представлением измерительной информации может включать следующие этапы:

- подготовку электрического сигнала, его усиление, согласование или фильтрацию;
- непосредственно аналого-цифровое преобразование электрического сигнала в цифровой код;
- информация от ПИП ИС компонуется в общий информационный поток для передачи, обработки и хранения;
- в процессе формирования общего информационного потока и передачи измерительной информации могут быть использованы методы кодирования и сжатия данных.

Построение ИС можно представить следующей логической схемой представления измерительной информации [2,3].

Измерительный датчик ПИП физическую величину (физическое воздействие) x_1 на его чувствительный элемент преобразует в аналоговый сигнал $f(x_1)$ (как правило, в форме электрического сигнала), который может быть усилен либо трансформирован фильтрацией $F(x_1)$ и посредством аналого-цифрового преобразователя (АЦП) представлен цифровой измерительной информацией $F(X_1)$, т. е. множеством кодовых сообщений. Принимаем, что это цифровой сигнал, в котором содержится измерительная информация о физической величине x_1 , принимает дискретный формат отображения изменения амплитуды сигнала по времени. Каждое сообщение X_1 представляется конкретной реализацией некоторого случайного процесса, описывающего процедуру преобразования физической величины x_1 сообщением $F(X_1)$. Каждому сообщению соответствует вероятность $P(X_1)$. Распределение вероятностей случайного процесса задается совокупным распределением вероятностей случайных величин, т.е. множеством априорных вероятностей $P_n = \{P(X_1), P(X_2), \dots, P(X_n)\}$, причем $\sum P(X_i) = 1$. Каждое сообщение $F(X_1) = X_1^*$ несет информацию, численно равную мере неопределенности (энтропии) конкретной реализации случайного процесса, описывающего работу ее источника. Источник информации можно представить как случайный процесс, конкрет-

ная реализация которого представляется в виде некоторого информационного события X_1^{**} . Если в единицу времени источник формирует информационное событие X_1^{**} из множества X_n^{**} , то мера информации, порождаемая источником за ту же единицу времени, задается функцией вида $H(X_n^{**}) = -\sum P(X_n^{**}) \log(P(X_n^{**}))$, где основание логарифма задает единицу измерения информации. Для данного случая будем рассматривать битовое (двоичное) исчисление, т. е. энтропию множества вероятностей появления событий $\{P(X_1^{**}), P(X_2^{**}), \dots, P(X_n^{**})\}$. Максимальное значение энтропии источника достигается при равнове-

роятном появлении сообщений из множества. Тогда $P(X_1^{**}) = 1/n$ и получаем:

$$H_{\max}(X_n^{**}) = \log(n). \quad (1)$$

Выражение (1) показывает максимальную энтропию источника и соответствует относительной энтропии источника. Относительная энтропия источника считается величиной максимального сжатия кодового (цифрового) представления измерительной информации, которое можно достичь при битовом исчислении. Единица минус относительная энтропия есть информационная избыточность:

$$\delta = 1 - H(X_n^{**})/H_{\max}(X_n^{**}) = 1 - \{-\sum P(X_n^{**}) \log(P(X_n^{**}))/\log(n)\}. \quad (2)$$

Традиционное аналоговое представление сигналов основано на подобии (аналогичности) сигналов, представленным ими исходным физическим воздействиям, а также подобии форм сигналов в различных точках передающего тракта. Форма аналоговой зависимости, описывающей (переносимой) исходный сигнал, максимально приближена к форме кривой этого сигнала. Такое представление наиболее точное для аналогового сигнала. Малейшее искажение формы несущего электрического сигнала неизбежно повлечет за собой искажение формы переносимого сигнала. В терминах теории информации [2] количество информации в несущем сигнале в точности равно количеству информации в сигнале исходном, и его представление не содержит информационной избыточности, которая могла бы способствовать защитить переносимый сигнал от искажений (ошибок) при передаче, обработке и хранении.

Цифровое представление аналоговых сигналов, в частности, электрических, призвано внести в них информационную избыточность по выражению (2), которая позволит предохранить необходимый сигнал от возмущающих воздействий (шума, помех). В цифровом представлении информации на несущий сигнал накладываются серьезные ограничения – его амплитуда может принимать только два предельных значения – ноль и единицу (отрицательный и положительный потенциал для АЦП), если рассматривать двоичные исчисления. Вся зона возможных амплитуд исходного сигнала, как показывает практика, может быть разделена на три зоны: нижняя представляет нулевые значения, верхняя – единичные, а промежуточная является запрещенной, внутрь которой должны попадать только шумы и помехи. Таким образом, любой шум и помеха, амплитуды которых меньше половины амплитуды

несущего сигнала, не оказывает влияние на правильность цифрового представления информации. Шум и помехи с большей амплитудой также не оказывают влияния, если длительности возмущающего воздействия шума и помехи ощутимо меньше длительности непосредственно информационного измерительного импульса. Представляется возможным сумму возмущающих воздействий шума и помех в исходном сигнале отнести к информационным ошибкам его представления, следовательно, поместить их в разряд паразитных, которые желательно устранить, к примеру, когда будет произведена трансформация цифровой информации в части ее избыточности.

Сформированный таким образом цифровой информационный сигнал может переносить полезную измерительную информацию, которая сформирована в виде последовательности битов – нулей и единиц, компоновка вероятностных событий. Здесь количество измерительной информации в несущем цифровом сигнале значительно больше, нежели в кодированном исходном, так что несущий сигнал имеет определенную избыточность относительно исходного, и любые искажения формы кривой несущего сигнала, при которых еще сохраняется способность устройства обработки информации (приемника) правильно различать нули и единицы (события), не влияют на достоверность передаваемой этим сигналом измерительной информации. Необходимо отметить, что в случае воздействия значительных возмущающих воздействий форма сигнала может искажаться настолько, что точное представление переносимой информации становится невозможной – в ней появляются значительные по величине ошибки, которые при простом способе представления цифровой информации приемник не сможет распознать (сбой).

Для повышения устойчивости и стойкости цифрового представления к шумам и помехам может применяться цифровое избыточное кодирование двух типов: проверочные (EDC – Error Detection Code, обнаруживающий ошибку код) и корректирующие (ECC – Error Correction Code, исправляющий ошибку код) коды. Цифровое кодирование состоит в простом добавлении к исходной информации дополнительных битов и/или преобразовании исходной битовой цепочки в цепочку большей длины и другой структуры. EDC позволяет просто обнаружить факт ошибки – искажение или выпадение полезной, либо появление ложной цифры, однако переносимая информация в этом случае также искажается. ECC позволяет сразу же исправлять обнаруженные ошибки, сохраняя переносимую информацию неизменной. Для удобства и надежности передаваемую информацию разбивают на блоки (кадры), каждый из которых снабжается собственным набором этих кодов.

Каждый вид EDC/ECC имеет свой предел способности обнаруживать и исправлять ошибки, за которым опять начинаются необнаруженные ошибки и искажения переносимой информации. Увеличение объема EDC/ECC относительно объема исходной полезной информации в общем случае повышает обнаруживающую и корректирующую способность этих кодов.

В качестве EDC популярен циклический избыточный код CRC (Cyclic Redundancy Check), суть которого состоит в сложном перемешивании исходной информации в блоке и формировании коротких двоичных слов, разряды которых находятся в сильной перекрестной зависимости от каждого бита блока. Изменение даже одного бита в блоке вызывает значительное изменение вычисленного по нему CRC, и вероятность такого искажения битов, при котором CRC не изменится, мала даже при коротких (единицы процентов от длины блока) словах CRC. В качестве ECC используются коды Хэмминга (Hamming) и Рида-Соломона (Reed-Solomon), которые также включают в себя и функции EDC.

Информационная избыточность несущего цифрового сигнала приводит к значительному (на порядок и более) расширению полосы частот, требуемой для его успешной передачи, по сравнению с передачей исходного сигнала в аналоговой форме. Кроме собственно информационной избыточности, к расширению полосы приводит необходимость сохранения достаточно крутых фронтов цифровых импульсов. Кроме целей помехозащиты, информация в цифровом сиг-

нале может быть подвергнута также линейному или канальному кодированию, задача которого в частном случае – оптимизировать электрические параметры сигнала (полосу частот, постоянную составляющую, минимальное и максимальное количество нулевых/единичных импульсов в серии и т.п.) под характеристики реального канала передачи или записи сигнала.

Для передачи цифровой измерительной информации от ПИП ИС, физическая величина которых изменяется в частотном диапазоне, представляет интерес ее трансформация с помощью дискретно-косинусного преобразования [4], которое является разновидностью преобразования Фурье. Дискретное косинусное преобразование может позволить переходить от пространственного представления измеряемого параметра к его спектральному представлению и обратно. При этом в спектральном представлении параметра, состоящего из гармоник, отбрасывая наименее значимые из них, можно балансировать между качеством воспроизведения информации и степенью сжатия информации о параметрах. Дискретное косинусное преобразование переводит матрицу измерительной информации о параметре в матрицу частотных коэффициентов соответствующего размера. В матрице коэффициентов низкочастотные компоненты расположены ближе к левому верхнему углу, а высокочастотные – справа и внизу. Например, если представляют интерес компоненты низкочастотной информации, а высокочастотные компоненты не так важны для передачи и представления информации. Поэтому дискретное косинусное преобразование определяет, какую часть информации можно безболезненно выбросить, не внося серьезных искажений в передачу информации.

Для целей передачи цифровой информации и ее фильтрации может быть применена и теория вейвлетов (всплесков) [5], как теория эффективных алгоритмов обработки больших потоков цифровой информации. В данном случае понимают экономное (с точки зрения экономии ресурсов памяти и времени обработки) разложение потока информации на составляющие так, чтобы можно было выделить основной информационный поток, уточняющий информацию, и информационный поток с несущественной информацией. Как правило, основной информационный поток значительно менее плотный, чем исходный поток информации, поэтому его можно передать быстро, и при этом не требуется использовать линии связи с широкой полосой пропускания и с большим количеством проводников. Уточняющий информационный поток

не во всех случаях необходим, его можно передавать фрагментарно в зависимости от потребностей. Поток с несущественной информацией вообще может быть отброшен. Какая информация является основной, какая уточняющей, а какая – несущественной, определяется для каждого конкретного параметра.

Теория вейвлетов предполагает достаточно широкий арсенал средств для обработки (разложения на составляющие) интересующего потока измерительной информации. Такими средствами в теории вейвлетов являются наборы вложенных (основных) пространств функций и их представлений в виде прямой или ортогональной суммы вейвлетных пространств. Весьма важными являются базисы основных пространств, а также базисы вейвлетов. В общем случае трансформация измерительной информации производится с помощью числового потока. При этом исходный поток заменяется двумя новыми потоками (нулевой и вейвлетный), количество чисел в этих потоках совпадает с исходным потоком. Однако, если некоторые фрагменты первого потока не дают достаточной точности, то можно использовать соответствующие фрагменты (с теми же диапазонами индексов) второго потока и произвести соответствующие расчеты. Это позволяет восстановить исходный поток на соответствующих участках передаваемой измерительной информации. Последовательное добавление к нулевому потоку вейвлетных потоков приводит к последовательному уточнению результата сжатия информации вплоть до полного восстановления исходного потока.

Исходная форма любого аналогового сигнала – непрерывное изменение амплитуды во времени – представляется в цифровой форме с помощью "перекрестной дискретизации" – по времени и по уровню. Любой аналоговый сигнал в конечном счете тоже дискретен как по времени, так и по величине. Согласно теореме Котельникова, любой непрерывный процесс с ограниченным спектром может быть полностью описан дискретной последовательностью его мгновенных значений, следующих с частотой, как минимум вдвое превышающей частоту наивысшей гармоники процесса; частота F_d выборки мгновенных значений (отсчетов) называется частотой дискретизации. Из теоремы следует, что сигнал с частотой F_a может быть успешно дискретизирован по времени на частоте $2F_a$ только в том случае, если он является чистой синусоидой, ибо любое отклонение от синусоидальной формы приводит к выходу спектра за пределы частоты F_a . Таким образом, для временной дискретизации произвольно-

го сигнала (обычно имеющего, как известно, плавно спадающий спектр), необходим либо выбор частоты дискретизации с запасом, либо принудительное ограничение спектра входного сигнала ниже половины частоты дискретизации. Одновременно с временной дискретизацией выполняется амплитудная – измерение мгновенных значений амплитуды и их представление в виде числовых величин с определенной точностью (квантование).

Точность измерения (двоичная разрядность получаемого дискретного представления) определяет уровень шума, вносимого квантованием, и динамический диапазон цифрового сигнала (теоретически, для цифрового сигнала в чистом виде, это взаимно-обратные величины).

Представление аналогового сигнала в цифровом виде называется также импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ, РСМ – Pulse Code Modulation), так как сигнал представляется в виде серии импульсов постоянной частоты (временная дискретизация), амплитуда которых передается цифровым кодом (амплитудная дискретизация). РСМ-поток может быть, как параллельным, когда все биты каждого отсчета передаются одновременно по нескольким линиям с частотой дискретизации, так и последовательным, когда биты передаются друг за другом с более высокой частотой по одной линии. Временная дискретизация и амплитудное квантование сигнала неизбежно вносят в сигнал шумовые искажения.

Для улучшения соотношения сигнал/шум и снижения влияния ошибок квантования, которое в случае однобитового преобразователя получается довольно высоким, применяется метод формовки шума (Noise Shaping) через схемы обратной связи по ошибке цифрового фильтрования. В результате применения этого метода форма спектра шума меняется так, что основная шумовая энергия вытесняется в область выше половины частоты f_s , незначительная часть остается в нижней половине, и практически весь шум удаляется из полосы исходного аналогового сигнала.

В общем случае дискретное преобразование после АЦП, которое может быть расположено после ПИП или находиться в нём для любого канала ИС, можно также представить, как меру информации (2), выраженную через функционал [6]:

$$H(X_n^*) = F[\max f(x_n), t, f] \pm \Delta k, \quad (3)$$

где $F[\max f(x_n), t, f]$ – функционал дискретного преобразования сигнала, $\max f(x_n)$ – максимум сигнала в

фиксированной точке по дельта функции, t – время дискретизации (квантования) в двоичном исчислении (2^n), f – частота дискретизации, Δk – суммарная погрешность дискретного преобразования по функционалу $F[\max f(x_n), t, f]$.

Для формулы (3) имеются следующие ограничения. С учетом критерия Найквиста (теоремы Котельникова) частота квантования f должна удовлетворять условию $f > 2f_s$, где f_s – частота непрерывного аналогового электрического сигнала. При $f < 2f_s$ возникает нежелательный эффект наложения частот. Частотная зона Найквиста определяется полосой спектра от 0 до $f/2$. Попадание в эту полосу спектра обеспечивает сохранение полезной информации о сигнале. В противном случае информация о сигнале будет частично или полностью утеряна. Для правильной дискретизации необходимо применять быстрое преобразование Фурье, чтобы обеспечить на выходе цифрового преобразования части сигнала, частоты которого попадают в первую зону Найквиста, то есть в полосу от 0 до $f/2$. С этой целью в устройства дискретного преобразования вводят фильтры частот. Мера информации по преобразуемой физической величине при каждой реализации увеличивается за счет увеличения дискретных отсчетов по циклам квантования.

В формуле (3) Δk будет иметь статическую и динамическую составляющие, основная из них статическая. Статическая составляющая зависит от f и t , то есть от количества дискретных отсчетов n , следовательно, от разрешающей способности АЦП. Разрешающая способность АЦП лежит в основе его переходной характеристики. Отклонение и наклон реальной передаточной характеристики АЦП от идеальной и определит статическую составляющую погрешности Δk . Нелинейность переходной характеристики рассматривают как динамическую составляющую Δk . В итоге с целью изменения Δk в выражении (3) изменению подлежат аргументы t и f , с помощью которых можно добиться выбора рационального значения Δk .

В итоге на интервале времени наблюдения совокупность дискретных выборок по функции непрерывного аналогового сигнала можно представить в виде меры информации (3), полученной от цифрового преобразования, которое будет содержать ошибку, т.е. потерю полезной информации о сигнале. Мера информации можно выразить количественно объемом (количеством) информации. В Российской Федерации имеется специальный эталон количества информации ГЭТ 200-2023 «Государственный первичный эталон едини-

цы количества переданной (принятой) информации (данных) и единиц величин параметров пакетных сетей передачи данных», к которому целесообразно провести прослеживаемость по единицы измерений количества информации (байт).

Количество цифровой информации (цифровой эквивалент аналогового сигнала) в последствии может использоваться при проверке ИС с цифровым преобразованием информации [6]. Также количество полученной цифровой информации может быть преобразован цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП) обратно в аналоговый сигнал и сравнивается со значением первичного аналогового сигнала. По результатам сравнения судят об адекватности получаемой меры информации от цифрового представления сигнала.

Учитывая свойства цифрового представления измерительной информации в ИС, заключающиеся в исключении эффекта наложения на сигнал ложных частот (искажений) и получения более подробной и устойчивой информации о сигнале, предлагаются следующие способы проверки ИС, имеющих возможность цифрового представления измерительной информации.

Первый способ, подробно рассмотренный в работе [6], состоит в том, что сигнал после АЦП посредством обратной связи подвергается обратному преобразованию с помощью ЦАП в проверочный аналоговый сигнал. Эта процедура должна выполняться при проверке ИС (первичной), где будут использованы более точные эталонные средства, позволяющие уменьшить погрешность эталонного сигнала. Далее, учитывая погрешности применяемых АЦП и ЦАП, обеспечивается выполнение условия, что доверительный интервал погрешности воспроизводимого сигнала по цифровому его представлению будет меньше или равен доверительному интервалу погрешности сигнала от эталонных средств, применяемых при классической периодической проверке ИС. Указанным перекрытием доверительных интервалов погрешности в достаточной степени обеспечивается периодическая проверка ИС на объекте установки с возможностью использования цифровой меры информации. Эталонный аналоговый сигнал ИС с помощью АЦП оцифровывается и сохраняется в виде отдельного файла (цифровой меры информации) на отдельном жестком носителе в ИС. Сохраненный объем цифровой информации передается на ЦАП, с которого воспроизведенный аналоговый сигнал поступает на вход измерительных каналов ИС. Процедуру оцифровки повторяют. Аналоговый

сигнал на выходе ЦАП сравнивается с эталонным аналоговым сигналом, полученным от примененных эталонных средств. Сравнение может производиться по отдельному измерительному каналу или несколькими одноименными каналами. Принимается решение об адекватности воспроизведенного сигнала от цифрового преобразования эталонному сигналу от эталонных средств, который считают эквивалентным эталонному сигналу. Полученную таким образом цифровую меру информации использовать при поверке элементов ИС на объекте их установки. На ее основе воспроизводить опорный аналоговый сигнал и оценивать его погрешность. Погрешность этого сигнала должна быть меньше или равна погрешности при классической периодической поверке ИС. То есть, периодическая поверка проводилась бы на объекте установки ИС эталонными средствами при классической поверке (менее точными по сравнению с предлагаемой периодической поверкой). При такой поверке ИС "проигрываем" в применении более точных средств в стационаре и появлении погрешности от оцифровки сигнала, но "выигрываем" при поверке ИС на местах их эксплуатации без применения эталонных средств. Поверка ИС на месте установки без применения эталонных средств с точки зрения эксплуатации ИС более предпочтительна, так как отсутствует необходимость демонтажа элементов ИС и нарушения целостности сборки измерительных каналов ИС на объекте установки.

Второй способ, предлагаемый в данной статье, состоит в том, что для проведения поверки ИС будет использован оцифрованный сигнал, отображающий (повторяющий с высокой дискретизацией) идеальную форму исходного сигнала в рассматриваемом частотном диапазоне и сохраненным в памяти ИС до проведения поверки. При поверке этот цифровой сигнал вводят в измерительный канал после АЦП, наблюдают отклик на него. Затем этот же сигнал подают на ЦАП, имеющий погрешность на порядок меньшую, чем установленное в ИС АЦП. Сигнал после ЦАП запускают на вход АЦП и наблюдают отклик измерительного канала в целом. Предполагается, что возможная разница в рассматриваемых откликах должна быть близка к установленной погрешности применяемого в канале ИС АЦП, выраженной в количестве потерянной информации на цифровом преобразовании. Также должны быть дополнительно сравнены отклики измерительного канала ИС от непосредственного исходного сигнала в процессе работы ПИП (средняя выборка из накопленной за время функционирования ПИП

информации). В данном случае возможная разница в таких откликах должна увеличиться не более чем на установленную погрешность ПИП. Необходимое требование по прослеживаемости к эталону может быть соблюдено посредством единицы количества информации. Такой способ поверки ИС представляется возможным осуществить, когда в ИС применяют метрологический самоконтроль стабильности характеристик первичных измерительных преобразователей ИС [6,7]. В итоге получается, что такого вида самоконтроль может быть рассмотрен, как поверка ИС в процессе эксплуатации без демонтажа компонентов каналов ИС и применения эталонных средств или имитаторов первичных измерительных преобразователей.

Рассматриваемые в статье вопросы подлежат дальнейшему исследованию и обоснованию на экспериментальной базе метрологических институтов. На данное время можно ограничиться обобщенными сведениями по измерительным системам с цифровым представлением информации, раскрывающими существо использования цифровой трансформации измерительной информации с целью её передачи, обработки, хранения и применения при поверке измерительных систем на месте установки.

Список используемых источников

1. Прикладная теория информации /В.И. Дмитриев / Москва, Высшая школа /1989. – 326 с.
2. Основы цифровой обработки сигналов /В.Г. Коберчинков/Учебное пособие/Екатеринбург. Изд-во Урал. ун-та/2018. – 150 с.
3. Кувыкин Ю.А., Супрунюк В.В. Информативность определения параметров акустических полей объектов // Вестник метролога. 2024. – № 2. – С. 10–15
4. Вейвлетные преобразования сигналов/ А.В. Давыдов Екатеринбург/Изд-во Урал. ун-та. 2005. – 77 с.
5. 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.
6. Смирнов А.П., Хайруллин Р.З., Кувыкин Ю.А., Супрунюк В.В. Модель процесса эксплуатации измерительной системы с встроенным контролем // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. – № 691. С. 212–218.
7. Кувыкин Ю.А., Супрунюк В.В., Храменков В.Н., Хайруллин Р.З. Оценка эффективности контроля стабильности метрологических характеристик источников измерительной информации в процессе эксплуатации с использованием теории полумарковских моделей // Вестник метролога. – 2024. – № 4. – С. 8 – 11.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ВТОРИЧНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ MODERNIZATION OF THE SECONDARY STANDARD OF THE IMPULSE ELECTRIC VOLTAGE UNIT

Клеопин А.В., к.т.н., ФГУП «ВНИИФТРИ»,
 Фуфаев С.А., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России,
 Апрелева М.А., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России,
 Kleopin A.V., c.t.s., FSUE «VNIIFTRI»,
 Fufaev S.A., FSBI «MSHC» of Russian Federation Ministry of Defense,
 Apreleva M.A., FSBI «MSHC» of Russian Federation Ministry of Defense,
 kleopin@vniiftri.ru,
 sergey_fufaev@mail.ru,
 apreleva.m.a@mail.ru
 тел. 8(495)5266354 (доб. 91-71);
 +7 (915) 357-88-38;
 +7(909) 155-37-42

Аннотация. *Описаны технические возможности и состав вторичного эталона единицы импульсного электрического напряжения, являющегося резервом первичного специального эталона единицы импульсного электрического напряжения ГЭТ 182, по результатам его модернизации. Представлены методы и средства измерения единицы импульсного электрического напряжения. Произведен расчет предела суммарной погрешности измерения единицы импульсного электрического напряжения при реализации компенсационного метода измерений.*

Abstract. *The technical capabilities and composition of the secondary standard of the impulse electric voltage (IEV) unit, which is a reserve of the primary special standard IEV unit GET 182, have been described on the results of its modernization. The methods and means of measuring the IEV unit have been presented. The limit of the total error in measuring the IEV unit has been calculated using the compensation measurement method.*

Ключевые слова: импульс, импульсное напряжение, вторичный эталон, передача единицы величины, компенсационный метод измерений.

Keywords: impulse, impulse voltage, secondary standard, transfer of unit of quantity, compensation measurement method.

Импульсный сигнал, наряду с напряжением постоянного тока и напряжением переменного тока, является одним из важнейших видов сигналов в радиотехнических измерениях. Подтверждением этого является широкое использование средств измерений импульсно-осциллографической группы для контроля технического состояния, технического обслуживания и ремонта высокоточных, высокочастотных устройств, узлов и агрегатов сложных радиоэлектронных систем и средств цифровой связи, а также в ходе проведения их испытаний. В настоящее время резко возросли потребности отечественной экономики в новейших технологиях, в которых используются сверхкороткие электрические импульсы с длительностью фронта единицы и десятки пикосекунд, применяемые в системах связи, измерительной и военной технике, медицине и научных исследованиях, в разработке систем защиты от воздействия импульсных электромагнитных помех техногенного характера на объекты социальной инфраструктуры и атомной энергетики, а также систем управления транспортом и информационно-телекоммуникационных систем.

Для организации метрологического обеспечения средств измерений (СИ) импульсного электрического напряжения (ИЭН) еще в 60-е годы в ФГУП «ВНИИФТРИ» были разработаны основные принципы построения СИ высшей точности и эталонов ИЭН (рисунок 1), которые актуальны и в настоящее время, разумеется, с учетом существенного повышения быстродействия и точности СИ ИЭН, широкого применения автоматизации измерений и развитого математического аппарата обработки результатов измерений. А во второй половине 60-ых уже были созданы первые эталонные установки ИЭН [1].

В июле 2002 года для нужд сферы обороны и безопасности государства был разработан эталон единицы ИЭН, которому в это время в Российской Федерации аналогов не было, в связи с чем он фактически с 2002 по 2010 годы выполнял функции Государственного эталона. Только в 2010 году был создан Государственный первичный специальный эталон единицы ИЭН ГЭТ 182-2010, а его «предшественник» получил статус вторичного эталона единицы ИЭН и прослужил он вплоть до 2023 года.

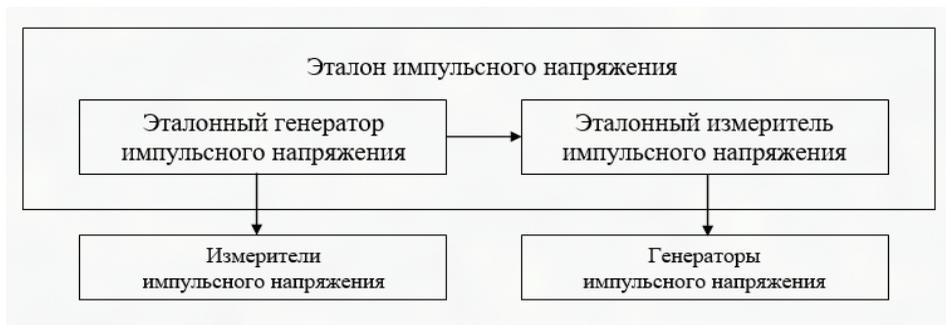


Рисунок 1 – Общий принцип построения эталона единицы ИЭН и ее передачи другим СИ

С 2021 года начались работы по модернизации вторичного эталона единицы ИЭН, целью которой было:

- расширить диапазон частот исследуемых импульсных сигналов в микросекундном диапазоне;
- увеличить диапазон частот исследуемых импульсных сигналов в пиконаносекундном диапазоне;
- расширить динамический диапазон исследуемых импульсных сигналов в пиконаносекундном диапазоне;
- привести номиналы параметров эталонных формирователей из его состава в соответствие номиналам формирователей Государственного первичного специального эталона единицы ИЭН ГЭТ 182-2010;
- метрологически обеспечить разработку и эксплуатацию перспективных систем цифровой связи со сверхвысокими скоростями передачи информации в десятки и сотни Гбит в секунду.

По результатам выполненных работ модернизированный эталон единицы ИЭН в конце 2024 года успешно прошел государственные испытания, а Росстандарт постановил утвердить его в качестве вторичного эталона и установить резервом государственного первичного специального эталона единицы ИЭН ГЭТ 182.

Вторичный эталон единицы ИЭН соответствует требованиям, предъявляемым к вторичным эталонам по государственной поверочной схеме для средств измерений ИЭН и обеспечивает выполнение следующих задач:

- воспроизведение единицы импульсного напряжения;
- хранение единицы импульсного напряжения;
- передачу единицы импульсного напряжения рабочим эталонам и средствам измерений на месте эксплуатации эталона (стационарный комплект);

– передачу единицы импульсного напряжения рабочим эталонам и средствам измерений на местах их эксплуатации (транспортируемый комплект).

Стационарный комплект вторичного эталона единицы ИЭН представляет собой комплект оборудования, предназначенный для воспроизведения, хранения и передачи единицы ИЭН эталонам и средствам измерения (рисунок 2) непосредственно на месте размещения эталона в двух диапазонах:

- а) пико-наносекундный диапазон длительности импульса;
- б) микросекундный диапазон длительности импульса.

Транспортируемый комплект вторичного эталона единицы ИЭН представляет собой техническое средство с условным наименованием ЭП-46, предназначенное для передачи единицы импульсного напряжения эталонам и средствам измерения непосредственно на месте их эксплуатации.

В составе вторичного эталона единицы ИЭН применяются современные эталоны и средства измерений – осциллограф цифровой широкополосный стробоскопический с генератором перепада напряжения, осциллограф цифровой, калибратор осциллографов с формирователями, мультиметр цифровой, генератор сигналов произвольной формы, магазин сопротивления, мера емкости, транспортируемый комплект.

Также в состав стационарного и транспортируемого комплектов вторичного эталона единицы ИЭН входят устройства управления и обработки информации с предустановленным системным и прикладным программным обеспечением. Для создания условий поверки эталонов и средств измерений применяется вспомогательное оборудование – система кондиционирования и увлаж-

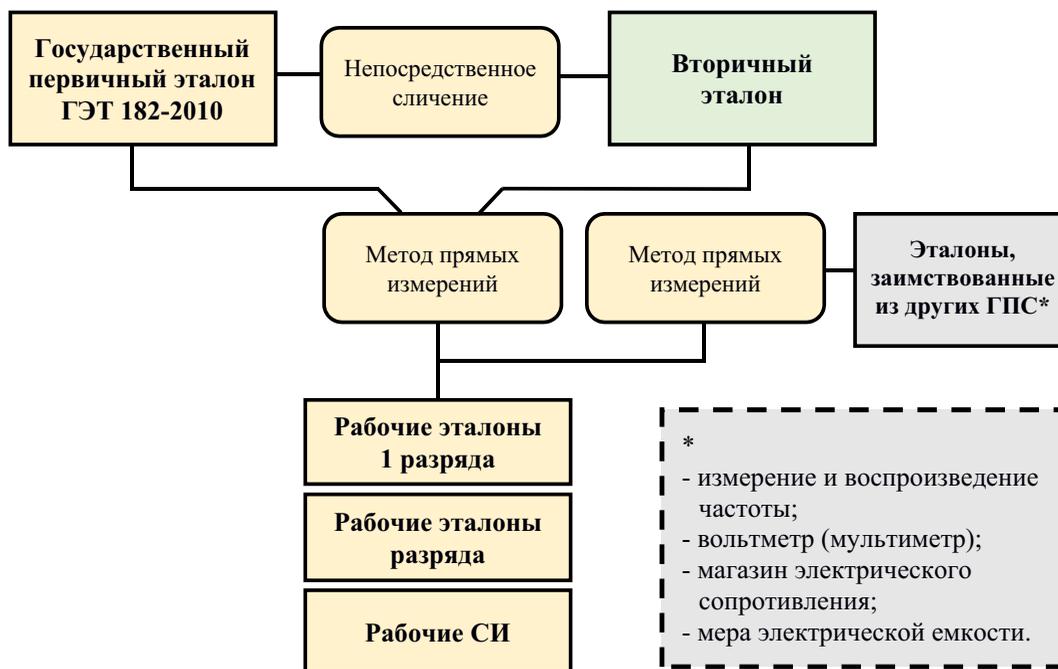


Рисунок 2 – Схема передачи единицы импульсного электрического напряжения

нения воздуха, измеритель параметров окружающей среды.

Принцип действия стационарного комплекта эталона в микросекундном диапазоне основан на воспроизведении импульсов электрического напряжения с нормированной длительностью фронта и компенсационном методе измерений [2], [3], который заключается в сравнении импульсного напряжения, наблюдаемого в канале 1 цифрового осциллографа, с эталонным (опорным) напряжением, подаваемым от калибратора осциллографов на канал 2 осциллографа и описывается уравнением измерений (1). Суммарная погрешность измерений ИЭН определяется погрешностью установки постоянного компенсирующего напряжения и погрешностью сравнения:

$$\delta(U_{\text{действ}}) = \delta(V_M) + \left(\frac{\Delta U_H}{U_{\text{действ}}}\right) \cdot \delta(\Delta U_H) + \left(\frac{U_1}{U_{\text{действ}}}\right) \cdot \delta(\Delta U_1) + \left(\frac{U_2}{U_{\text{действ}}}\right) \cdot \delta(\Delta U_2), \quad (2)$$

где $\delta(V_M)$ – предел относительной погрешности мультиметра (не более $\pm 0,00018$ %, для Keysight 3458A);

$\left(\frac{\Delta U_H}{U_{\text{действ}}}\right) \cdot \delta(\Delta U_H)$ – предел относительной погрешности поправки, обусловленной неидентичностью трактов вертикального отклонения каналов осциллографа (не более $\pm 0,04$ %, для АК ИП 4135/3);

$$U_{\text{действ}} = V_M + \Delta U_H + (U_1 - U_2), \quad (1)$$

где V_M – значение установленного опорного напряжения калибратора (при совмещении отображаемых на экране исследуемого сигнала и опорного напряжения), измеренного мультиметром;

ΔU_H – поправка, обусловленная неидентичностью трактов вертикального отклонения каналов осциллографа;

$(U_1 - U_2)$ – поправка, вводимая в результат измерений, обусловленная неидеальным совмещением отображаемых на экране осциллографа исследуемого сигнала и опорного напряжения.

В соответствии с уравнением измерений (1) определяется предел относительной погрешности измерений $\delta(U_{\text{действ}})$ [2]:

$\left(\frac{\Delta U_{1,2}}{U_{\text{действ}}}\right) \cdot \delta(\Delta U_{1,2})$ – предел относительной погрешности поправки, вводимой в результат измерений, обусловленной неидеальным совмещением отображаемых на экране осциллографа исследуемого сигнала и опорного напряжения (не более $\pm 0,004$ %, для АК ИП 4135/3).

Предел результирующей погрешности измерений ИЭН в микросекундном диапазоне составляет не более $\pm 0,048$ %.

Принцип действия стационарного комплекта эталона в пико-наносекундном диапазоне основан на воспроизведении импульсов электрического напряжения с нормированной длительностью фронта и методе прямых измерений мгновенных значений импульсных электрических сигналов, амплитудно-временные параметры которых определены с требуемой точностью (при метрологических исследованиях эталона). Цифровой широкополосный стробоскопический осциллограф, имеющий время нарастания переходной характеристики в единицы пикосекунд, построен по принципу масштабно-временного преобразования.

Единицу импульсного напряжения эталон получает путем метрологической аттестации и сличения с Государственным первичным специальным эталоном ГЭТ 182-2010 один раз в три года. Работы по сличению выполняет институт Росстандарта ФГУП «ВНИИФТРИ».

Периодический контроль метрологических характеристик СИ из состава вторичного эталона единицы ИЭН проводится путем периодической поверки один или два раза в год в соответствии с утвержденными методиками поверки.

Вторичный эталон единицы ИЭН прошел первичную независимую аттестацию и сличение с Государственным первичным специальным эталоном единицы импульсного электрического напряжения ГЭТ 182-2010.

Передача единицы импульсного напряжения от вторичного эталона рабочим эталонам и средствам измерений производится в соответствии с государственной поверочной схемой для средств измерений импульсного электрического напряжения (Приказ № 3463 от 30 декабря 2019 г.). [4]

В результате модернизации вторичного эталона были решены следующие задачи:

- усовершенствована система передачи единицы импульсного напряжения для вторичного эталона;
- расширен диапазон длительностей воспроизводимых импульсов, и полоса пропускания при измерении параметров формы импульсов;

– восстановлен технический ресурс вторичного эталона;

– повышен уровень автоматизации вторичного эталона, что обеспечивает сокращение на 20 % времени, затрачиваемого на поверку эталонов и средств измерений ИЭН;

– вторичный эталон единицы ИЭН соответствует обязательным метрологическим требованиям при воспроизведении единицы ИЭН, полученные расхождения при ее воспроизведении вторичным эталоном и ГЭТ 182-2010 находятся в допустимых пределах.

Возможности модернизированного вторичного эталона в области обеспечения единства измерений ИЭН позволят обеспечить потребность на ближайшие 10-15 лет. Вместе с тем постоянное совершенствование цифровых средств связи и импульсной техники в целом требует новых подходов к обеспечению измерения сверхкоротких импульсов, в том числе и переход к разработке эталонов на новых физических принципах для перехода в фемтосекундные диапазоны измерения и воспроизведения единицы ИЭН.

Литература

1. Маневич В.З., Селин Л. Н. Государственный первичный специальный эталон единицы импульсного электрического напряжения с длительностью импульса $4 \cdot 10^{-11} - 1 \cdot 10^{-5}$ с // Измерительная техника. – 2011. – № 12. – С. 6-12.
2. Окунев-Паракин В.В. Применение компенсационного метода для уменьшения погрешности измерений импульсного напряжения осциллографом // Вестник метролога. – 2012. – № 3 – С.25–27. – ISSN 2413-1806.
3. Клеопин А.В., Макаров В.В., Селин Л.Н., Зенченко М.А. Исследование компенсационного метода измерений импульсного напряжения с помощью цифрового осциллографа // Метрология в радиоэлектронике. Материалы XII Всероссийской научно-технической конференции. Менделеево, – 2021. – С. 314–315.
4. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 декабря 2019 года № 3463 "Государственная поверочная схема для средств измерений импульсного электрического напряжения"

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ФУНКЦИИ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ЦИФРОВЫЕ ОЭС
MODIFIED FUNCTIONS OF THE ISSUE TO INFLEXIONS, MODELING AND EXPERIMENTAL RESULTS, DIGITAL OES

Денисов И. Г., Косковский С.В., Курт В. И., д.т.н., Фатыхова Р.А.,
 АО «НПО «Государственный институт прикладной оптики»
 Denisov I.G., Koskovskiy S.V., Kurt V. I., Doctor of Engineering Sciences, Fatyhova R.A.,
 JSC «SPA «State Institute of Applied Optics», Kazan
 e-mail: gipo@telebit.ru; gipo@shvabe.com
 тел.: +79274116145

Аннотация. Описаны особенности моделирования функции передачи модуляции (далее – ФПМ) для цифровых матричных фотоприемных устройств, для инфракрасного диапазона спектра проведены экспериментальные работы по проверке математической модели и реальной характеристики ФПМ.

Abstract. Described particularities of modeling to functions of the issue to inflexions for digital matrix receiver of photo device, for infrared range of the spectrum are organized experimental work on checking the mathematical model and real feature FPM.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, оптико-электронные приборы, функция передачи модуляции.

Keywords: computer modeling, optometrist-electronic instruments, function of the transmission to inflexions.

Введение

Основным элементом оптико-электронных приборов (ОЭП) является приемник излучения, который используют для поглощения и преобразования этого излучения в электронные сигналы, на основе которых и формируется изображение. В настоящее время в их производстве полностью перешли на использование цифровых фотосистем.

Одной из основных характеристик фотоаппаратуры принято считать разрешение. Считается, что чем выше разрешение, тем более мелкие детали изображения оптическая система способна передать без искажений. Однако, резкость фотографической системы формирования и обработки изображений или компонента этой системы (линза, пленка, датчик изображения, сканер, увеличительная линза и т. д.) характеризуется параметром, называемым «функция передачи модуляции» (ФПМ). ФПМ – пространственная частотная характеристика системы формирования изображения или её компонента; это контраст данной пространственной частоты по отношению к низким частотам.

В оптике можно снять плавную кривую падения контраста при росте частоты штрихов мира. Именно эта кривая и получила название Modular Transfer Function (MTF) – функция передачи модуляции. Таким образом, если вме-

сто штрихов с прямоугольным графиком яркости использовать синусоидальные, а функцию контраста от частоты определить как $Модуляци́я(контраст) = (I_{max} - I_{min}) / (I_{max} + I_{min})$, где I_{max} и I_{min} – яркости изображений самой светлой и самой темной точки на данной частоте линий, то ФПМ(частоты) = КОНТРАСТ(частоты)/КОНТРАСТ(низкой частоты). Отсюда получаем, что на низкой частоте ФПМ равна единице, а с ростом частоты плавно падает до нуля (когда изображения линий сливаются, контраст становится нулевым). Как ФПМ соотносится с классическим понятием разрешения? Прежнее измерение разрешения – различаемые пары линий/мм – грубо соответствует пространственным частотам, на которых ФПМ составляет от 5% до 2%. Значения варьируются, так как линии различают операторы и делают это так, как могут. ФПМ 9% подразумевает определение Релевского дифракционного предела. Различаемая четкость изображения близко связана с пространственной частотой, на которой ФПМ составляет 50%, где контраст падает вдвое.

Способы моделирования ФПМ

Модель исследования характеристик неизвестного оптико-электронного прибора основана на анализе изображения полос мира различной частоты. Однако здесь она применена в модифи-

цированном виде. Вместо целой миры берутся равномерно освещенные полосы разной ширины, которые движутся относительно объектива прибора с разными скоростями. Таким образом, полосы как бы сканируют элементы фотоприемника и на выходе получают периодические сигналы различной частоты (подобно рисунку 1). Поскольку размер элемента камеры заранее неизвестен, то логично будет применять полосы разной ширины. В качестве априорной информации имеются варианты размеров элемента фотоприемника – 10, 12, 15, 17 и 30 мкм.

Средняя глубина модуляции сигнала вычисляется по формуле:

$$\Delta S(v) = \frac{1}{m-1} \sum_{i=0}^{m-1} |S_i - S_{i+1}|, \quad (1)$$

где S_i – значения последовательных пиков и провалов выходного сигнала от полос миры (рис. 1); m – общее число пиков и провалов выходного сигнала, зависящее от угловой частоты миры (для стандартной четырехполосной миры $m \leq 7$).

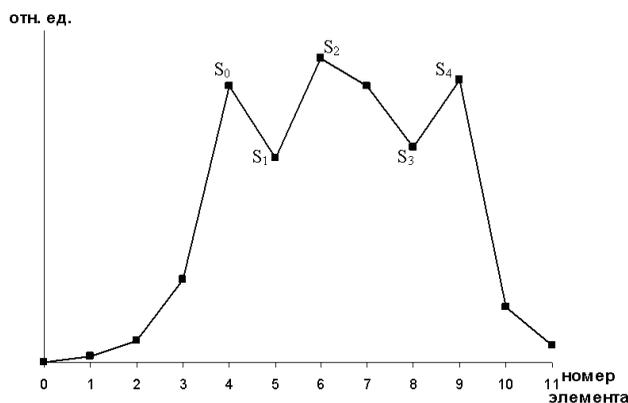


Рисунок 1 – Пики и провалы выходного сигнала на элементах фотоприемника.

Выходной сигнал S – это по сути уровень градации яркости пикселя. Зависимость $\Delta S(v)$, нормированная при $v = 0$ к единице, умноженная на поправочный коэффициент $\pi/4$, играет роль аналога функции передачи модуляции системы получения изображения при оценке соответствующей модифицированной температурно-частотной характеристики.

В представленной модели определение периода чувствительных элементов исследуемых

МФПУ, измерение их модифицированной функции передачи модуляции, обнаружения искажения информации за счет аппаратного действия, а именно – обнаружение наличия бининга [1, 2] реализованы следующим образом.

Моделирование осуществляется с помощью среды Matlab R2014b. При моделировании считаем, что один элемент двумерного массива в Matlab, имитирующего ФПУ, равен 1 мкм. В качестве имитации фотоприемного устройства составляется массив 320×128 элементов. Размер каждого элемента в свою очередь составляет 10×10, 12×12, 15×15, 17×17 или 30×30 мкм.

В качестве имитации изображения узкой светящейся щели создается «маска» в виде белой линии с разными углами наклона 0°, 15°, 30°, 45° и вариантами ширины 5 и 10 мкм. Маска накладывается на фон, перемещаясь горизонтально с определенным шагом, составляющим 1/2, 1/5, 1/10 ширины миры. Элементы МФПУ имеют слепые зоны по краям каждого пикселя. При имитации МФПУ были взяты слепые зоны по 1 мкм с каждой стороны ячейки матрицы, т.е. при размере ячейки 10×10 мкм эффективной будет только область 8×8 мкм (рисунок 2).

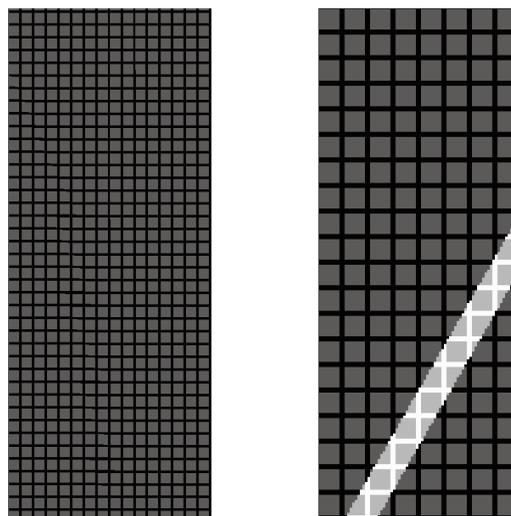


Рисунок 2 – Имитация матрицы со слепыми зонами в пикселях (слева) и сканирование матрицы щелью (справа).

На рисунках ниже показаны примеры изменения распределения интенсивности сигнала при наклоне линии. Такой алгоритм перераспределения позволяет имитировать сканирование пикселей.

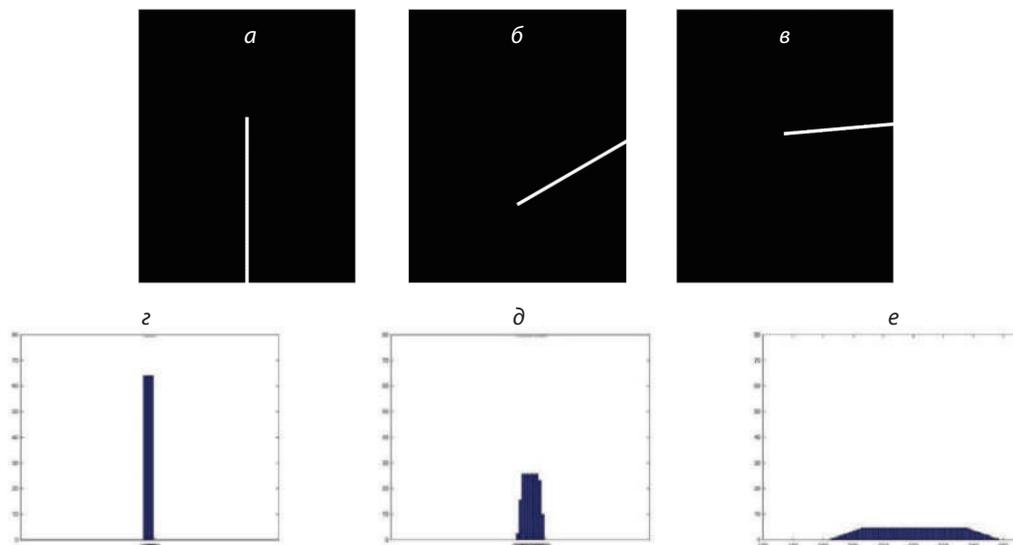


Рисунок 3 – Изображение линии на равномерном фоне. Угол наклона линии а) 0°, б) 60°, в) 85°. Столбцовая диаграмма распределения интенсивностей в контрольной строке матрицы, пересекаемой щелью. Угол наклона линии з) 0°, д) 60°, е) 85°.

Посередине изображения линии по горизонтальной оси берется контрольная строка. В каждой большой ячейке контрольной строки исследуемой матрицы пересекаемой линией подсчитывается количество маленьких 1 мкм элементов, значение интенсивности которых равно интенсивности линии. Затем сумма интенсивностей пикселей масштабируется, так чтобы максимум был при полном перекрытии 1 большой ячейки матрицы. По результатам суммирования строится столбцовая диаграмма распределения интенсивности по ячейкам, ΔI – разность между её наибольшим и наименьшим значением. Таким образом, на каждую точку наложения маски Δy приходится одна столбцовая диаграмма и одно значение ΔI . Если построить график, где по оси

абсцисс откладывается Δy , а по оси ординат ΔI , то получится периодический сигнал (подобно рисунку 4), форма и частота которого будет зависеть от размера элементов фотоприемника, ширины сканирующей линии и её наклона (пример на рисунке 4).

Ниже приведены общие результаты моделирования сигнала при сканировании линией МФПУ с различным размером элементов. На графиках представлены зависимости диапазона сигнала (без суммирования) от размера ячеек. По оси ординат откладывается ΔI в отн. ед., по оси абсцисс – размер элемента матрицы в мкм.

На рисунках 5а-5г видно, что в целом, по мере увеличения размера ячеек матрицы, уменьшается диапазон изменения полученного сигнала. Вид графиков может объясняться тем, что ширина щели неизменна и составляет 10 мкм, а с ростом размера ячейки отношение светлых областей, вносящих вклад в суммарный сигнал к темным областям фона в пересчете на одну ячейку, будет все больше уменьшаться. Но возможно, тот факт, что увеличенная площадь ячейки будет захватывать всё большую часть щели, позволяет при некоторых значениях скомпенсировать уменьшение сигнала. Для щели шириной 5 мкм ситуация в целом такая же, кроме того, что максимальный уровень сигнала, который в принципе можно получить, сканируя такой щелью под разными углами меньше чем для линии 10 мкм. Такая щель может использоваться, когда размер элементов матрицы мал и нужно тщательное сканирование.

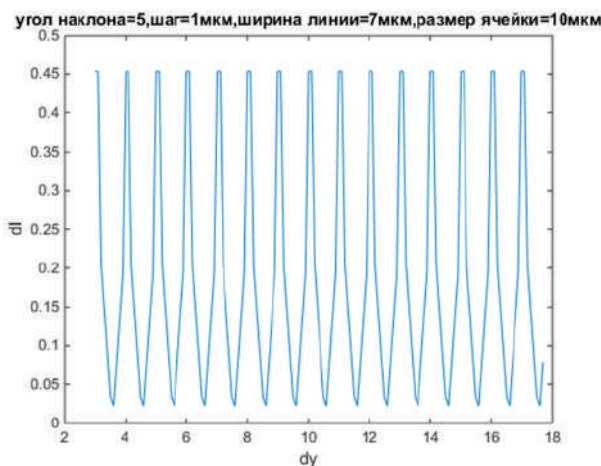


Рисунок 4 – Моделирование сигнала сканирования ФПУ светящейся линией. Наклон 5°, ширина линии 7 мкм, размер ячейки ФПУ 10 мкм. Значения оси Δy нормированы на размер ячейки.

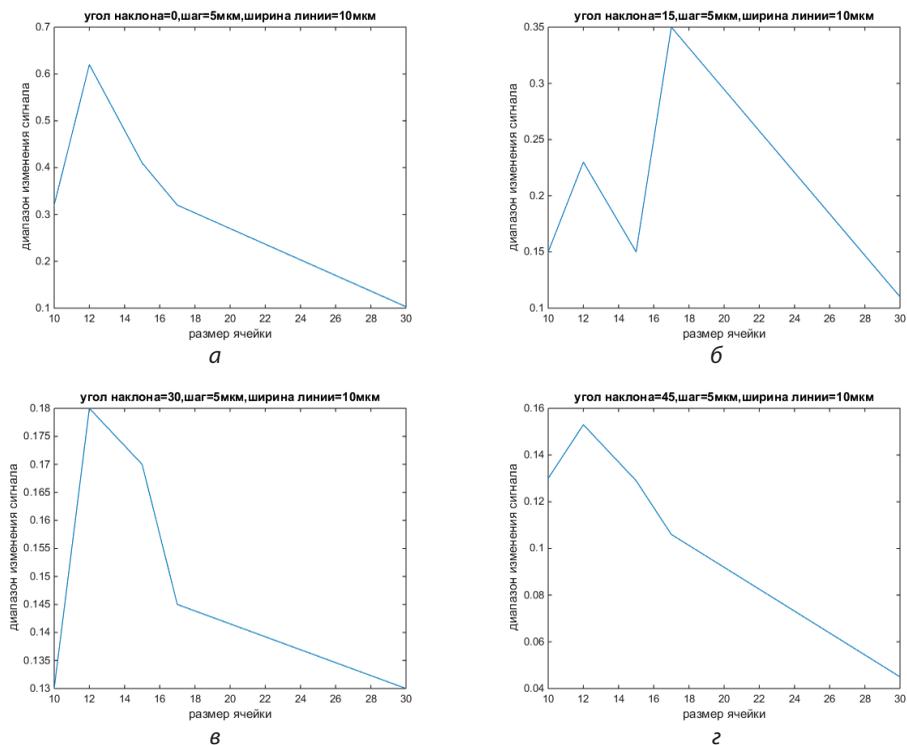


Рисунок 5 – а) Зависимость диапазона изменения сигнала от размера ячейки. Угол наклона – 0 градусов, шаг движения линии – 5 мкм, ширина щели – 10 мкм; б) Угол наклона – 15 градусов, шаг – 5 мкм, ширина щели – 10 мкм; в) Угол наклона – 30 градусов, шаг – 5 мкм, ширина линии – 10 мкм; г) Угол наклона – 45 градусов, шаг – 5 мкм, ширина линии – 10 мкм.

Ниже на графиках представлены зависимости ячейек. По оси ординат откладывается ΔI в отн. ед., диапазона сигнала (с суммированием) от размера по оси абсцисс – размер элемента матрицы в мкм.

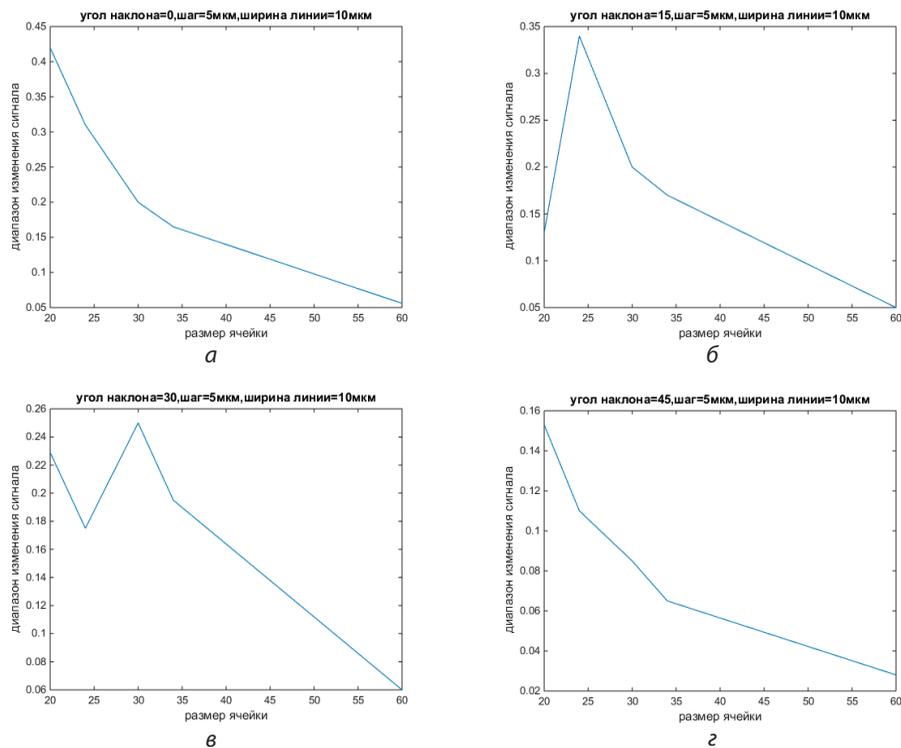


Рисунок 6 – Зависимость диапазона изменения сигнала от размера ячейки (с суммированием) а) угол наклона – 0 градусов, шаг движения линии – 5 мкм, ширина щели – 10 мкм, б) угол наклона – 15 градусов, шаг – 5 мкм, ширина щели – 10 мкм, в) угол наклона – 30 градусов, шаг – 5 мкм, ширина щели – 10 мкм, г) угол наклона – 45 градусов, шаг – 5 мкм, ширина щели – 10 мкм.

При суммировании на рисунках ба-бг прослеживаются те же зависимости, что и без него, кроме того, что суммирование в общем снижает максимальную величину разности интенсивностей. При суммировании складываются значения четырех соседних ячеек (две по вертикали и две по горизонтали) и в получившуюся новую ячейку записывают среднее значение. Физический размер матрицы не изменился, но в четыре раза уменьшилось количество ячеек и в два раза увеличился их размер. Интенсивность сигнала снижается, так как ширина линии не меняется, сама ячейка увеличивается и всё большую её часть будут составлять темные области, не вносящие вклада в сигнал, поэтому при усреднении по 4-м ячейкам значение сигнала сильно снизится.

На рисунке 7а приведен график зависимости максимальной разности величины сигнала без суммирования от угла наклона линии, а на рисунке 7б – аналогичный график с суммированием. По оси ординат откладывается ΔI в отн. ед., по оси абсцисс – угол наклона линии в градусах.

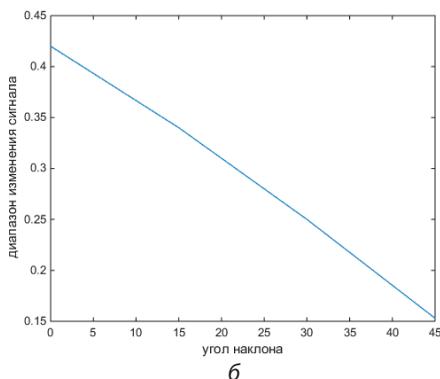
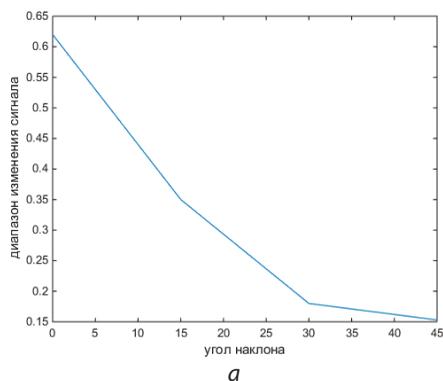


Рисунок 7 – Зависимость диапазона изменения сигнала от угла наклона. Шаг – 5 мкм, ширина щели – 10 мкм, а) без суммирования, б) с суммированием. Размер ячейки матрицы фиксирован.

Исследование степени адекватности математической модели.

Экспериментальная установка выглядит следующим образом: коллиматор с тест объектом в виде светящейся линии, угловой размер которой фиксирован и составляет 0,2 мрад. Перед коллиматором располагается тестируемый оптико-электронный прибор. Не важно на каком расстоянии от коллиматора стоит прибор, так как за счет особенностей оптики коллиматора линия будет одного и того же размера. Изображение с тестируемой камеры выводится на персональный компьютер. Для того, чтобы просканировать элементы матрицы, тест-объект совершает очень медленное равномерное движение в горизонтальной плоскости перед объективом прибора. Скорость движения линии намного медленнее, чем частота кадров прибора.

Для того, чтобы сравнить моделированные и экспериментальные графики, при сканировании линия должна проходить одно и то же расстояние в миллирадианах. Так как размер пикселей различен, то на одно и то же расстояние должно укладываться разное число периодов сигнала, по количеству периодов определяется размер пикселя. При моделировании задаются размеры матриц в 10, 12, 15, 17 и 30 мкм.

Узкая линия

Первый вариант ОЭП: ФПУ имеет размер пикселя 30 мкм, фокус – 34 мм, угловой размер пикселя матрицы 0,88 мрад. Линией было пройдено 4.292 мрад. В пройденное расстояние уложилось примерно 5 пикселей.

При моделировании считаем, что один элемент двумерного массива в Matlab, имитирующего ФПУ, равен 1 мкм. Нетрудно вычислить, что т. к. 30 мкм в этой системе будут равны: $30 \text{ мкм} / 34 \text{ мм} = 0.88 \text{ мрад}$, значит один элемент массива Matlab, принятый $1 \text{ мкм} = 0.0293 \text{ мрад}$. Так как моделируемой линии необходимо пройти примерно то же расстояние, что и экспериментальной, т. е. 4.292 мрад, то это составляет $4.292 / 0.0293 \text{ мрад} = 146.48 \approx 147$ элементов массива в Matlab. В это число элементов у разных моделируемых матриц уложится разное число периодов сигнала.

Снимок изображения линии представлен на рисунке 8. Её наклон составляет около 5° , ширина линии 0.2 мрад. Ясно, что линия здесь более узкая,

чем один элемент матрицы, но увидеть это невозможно – линия расплывается по ширине на весь пиксель. При моделировании примем ширину как 0.2 мрад / 0.0293 мрад ≈ 7 элементов двумерного массива в Matlab. Шаг движения линии возьмем равным 1 мкм.

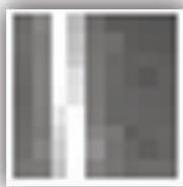


Рисунок 8 – Фрагмент снимка светящейся линии. Наклон около 5°, ширина 0,2 мрад.

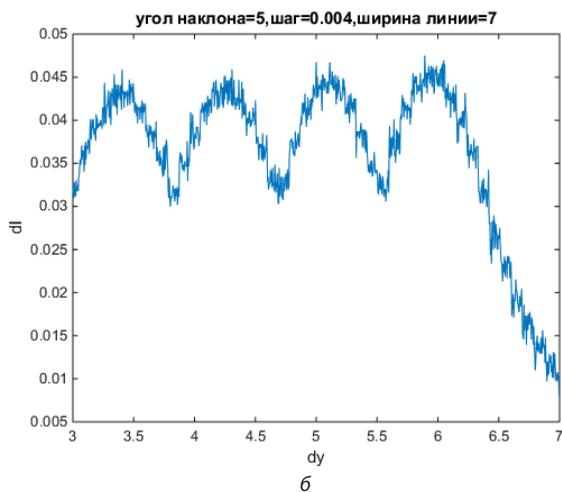
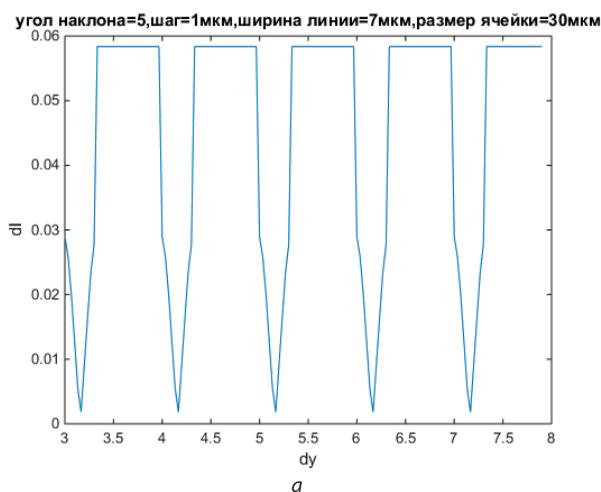


Рисунок 9 – а) Моделирование сигнала сканирования ФПУ светящейся линией. Наклон 5°, ширина 0,2 мрад, размер ячейки ФПУ 30 мкм. Значения оси dy нормированы на размер ячейки; б) Сигнал сканирования ФПУ светящейся линией по реальным снимкам (узкая линия). Наклон 5°, ширина 0,2 мрад. График построен по 1000 кадрам. Значения интенсивности пикселей предварительно нормированы на наибольшее значение по матрице. На обоих графиках по оси абсцисс – номер ячейки, по оси ординат ΔI в отн. ед.

В ходе эксперимента моделировались разные варианты размеров ячеек: 10 мкм, 12 мкм, 15 мкм, 17 мкм и 30 мкм. На рисунке 9б представлен сигнал сканирования, построенный по реальным снимкам (1000 кадров).

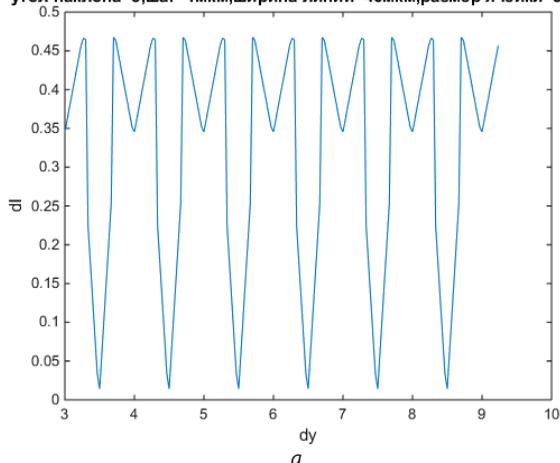
На расстояние в 4.292 мрад на графике экспериментальных данных (рисунок 9б) укладывается примерно 5 периодов сигнала (5 ячеек матрицы), размер одной ячейки – 0.85 мрад. Из моделированных графиков наиболее подходящий сигнал на рисунке 9а – в указанное расстояние укладывается 4.88 периодов, т. е. 4.88 штук 30 микрометровых ячеек. Размер ячеек экспериментального ФПУ 30 мкм. Стоит отметить, что «пики» на экспериментальном графике с одной стороны более плавно возрастают и убывают, с другой стороны имеют заметные флуктуации, в то время как моделированные графики более «угловатые». Это связано с различием в количестве точек, по которым построены графики, экспериментальный – по 1000, моделированные – по 147. Кроме того, на реальных снимках присутствуют естественные шумы, неравномерная освещенность от осветителя и многие другие факторы, которые вызывают флуктуации значений сигнала. На моделированных же снимках фон и линия равномерны по освещенности. Несмотря на данные нюансы, можно утверждать, что результаты моделирования в большей степени адекватны реальным данным.

Широкая линия

Второй вариант ОЭП: ФПУ имеет размер пикселя 30 мкм, фокус – 230 мм, угловой размер пикселя матрицы 0,13 мрад. Угловой размер линии 0,2 мрад, но теперь она выглядит шире одной ячейки матрицы. Линией было пройдено 0.8125 мрад. Размер одного пикселя матрицы 0.13 мрад, в пройденное расстояние уложилось примерно 6.25 периодов сигнала. Один элемент массива Matlab, принятый 1 мкм = 1 мкм / 230 мм = 0.004346 мрад. Так как моделируемой линии необходимо пройти примерно то же расстояние, что и экспериментальной, т. е. 0.8125 мрад, то это составляет $0.8125 / 0.004346$ мрад = $186.9 \approx 187$ элементов массива в Matlab. В это число элементов у разных моделируемых матриц также уложится разное число периодов сигнала. Наклон экспери-

ментальной линии составляет около 5° , ширина линии 0.2 мрад, её изображение также расплывается, но при моделировании примем ширину как 0.2 мрад или 0.2 мрад / 0.004346 мрад ≈ 46 пикселей. Шаг движения линии возьмем равным 1 мкм. Здесь также были варианты размеров ячеек при моделировании: 10 мкм, 12 мкм, 15 мкм, 17 мкм и 30 мкм. На рисунке 10б представлен сигнал сканирования, построенный по реальным снимкам (1000 кадров).

угол наклона=5, шаг=1 мкм, ширина линии=46 мкм, размер ячейки=30 мкм



угол наклона=5, шаг=0.004, ширина линии=46

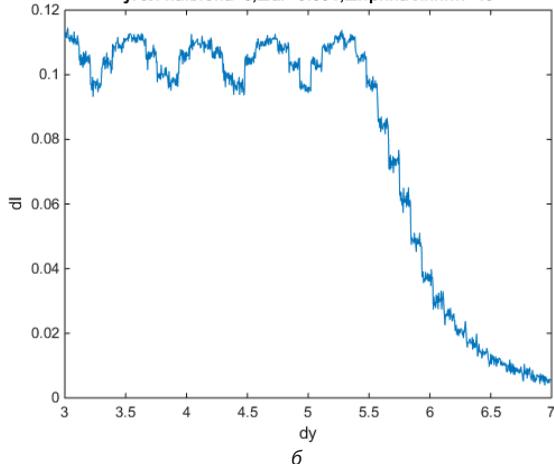


Рисунок 10 – а) Моделирование сигнала сканирования ФПУ светящейся линией. Наклон 5° , ширина $0,2$ мрад соответствует около 46 мкм, размер ячейки ФПУ 30 мкм. Значения оси dy нормированы на размер ячейки; б) Построение сигнала сканирования ФПУ светящейся линией по реальным снимкам (широкая линия). Наклон 5° , ширина $0,2$ мрад. График построен по 1000 кадрам. Значения интенсивности пикселей предварительно нормированы на наибольшее значение по матрице.

На расстояние в 0.8125 мрад на экспериментальном графике укладывается примерно 6.23 периода сигнала (6.23 пикселей матрицы),

размер одного пикселя 0.1304 мрад. Из моделированных графиков наиболее подходящий сигнал на рисунке 10а – в указанное расстояние укладывается 6.25 периодов, т. е. 6.25 штук 30 микрометровых ячеек. Размер ячеек экспериментального ФПУ 30 мкм. На представленных экспериментальных и теоретических графиках присутствуют те же нюансы, что и в предыдущем случае с узкой линией.

Выводы

Увеличение угла наклона при работе с матрицей, в которой присутствует суммирование, дает некоторое увеличение диапазона сигнала. Очевидно, что при наклоне линии всё большее количество светлых пикселей попадают в увеличенную ячейку и при усреднении диапазон сигнала снижается не так резко как в случае с вертикальной щелью. В целом, наибольшие значения сигнала $\Delta I(\Delta y)$ получаются при сканировании исследуемой матрицы вертикальной щелью 0° . Однако, при работе с матрицей, в которой предположительно присутствуют эффекты суммирования, целесообразно наклонять щель и смотреть как это будет влиять на сигнал.

Несмотря на некоторые нюансы, при построении экспериментальных графиков можно утверждать, что результаты моделирования в большей степени адекватны реальным данным, размер пикселя определяется верно.

Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддингс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. – М.: Техносфера, 2006. – 615 с.;
2. Иванов В.П., Батраков А.С. Трёхмерная компьютерная графика / Под ред. Г.М. Полищука. – М.: Радио и связь, 1995. – 224 с.
3. Овсянников В.А., Филиппов В.Л. Повышение точности прогнозирования дальности действия современных тепловизионных приборов // Оборонная техника. 2017. № 3.
4. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1070 с.;
5. Солонина А.И., Арбузов С. М. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в MATLAB. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 806 с.
6. Матричные и субматричные фотоприёмные модули. Фотоника. 2013, № 6 (42). С.: 62–72.

**ИТОГИ РОССИЙСКО-КИТАЙСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА В ОБЛАСТИ СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И
СЕРТИФИКАЦИИ В 2025 ГОДУ**
**RESULTS OF RUSSIAN-CHINESE COOPERATION IN THE FIELD OF STANDARDIZATION, METROLOGY AND
CERTIFICATION IN 2025**

*Шпилевский О.Б., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России,
Руденкова Е. Г., к.т.н., доцент, ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России,
Надеина О.В., к.п.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России,
Shpilevskiy O.B., FSBI «MSHC» of the Ministry of Defense
of the Russian Federation,
Rudenkova E.G., c.t.s., FSBI «MSHC» of the Ministry of Defense
of the Russian Federation,
Nadeina O.V., c.t.s., FSBI «MSHC» of the Ministry of Defense
of the Russian Federation
e-mail shpilberg71@gmail.com, tel. +7(977)599-52-26,
e-mail: l654007@yandex.ru, tel. +7(985)923-70-72,
e-mail: ovnadeina@gmail.com, tel. +79999989015.*

Аннотация: Представлен анализ российско-китайского сотрудничества в области стандартизации, метрологии и сертификации в 2025 году, а также перспективы сотрудничества на ближайшее будущее.

Annotation: The article provides an analysis of Russian-Chinese cooperation in the field of standardization, metrology and certification in 2025, as well as the prospects for cooperation in the near future.

Ключевые слова: российско-китайское сотрудничество, метрология, стандартизация, сертификация, регулирование.

Keywords: Russian-Chinese cooperation, metrology, standardization, certification, regulation.

Китай продолжает оставаться одним из ключевых партнеров России с сфере стандартизации, метрологии и сертификации. В Китае деятельность в области метрологии регулируется «Законом о метрологии Китайской Народной Республики», который был принят на заседании Постоянного комитета Всекитайского собрания народных представителей (ПК ВСНП) шестого созыва 6 сентября 1985 года и вступил в силу 1 июля 1986 года (изменения внесены в 2018 году). Настоящий закон призван повысить значение метрологического надзора и регулирования, осуществляемых в целях обеспечения единства национальной системы единиц измерений, повышения точности и достоверности значений величин, что способствует развитию экономики, торговли, науки и технологий в соответствии с задачами социалистической модернизации, защиты интересов государства и трудящихся [1]. Следует отметить, что законодательство КНР в области метрологии было разработано при активном содействии СССР.

В настоящее время российско-китайское сотрудничество осуществляется в рамках Постоянной российско-китайской рабочей группы по

стандартизации, метрологии, сертификации и инспекционному контролю Подкомиссии по торгово-экономическому сотрудничеству Комиссии по подготовке регулярных встреч глав правительств РФ и Китая (создана постановлением Правительства РФ от 20 июня 1997 года) (далее – Постоянная российско-китайская рабочая группа по стандартизации, метрологии, сертификации и инспекционному контролю).

10 ноября 2025 г. завершен цикл заседаний рабочих подгрупп Постоянной российско-китайской рабочей группы по стандартизации, метрологии, сертификации и инспекционному контролю. Работа подгрупп была традиционно направлена на развитие двустороннего сотрудничества в приоритетных областях, обмен опытом в области стандартизации и метрологии, а также на повышение доверия к результатам испытаний и оценки соответствия.

Первое заседание российско-китайской подгруппы было посвящено вопросам стандартизации и оценки соответствия в сфере искусственного интеллекта. Российскую делегацию возглавлял исполняющий обязанности директора Всероссийского института научной и техни-

ческой информации Российской академии наук (ВИНИТИ РАН) С. Горбук, китайскую директор отдела стандартизации в области высоких технологий Китайского национального института стандартизации (CNIS) Ган Кэцин. Стороны обсудили подходы к формированию национальных систем стандартизации искусственного интеллекта, применение международных стандартов ИСО/МЭК (Международная организации по стандартизации/Международная некоммерческая организация по стандартизации в области электрических, электронных и смежных технологий) и направления дальнейшей совместной работы. Отмечено, что выработка единых технических подходов и терминологической базы станет основой для углубления дальнейшего сотрудничества России и Китая в сфере цифровых технологий.

Вторая встреча представителей Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) и Государственного управления по регулированию рынка КНР (SAMR) прошла по повестке обсуждения вопросов координации деятельности рабочих групп и развития взаимодействия в отдельных отраслях промышленности. В мероприятии принимали участие представители Росстандарта, АНО «Российская система качества», ФГУП «Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт», ФГБНУ «ФНИЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН», ПАО «Газпром» и SAMR. SAMR – административный орган в статусе министерства при Государственном совете КНР, осуществляющий надзор за деятельностью, связанной с законодательной метрологией на всей территории страны.

Кроме того, в рамках цикла заседаний состоялось 14-е заседание рабочей подгруппы по сотрудничеству в области метрологии под председательством начальника Управления метрологии Росстандарта З. Осоки и инспектора Департамента метрологии SAMR Хуасинь Чжена. Основными темами обсуждения стали взаимодействие при реализации инфраструктурных проектов «Сила Сибири» и «Дальневосточный маршрут». В заседании участвовали представители Всероссийского научно-исследовательского института метрологии им. Д.И. Менделеева, Всероссийско-

го научно-исследовательского института радиоэлектроники, Уральского научно-исследовательского института метрологии, ФГУП «Всероссийского научно-исследовательского института физико-технических и радиотехнических измерений», ФГКУ «Всероссийского научно-исследовательского института оптико-физических измерений», ФГКУ «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений», Национального института метрологии Китая, региональных администраций, а также промышленных компаний «Китайская национальная нефтегазовая корпорация» (CNPC), «Китайская интегрированная, энергетическая и химическая компания» и «Китайский государственный оператор трубопроводного транспорта». В ходе заседания обсуждались практические результаты взаимодействия и перспективы российско-китайского сотрудничества в области стандартизации, метрологии, сертификации и оценки соответствия. Большое внимание было уделено использованию последних достижений научно-технического прогресса в метрологии. Так, в части сотрудничества в области аккредитации и испытательных лабораторий стороны высоко оценили сложившееся сотрудничество по вопросу участия лабораторий во взаимных раундах проверки квалификации и договорились продолжить взаимодействие по новым совместным программам в 2026 году. Среди высказанных предложений по новым направлениям сотрудничества – интеграция образовательных проектов и инициатив в сфере подготовки кадров в области метрологии и стандартизации.

По итогам заседаний было отмечено, что развитие взаимодействия между национальными органами России и Китая по стандартизации, метрологии и сертификации способствует повышению качества продукции, развитию промышленного сотрудничества и укреплению доверия к результатам испытаний и измерений. Стороны подтвердили намерение продолжить совместную работу по всем направлениям, в том числе в области цифровых технологий, промышленного производства и сельского хозяйства, с опорой на научно-технические разработки и согласованные подходы к регулированию. Кроме того, обсуждались вопросы взаимной поддержки и координации позиций на площад-

ках международных и региональных организаций по стандартизации, таких как ИСО, Международная электротехническая комиссия и объединение стран БРИКС [2].

21 ноября 2025 года в рамках очередного заседания Постоянной российско-китайской рабочей группы по стандартизации, метрологии, сертификации и инспекционному контролю участники подвели итоги отраслевого сотрудничества стран в течение 2025 года. Заседание прошло под председательством руководителя Росстандарта А. Шалаева и вице-министра SAMR Шу Вэя. С российской стороны в заседании приняли участие представители центрального аппарата Росстандарта, Росаккредитации, Роскачества, ПАО «Газпром», ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, ВИНТИ РАН и технических комитетов по стандартизации. В состав китайской делегации вошли представители SAMR, института передовых технологий Национального института стандартизации Китая, Китайского центра автомобильных технологий и исследований, CNPC и других организаций. По заявлению руководителя Росстандарта за год проделана значительная работа по укреплению сотрудничества между Россией и Китаем в сфере стандартизации, метрологии, оценке соответствия и по успешному преодолению возникающих барьеров, что является свидетельством эффективной работы экспертов обеих стран. Значительным событием стало принятие разработанной нашими государствами «Циндаоской инициативы по укреплению сотрудничества между национальными органами по стандартизации государств-членов ШОС», которая станет ориентиром для дальнейшей совместной работы в этом формате.

Традиционно значительная работа проделана за год метрологическими институтами двух стран. Будучи лидерами мировой метрологии Россия и Китай участвовали совместно в более тридцати ключевых сличениях эталонов в области акустики, ультразвука, вибрации, электричества и магнетизма, фотометрии и радиометрии. Продолжает развиваться взаимодействие и в сфере метрологии для медицины и здравоохранения.

Также в течение года начали свою работу подгруппы по стандартизации в автомобильной промышленности и по стандартизации и оценке соответствия искусственного интеллекта. Помимо этого, благодаря успешному сотрудничеству по «межкорпоративной стандартизации» ПАО «Газпром» и CNPC, возобновляет свою работу подгруппа по стандартизации в нефтегазовой отрасли. Среди новых перспективных тем отмечена стандартизация и сертификация органической продукции – так, достигнута договоренность о проведении проверки на эквивалентность национальных стандартов в этой перспективной области [3].

Таким образом, российско-китайское сотрудничество в области стандартизации, метрологии и сертификации развивается активными темпами. В рамках взаимодействия проводятся регулярные заседания Постоянной российско-китайской рабочей группы по стандартизации, метрологии, сертификации и инспекционному контролю. Рабочая группа является ключевым инструментом двустороннего взаимодействия двух стран в сфере технического регулирования и стандартизации и демонстрирует эффективность в развитии сотрудничества в области инфраструктуры качества. Обсуждается широкий спектр вопросов, представляющих взаимный интерес. В ближайшей перспективе вектор двустороннего сотрудничества будет направлен на обмен опытом в области стандартизации и метрологии, а также на повышение доверия к результатам испытаний и оценки соответствия. Кроме того, большое внимание будет уделяться координации усилий и использованию последних достижений научно-технического прогресса, а также обмену опытом в вопросе подготовки высококвалифицированных кадров.

Литература

1. Закон о метрологии Китайской Народной Республики (с изменениями, внесенными 26 октября 2018 года). – <http://www.comet.org.ru.dejatelnost-zm-kitai>.
2. Эксперты России и Китая развивают сотрудничество в стандартизации, метрологии и оценке соответствия. – <https://www/rst.gov.ru>.
3. Итоги российско-китайского сотрудничества в области стандартизации и метрологии за 2025 год – <https://www/asms.ru>.

**МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ МИНИМАЛЬНОЙ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И ПРЕДЕЛОВ ПОГРЕШНОСТИ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ЦЕНТРОВ РАССЕЯНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ
THE METHOD OF EVALUATION RESOLUTION AND SCATTERING CENTERS COORDINATES DETERMINATION
PRECISION FOR RADAR TEST RANGES**

Григорьев А.С.²; Казанцев А.А.¹, к.т.н.; Протасова А.В.¹; Самородов Б.А.¹
¹ Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия,
 vka@mil.ru;
 тел. 8-911-130-18-59
 8-952-266-39-26

² Войсковая часть 03863, Чехов, Россия
 Grigoriev A.S., Kazancev A.A., k.t.s., Protasova A.V., Samorodov B.A.,
 Military-cosmic academy of the name A.F. MOZHAYSKOGO,
 SAINT PETERSBURG, Russia,
 Troop part 03863, Czech, Russia
 tel. 8-911-130-18-59
 8-952-266-39-26

Аннотация: рассматривается методика оценивания минимальной разрешающей способности и пределов погрешности определения координат центров рассеяния с применением радиолокационных измерительных комплексов. Обоснован облик радиолокационной миры, используемой для решения задач методики. Разработанная методика обладает повышенными метрологическими характеристиками по сравнению со случаем использования радиолокационной миры, состоящей из нескольких металлических стержней. Показаны ограничения, накладываемые на использование разработанной методики по диаметру стержня, длине, и точности его вертикальной установки.

Annotation: The method for a radar test ranges resolution and scattering center's coordinates determination precision is considered. Test object shape is justified for purposed method. Developed method has higher precision compare with multi pin test object case. A number of restrictions it is shown for the purposed method, such as pin diameter, pin length and its vertical installation accuracy.

Ключевые слова: радиолокационный измерительный комплекс, разрешающая способность, центр рассеяния, радиолокационное изображение, радиолокационная мира

Keywords: radio anechoic chamber, radar test ranges, resolution, scattering center, radar image, radar test object.

Введение

Одной из ключевых задач радиолокационных измерительных комплексов (РИК) является оценивание радиолокационной заметности (РЛЗ) объектов [1, 2, 3], в том числе локальной РЛЗ [2, 3], позволяющей определять основные механизмы (источники) рассеяния, обуславливающие высокий уровень интегральной (суммарной) заметности при заданных частотно-угловых условиях наблюдения [4]. Выявление локальных источников рассеяния позволяет принимать обоснованные меры по снижению интегральной (суммарной) заметности при заданных частотно-угловых условиях наблюдения [4]. К ключевым метрологическим характеристикам РИК при решении задач контроля локальной РЛЗ относятся разрешающая способность и погрешность определения координат центров рассеяния (ЦР) [2, 3]. Таким образом, актуальной является задача по разработке математического аппарата, позволяющего с повышенной точностью оценивать разрешающую способность и пределы погрешности определения координат ЦР РИК.

Математическая постановка задачи

Пусть РИК выполняет задачи по контролю локальной РЛЗ объектов в диапазоне частот $F = f_{\max} - f_{\min}$, $f \in [f_{\min}; f_{\max}]$ и угловой апертуре $\Psi = \psi_{\max} - \psi_{\min}$, $\psi \in [\psi_{\min}; \psi_{\max}]$. Оценка локальных источников рассеяния осуществляется посредством формирования двумерных радиолокационных изображений (РЛИ) $S(y, x)$ объектов испытаний с разрешением по продольной Δy и поперечной Δx координатам, причем для удобства целесообразно использовать допущение о равенстве двух разрешений $\Delta x = \Delta y$. Тогда потенциально реализуемое разрешение по продольной и поперечной координатам будет определяться выражением (1).

$$\Delta y = \Delta x = \frac{c}{2F} = \frac{\lambda_c}{2\Psi}, \quad (1)$$

где: c – скорость распространения электромагнитной волны в свободном пространстве; λ_c – центральная длина волны частотного диапазона F ; Ψ – размер инверсно синтезируемой апертуры.

Погрешности определения положения ЦР на РЛИ по продольной δy и поперечной δx координатам будут в соответствии с теорией определяться следующим выражением:

$$\delta y = \delta x = \frac{c}{2F\sqrt{Q}} = \frac{\lambda_c}{2\Psi\sqrt{Q}} = \frac{\Delta y}{\sqrt{Q}} = \frac{\Delta x}{\sqrt{Q}}, \quad (2)$$

где Q – отношение сигнал/шум.

Необходимо разработать методику $M\{\}$, позволяющую оценить разрешающую способность и погрешность определения координат ЦР радиолокационного измерительного комплекса по результатам формирования РЛИ $S(y, x)$:

$$\{\Delta y, \Delta x, \delta y, \delta x\} = M\{S(y, x)\} = M\{I\{\dot{S}(f, \theta)\}\}, \quad (3)$$

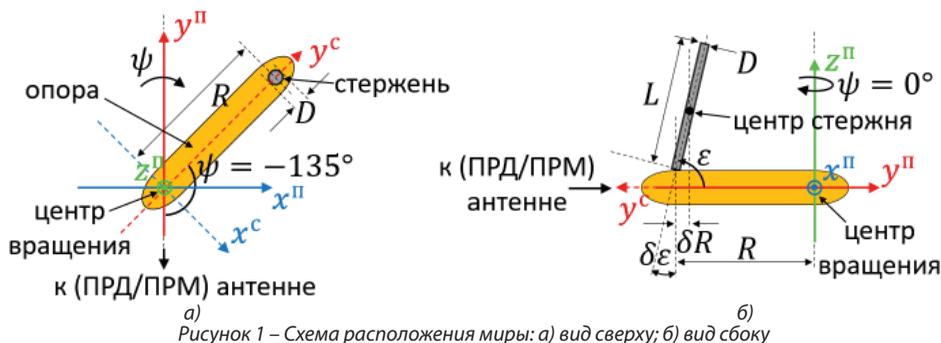
где: $I\{\}$ – оператор формирования РЛИ; $\dot{S}(f, \theta)$ – комплексная частотно-ракурсная характеристика (ЧРХ) тестового объекта, измеряемая в РИК.

Методика оценки разрешающей способности и погрешности определения координат

Прежде всего необходимо обосновать облик тестового объекта – радиолокационной миры, по которой будут выполняться измерения комплексной ЧРХ $\dot{S}(f, \psi)$ и в дальнейшем оцениваться набор искомым параметров $\{\Delta y, \Delta x, \delta y, \delta x\}$. В целях минимизации систематических погрешностей, обусловленных наличием

многократных переотражений [и спекл-эффекта [2, 3], радиолокационная мира должна быть основана на одном единственном механизме рассеяния, сформированном при помощи локального ЦР. Локальный ЦР позволяет оценить параметры функции рассеяния точки (ФРТ) [5] РИК в режиме построения РЛИ. Данным свойствам удовлетворяет одиночный вертикально ориентированный стержень, диаметр которого много меньше длины волны $D \ll \lambda_c$, а длина может составлять величину в несколько длин волн $L \approx m\lambda_c$, где $m > 1$. Для определенности удобно использовать критерий $D < \lambda_c / \pi$, что соответствует рэлеевскому рассеянию и отсутствию ползущей волны.

На шаге 1 необходимо установить на опорно-поворотное устройство миру в виде вертикально ориентированного одиночного стержня, расположенного на заданном удалении от центра ($R \pm 0,1$ мм). Расстояние контролировать штангенциркулем, погрешность которого принимается равной $\pm 0,1$ мм. При этом расстояние не должно превышать размеров рабочей зоны РИК $R \leq R_{ps}$. Начальное значение угла ориентации миры установить равным $\psi_1 = -135^\circ$ относительно направления излучения/приема, как показано на рисунке 1. Данное начальное положение позволяет исключить из рассмотрения углы, близкие к $\psi = \pm 180^\circ$, при которых возникает взаимодействие миры с радиопрозрачной опорой.



На рисунке 1 б показано влияние погрешности вертикального расположения металлического стержня $\delta \varepsilon$ с точки зрения возникновения паразитной миграции его фазового центра δR . Указанная ошибка пропорциональна синусу угла ошибки $\delta R = 0,5L \cdot \sin(\delta \varepsilon)$. Так, при угловой погрешности $\delta \varepsilon = 1^\circ$ паразитное смещение составляет $\delta R = 0,0087L$. Кроме того, при наклоне штывра сказывается паразитная дифракция на его вершине, интерферирующая с его основным механизмом рассеяния.

На шаге 2 необходимо выполнить измерения комплексной полной ЧРХ рассеяния миры $\dot{S}(f, \psi)$ в диапазоне частот $F = f_{\max} - f_{\min}, f \in [f_{\min}; f_{\max}]$ и угловой апертуре $\Psi = \psi_{\max} - \psi_{\min}, \psi \in [\psi_{\min}; \psi_{\max}]$, где $\psi_{\min} = -135^\circ, \psi_{\max} = 135^\circ$. При этом шаг по частоте df и углу поворота $d\psi$ должны выбираться исходя из выражения (4) таким образом, чтобы размеры окна однозначности по продольной Y и поперечной X координатам формируемого РЛИ перекрывало максимальный размер миры $Y > 2R, X > 2R$.

$$df = \frac{c}{2Y} \cdot \frac{\lambda_c}{2X}, \quad (4)$$

$$d\psi = \frac{\lambda_c}{2X}$$

где λ_c – центральная длина волны диапазона частот F .

На шаге 3 необходимо разбить полную ЧРХ мира на набор парциальных ЧРХ для значений центральных углов инверсно-синтезируемых апертур $\psi_{op} \in [\psi_{мин} + \Psi_{обр} \dots \psi_{макс} - \Psi_{обр}]$ с шагом $d\psi$, где $\Psi_{обр}$ – интервал синтезирования апертуры, при котором достигается равенство разрешений $\Delta y = \Delta x$:

$$\Psi_{обр} = \frac{\lambda_c}{2\Delta x} = \frac{\lambda_c}{2\Delta y} = \frac{\lambda_c 2F}{2c} = \frac{F}{f_c}, \quad (5)$$

где f_c – центральная частота диапазона частот F . Тогда полная комплексная ЧРХ будет разбита с перекрытием на P парциальных ЧРХ $\dot{S}(f, \psi) \rightarrow \dot{S}_p(f, \psi) = \dot{S}(f, \psi, \psi_{op})$, $p = 1 \dots P$ в соответствии с выражением (6).

$$P = \frac{\Psi}{d\psi} = \frac{\Psi}{\Psi_{обр}}, \quad (6)$$

Разбиение полной ЧРХ на P парциальных ЧРХ позволяет в дальнейшем получить статистику при оценивании разрешающей способности Δy , Δx и погрешности определения местоположения ЦР δy , δx .

На шаге 4 необходимо произвести синтез набора РЛИ мира для всех значений центральных углов инверсно-синтезируемых апертур $p = 1 \dots P$.

$$S(y^n, x^n, \psi_{op}) = I\{\dot{S}(f, \psi, \psi_{op})\}, \quad (7)$$

где $I\{\}$ – оператор формирования РЛИ

Далее на шаге 5 необходимо оценить координаты местоположения центра рассеяния (ЦР) для набора РЛИ в портретной системе координат: $y_0^n(\psi_{op})$, $x_0^n(\psi_{op})$. Для этого могут быть использованы различные алгоритмы от простого поиска максимального значения, до различных методов спектрального оценивания [6, 7].

На шаге 6 с помощью матрицы поворота от $y_0^n(\psi_{op})$, $x_0^n(\psi_{op})$ перейти к координатам, заданным в собственной строительной системе координат мира:

$$\begin{bmatrix} y_0^c(\psi_{op}) \\ x_0^c(\psi_{op}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\psi_{op} & -\sin\psi_{op} \\ \sin\psi_{op} & \cos\psi_{op} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_0^n(\psi_{op}) \\ x_0^n(\psi_{op}) \end{bmatrix}. \quad (8)$$

На шаге 7 рассчитываются значения погрешностей:

$$\begin{aligned} \delta y(\psi_{op}) &= y_0^c(\psi_{op}) - R \\ \delta x(\psi_{op}) &= x_0^c(\psi_{op}) - 0 \end{aligned} \quad (9)$$

Тогда на 8-м шаге систематические и случайные составляющие погрешностей могут быть найдены с помощью выражений (10) и (11), соответственно.

$$M[\delta y] = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \sqrt{(y_0^c(\psi_{op}) - R)^2} \quad (10)$$

$$M[\delta x] = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \sqrt{(x_0^c(\psi_{op}) - 0)^2}$$

$$\sigma[\delta y] = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \sqrt{(y_0^c(\psi_{op}) - M[\delta y])^2} \quad (11)$$

$$\sigma[\delta x] = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \sqrt{(x_0^c(\psi_{op}) - M[\delta x])^2}$$

На шаге 9 для оценивания разрешающей способности РИК по найденным координатам местоположения ЦР (шаг 5) и набору РЛИ оценить амплитуды ЦР:

$$S(\psi_{op}) = S(y_0^n, x_0^n, \psi_{op}). \quad (12)$$

На шаге 10 для каждого значения ψ_{op} сформировать два сечения ФРТ: по продольной и поперечной портретным координатам:

$$\begin{aligned} S(x^n, \psi_{op}) &= S(y_0^n, x_0^n, \psi_{op}) \\ S(y^n, \psi_{op}) &= S(y_0^n, x_0^n, \psi_{op}) \end{aligned} \quad (13)$$

Далее на шаге 11 для каждого сформированного сечения оценить ширину ФРТ (по уровню половинной мощности ЦР) по продольной $\Delta y(\psi_{op})$ и поперечной $\Delta x(\psi_{op})$ координатам.

На заключительном шаге 12 в качестве минимально разрешающей способности РИК следует использовать оценку, полученную при помощи выражения (14).

$$M[\Delta y] = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \Delta y(\psi_{op}) \quad (14)$$

$$M[\Delta x] = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \Delta x(\psi_{op})$$

Апробация методики

В радиолокационном измерительном комплексе «Цунами-4» Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (рисунок 2 а) проведены измерения полной комплексной ЧРХ мира $\dot{S}(f, \psi)$, облик которой обоснован в настоящей работе и показан на рисунке 2 б.

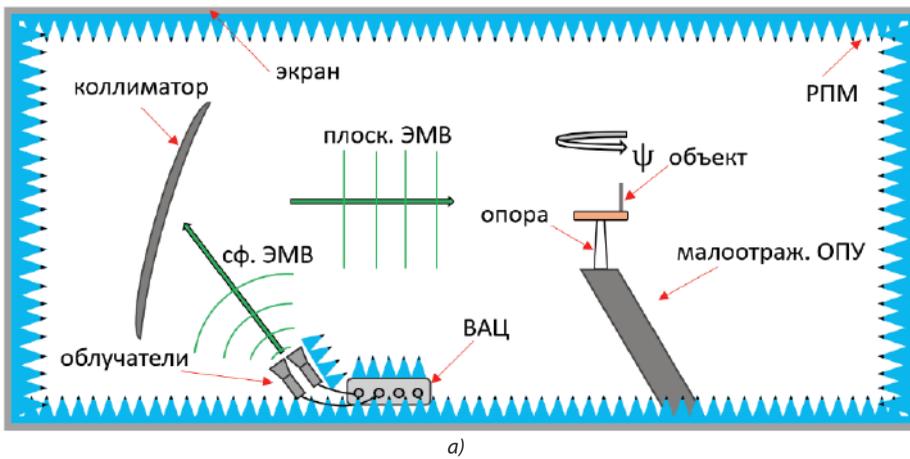


Рисунок 2 – Измерения ЧРХ миры в условиях РИК «Цунами-4»: а) схема проведения измерений; б) мира на радиопрозрачной опоре

Диапазон частот измерений составил $F = 4$ ГГц от 8 до 12 ГГц с шагом 5 МГц, а угловая апертура $\Psi = 270^\circ$ от 46° до 254° с шагом 1° . Амплитудная и фазовая ЧРХ приведены на рисунке 3.

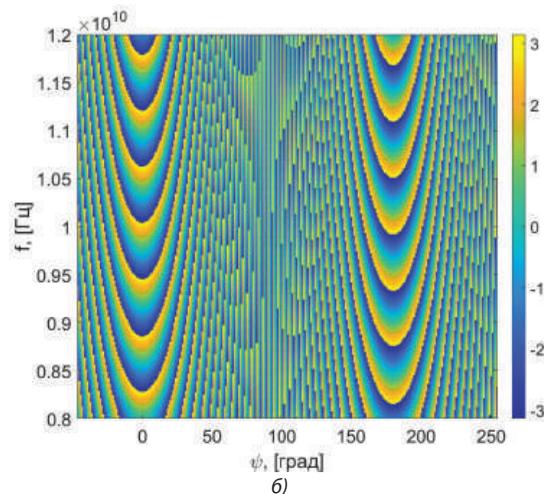
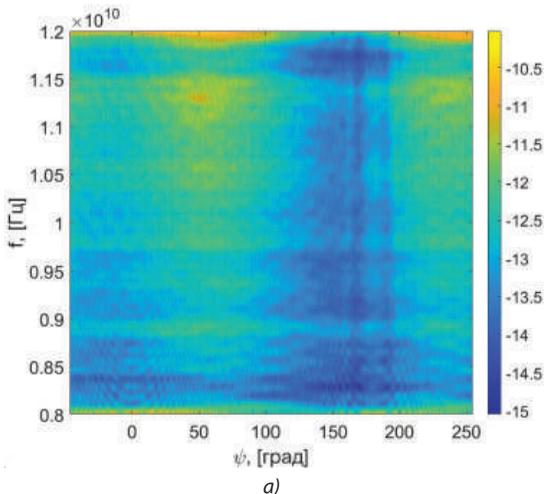


Рисунок 3 – ЧРХ миры: а) амплитудная ЧРХ; б) фазовая ЧРХ

На рисунке 3 а видно, что на краях частотного диапазона облучателей РИК происходит завышение эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) тестового стержня, средняя неравномерность амплитудной ЧРХ составляет порядка 2 дБ, при этом проявляется взаимодействие стержня с радиопрозрачной опорой вблизи угла $\psi = 180^\circ$, что приводит к локальному снижению ЭПР и увеличению неравномерности. Нормированная синопграмма миры приведена на рисунке 4.

Для оценивания продольного y_0^c и поперечного x_0^c положений штыря в строительной системе координат с помощью метода наименьших квадратов (МНК) выполнена оценка параметров закона движения ЦР штыря на синопграмме:

$$\hat{y}(\psi) = x_0^c \sin(\psi) + y_0^c \cos(\psi). \quad (15)$$

В результате решения: $x_0^c = 0$ м, $y_0^c = 0.2553$ м. Невязки найденных положений ЦР $\hat{y}(\psi)$ и закона (15) с параметрами x_0^c, y_0^c приведены на рисунке 5.

На рисунке 5 видно, что средний уровень невязок составляет порядка 0,1 мм, в то время как в окрестностях $\psi = 180^\circ$ они достигают 0,4 мм, что вызвано взаимодействием стержня с радиопрозрачной опорой.

На основе полной комплексной ЧРХ миры $\hat{S}(f, \psi)$ были сформированы $P = 231$ парциальных комплексных ЧРХ $\hat{S}(f, \psi, \psi_{op})$, с апертурой $\Psi_{обр} = 0,4$ рад таким образом, чтобы $\Delta x = \Delta y$. В соответствии с шагом 4 был сформирован соответствующий набор из $P = 231$ РЛИ $S(y^n, x^n, \psi_{op})$ с шагом $d\psi_0 = 1^\circ$. На рисунке 6 в качестве примера показаны два РЛИ для $\psi_0 = 7^\circ$ и $\psi_0 = 47^\circ$.

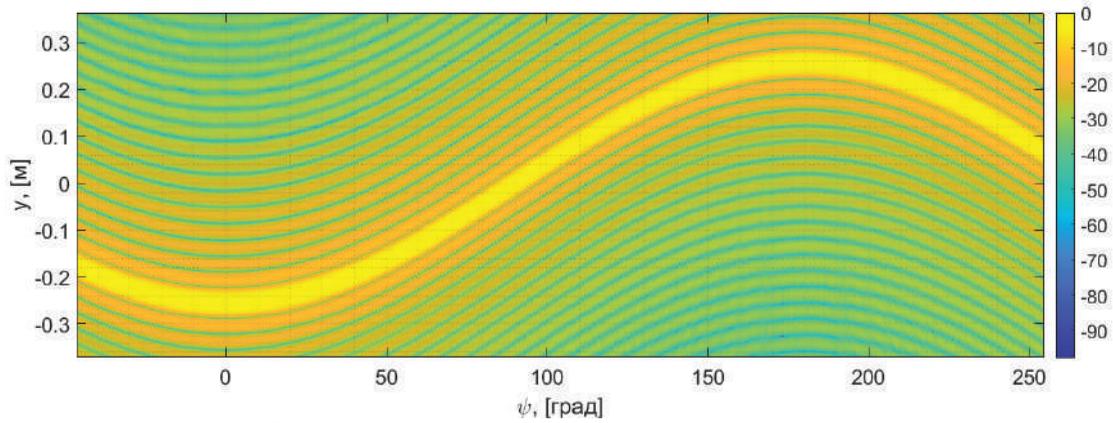


Рисунок 4 – Нормированная радиолокационная синограмма миры

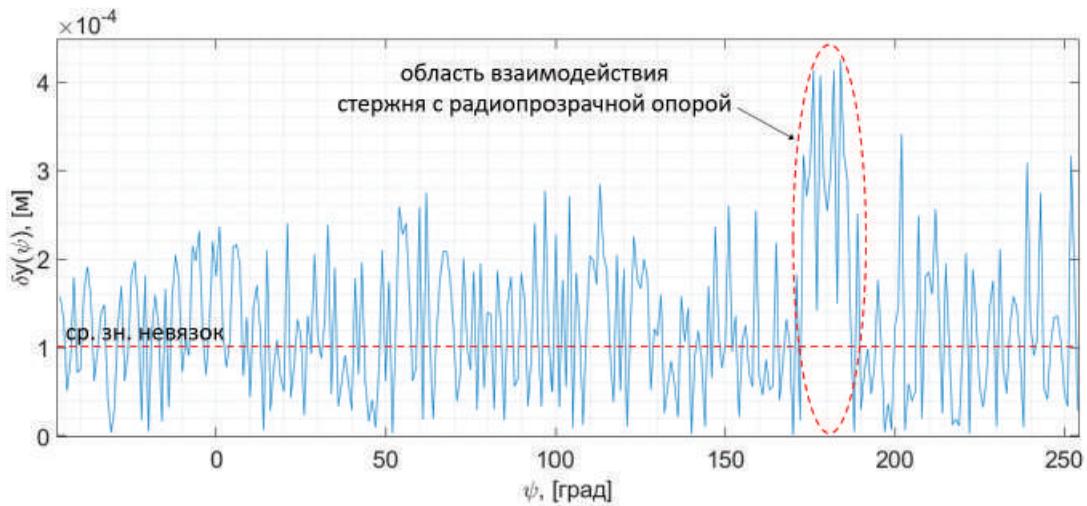
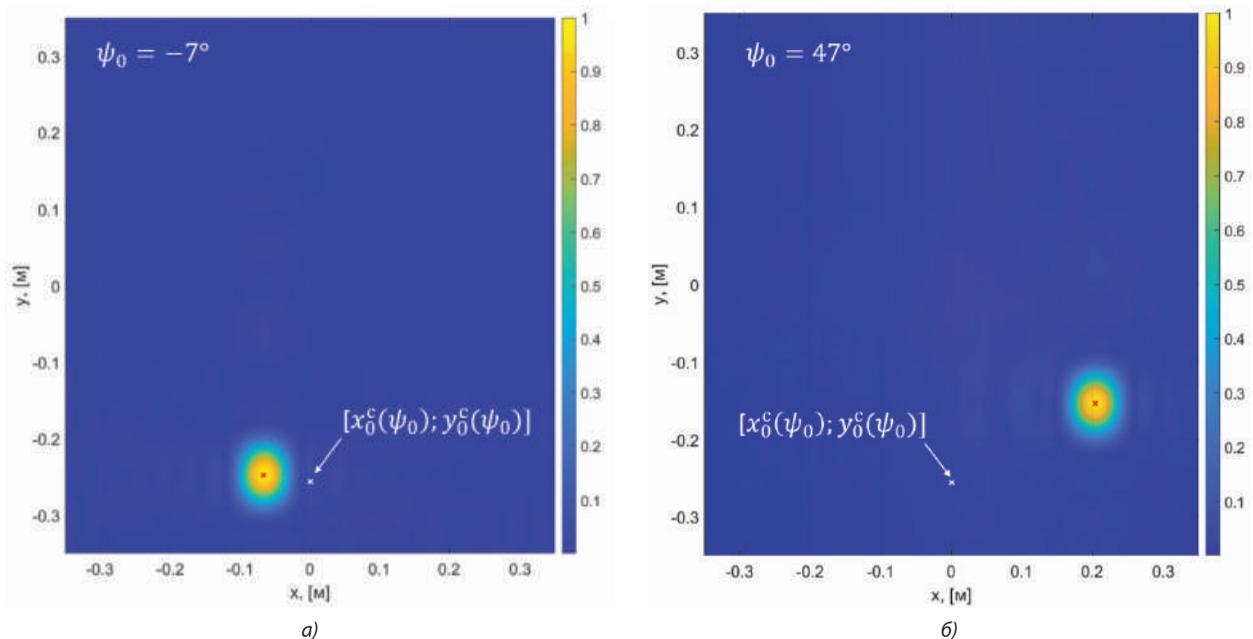


Рисунок 5 – Невязки найденных положений ЦР и закона его движения

Рисунок 6 – РЛИ миры для двух значений углов: а) $\psi_{01} = 7^\circ$; б) $\psi_{0100} = 47^\circ$

Далее были найдены положения максимумов ЦР для различных значений ψ_{op} , $p = 1 \dots P$ в портретной системе координат $y_0^n(\psi_{op})$, $x_0^n(\psi_{op})$ и выполнен их перевод в строительную систему координат $y_0^c(\psi_{op})$, $x_0^c(\psi_{op})$ в соответствии с (8). На рисунке 6 красным крестом показаны координаты ЦР в портретной системе координат, белым – ко-

ординаты ЦР в строительной системе координат. На основе полученных оценок были рассчитаны ошибки оценивания местоположения ЦР для продольной и поперечной координат в зависимости от центрального угла инверсно синтезируемой апертуры $\delta y(\psi_{op})$, $\delta x(\psi_{op})$. Графики указанных зависимостей приведены на рисунке 7.

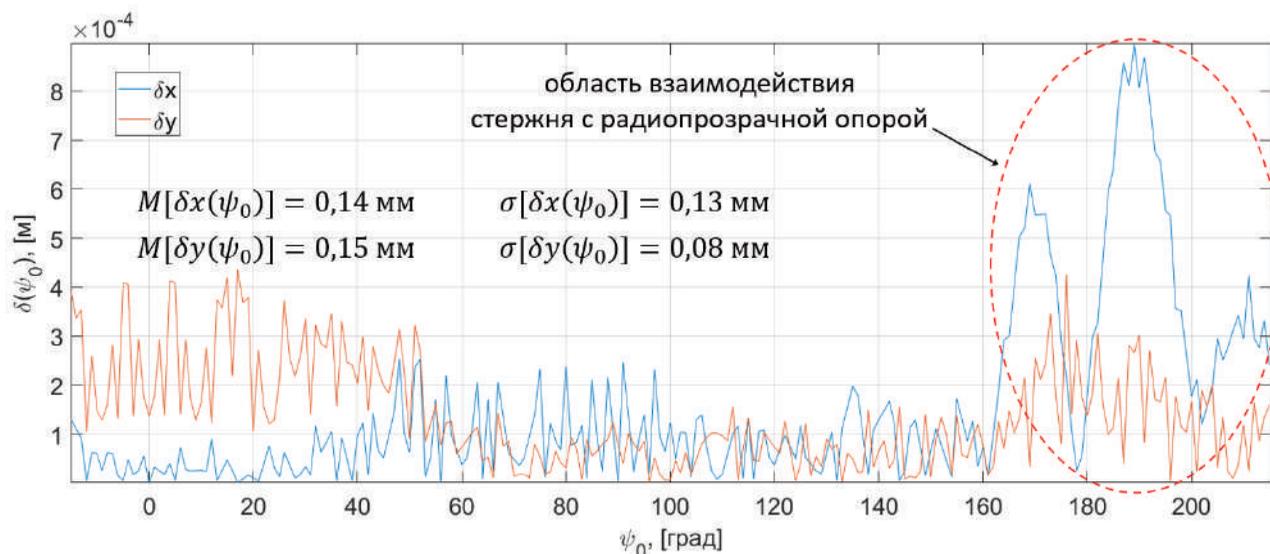


Рисунок 7 – Ошибки определения местоположений локального ЦР

На основе (10), (11) были рассчитаны статистические параметры погрешностей: математические ожидания $M[\delta y] = 0,14$ мм, $M[\delta x] = 0,15$ мм и среднеквадратические отклонения $\sigma[\delta y] = 0,13$ мм, $\sigma[\delta x] = 0,08$ мм. Полученные значения значительно ниже, чем в работе [8]. На рисунке 7 также наблюдается область взаимодействия стержня с радиопрозрачной опорой, без учета которой значения случайных составляющих погрешностей могут быть существенно снижены до значений менее 0,1 мм. Из результатов сравнения зависимостей, представленных на рисунках 5 и 7, следует вывод, что потенциальная точность определения координат для двумерных РЛИ выше в соответствии с выражением (2) и пропорциональна количеству угловых измерений, интегрируемых при инверсном синтезировании парциальной апертуры $\Psi_{обp}/d\psi = 22$. В то же самое время близость значений объясняется использованием двумерной оконной функции Хэмминга при формировании двумерных РЛИ.

Далее в соответствии с шагами 11 и 12 выполнялась оценка ширины ФРТ по продольной и поперечной координатам в интересах оценивания разрешающей способности. Графики зависимостей $\Delta y(\psi_{op})$ и $\Delta x(\psi_{op})$ представлены на рисунке 8. На графиках видно, что в окрестности угла $\psi = 180^\circ$ также проявляется эффект взаимодействия металлического стержня с радиопрозрачной опорой. На основе представленных зависимостей были рассчитаны оценки статистических параметров: математические ожидания $M[\delta y] = 4,3$ см, $M[\delta x] = 4,77$ см и среднеквадратические отклонения $\sigma[\delta y] = 0,13$ мм, $\sigma[\delta x] = 0,16$ мм. Худшее разрешение по поперечной координате объясняется большим шагом по угловой координате $d\psi = 1^\circ$ и округлением в меньшую сторону при формировании парциальных субапертур.

Полученные значения соответствуют исходным параметрам F и $\Psi_{обp}$ и теоретическим оценкам (1) с учетом использования оконной функции Хэмминга, что говорит о верификации методики и возможности её применения на практике.

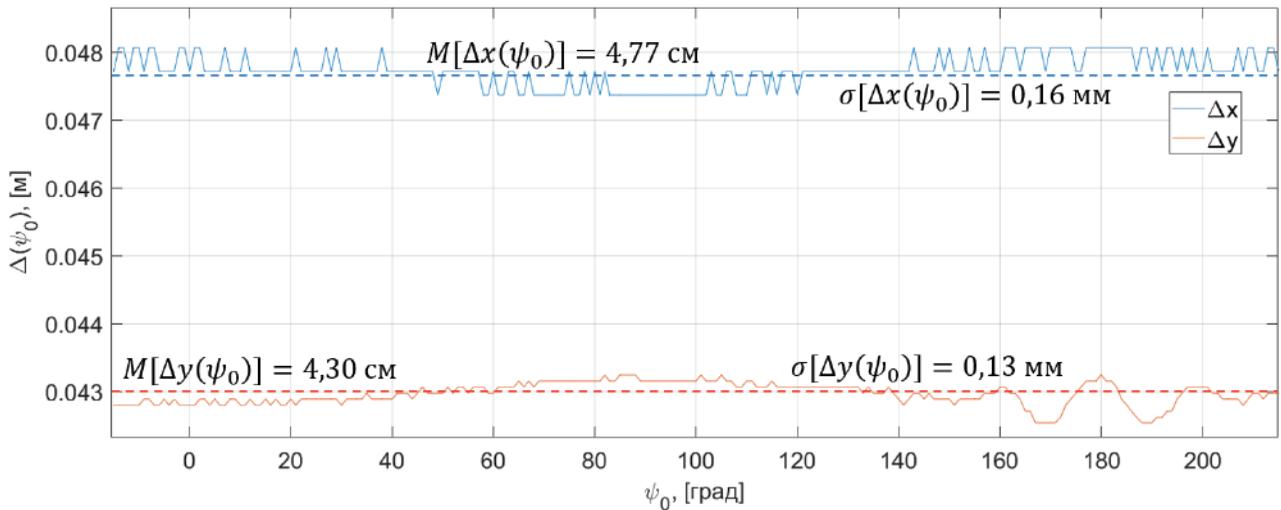


Рисунок 8 – Зависимости ширины ФРТ по продольной и поперечной координатам от значения центрального угла инверсно-синтезируемой апертуры

Заключение

Разработана методика оценивания минимальной разрешающей способности и пределов погрешности определения координат центров рассеяния радиолокационных измерительных комплексов. Обоснован облик радиолокационной миры, используемой для решения задач методики. Достоинствами разработанной методики являются ее простота и высокие метрологические характеристики по сравнению со случаем использования радиолокационной миры, состоящей из нескольких металлических стержней. Показаны ограничения, накладываемые на использование разработанной методики по диаметру штыря, длине, точности его вертикальной установки, а также углах поворота миры относительно направления излучения/приема сигнала. Практическая значимость разработанной методики заключается в ее применении для оценивания минимальной разрешающей способности и пределов погрешности определения координат ЦР при первичной (периодической) поверке РИК. Дальнейшие исследования целесообразно направить на реализацию известных методов сверхразрешения [6, 7], а также оценивание влияния систематических составляющих на погрешность определения местоположений локальных ЦР.

Список использованных источников

1. Е.Н. Майзельс, В.А. Торгованов, Измерение характеристик рассеяния радиолокационных целей, Советское радио, 1972, с. 232.
2. E. Knott, Radar cross section measurements, SciTech, 2006, p. 546.
3. Н.П. Балабуха, А.С. Зубов, В.С. Солосин, Компактные полигоны для измерения характеристик рассеяния объектов, Наука, 2007, с. 266.
4. А.А. Казанцев, Б.А. Самородов, А.М. Терентьев, Методический подход к снижению локальной радиолокационной заметности объектов при заданных частотно-угловых условиях наблюдения, Уральский радиотехнический журнал, 2021, 5(2), сс. 162–178.
5. M. Cheney, B. Borden, Fundamentals of radar imaging, Society for Industrial and Applied Mathematics, 2009, p. 140.
6. P. Stoica, R. Moses, Spectral analysis of signals, Prentice Hall, 2005, p. 427.
7. X. Yi, S. Zhang, Y. Zhou, Efficient 2-D MUSIC algorithm for super-resolution moving target tracking based on an FMCW radar, Geodesy and Geodynamics, 2024, 15, pp. 504–515.
8. X. Tan, C. Wang, Y. Fang, B. Wu, D. Zhao, J. Hu, Radar Target Radar Cross-Section Measurement Based on Enhanced Imaging and Scattering Center Extraction, Sensors, 2024, 24, 6315, pp. 1–24.

РУДАКОВ АНАТОЛИЙ ИВАНОВИЧ RUĐAKOV A.I.

*Рудакова О.А.,
ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России*

В 70-х-80-х годах XX века в СССР шло интенсивное формирование самостоятельной организационно-технической структуры – Метрологической службы Вооруженных Сил страны. В видах и родах войск (сил) на ослабевало внимание к метрологическому обеспечению ВВТ, дальнейшему развитию структуры поверочных органов и совершенствованию нормативно-правовой основы. Началом создания Метрологической службы ВС СССР является выход совместного постановления ЦК КПСС и Совмина СССР от 09.12.1972 года № 846–286 «Об улучшении метрологического обеспечения разработки, производства и эксплуатации вооружения и военной техники и развития метрологической базы страны».

Одним из тех, кто непосредственно в войсках участвовал в развитии системы метрологического обеспечения ВВТ являлся подполковник Рудаков Анатолий Иванович – офицер, метролог, патриот своей страны.



Фото 1 – Рудаков Анатолий Иванович, 1979 год.

Рудаков Анатолий Иванович (1951–1997) в 1973 году окончил Казанское высшее командное училище и зачислен в распоряжение командующего ПрикВО (Прикарпатский военный округ) на территории Украинской ССР. Начал свой военный путь с командира ракетно-технического взвода 122 ракетной бригады, базировавшейся в поселке Емильчино, Житомирской области Украинской ССР.

В 1977 году Анатолий Иванович назначен начальником отделения подготовки данных – заместителем начальника батареи управления ракетного дивизиона, где регулярно выезжал с бригадой на учебные пуски на полигоны, в том числе на военный полигон в Капустин Яр. В это время он стал активно интересоваться метрологией как наукой, изучать метрологическое обеспечение Вооруженных Сил СССР. В 1979 году Анатолий Иванович был назначен старшим инженером-метрологом контрольно-поверочного пункта службы ракетного вооружения 122 ракетной бригады, единственной лаборатории измерительной техники всей бригады, проводившей метрологическое обеспечение средств измерений воинских частей и подразделений и в других областях Украинской ССР.

В 1983 г. 122 ракетная бригада была передислоцирована в Центральную группу войск (ЦГВ) в Чехословакии в город Границе-на-Мораве на северо-востоке Моравии. На базе бригады была сформирована 127 лаборатория измерительной техники, начальником которой был назначен Рудаков Анатолий Иванович с присвоением очередного звания майор.

В 1985 году Анатолия Ивановича командируют в городок Луштенице в Среднечешский край для того, чтобы возглавить 280 лабораторию измерительной техники (ЛИТ), как отдельную воинскую часть. В штате 280 ЛИТ числились солдаты срочной службы, офицеры, а также гражданский персонал, командированные как вольнонаемные

служащие. Помимо метрологического обеспечения средств измерений соседних батальонов, лаборатория обслуживала еще 18-ю гвардейскую Инстенбургскую мотострелковую дивизию, базировавшуюся в г. Млада Болеслав.

Анатолий Иванович большое значение придавал организации повышения квалификации личного состава лаборатории, проводя обучающие лекции, выступления, семинары, а так же лично беседуя с каждым сотрудником.



Фото 2 – Методическая работа с личным составом 280 ЛИТ, г. Луштенице (ЧССР).

В августе 1986 года в Праге с участием заместителя командующего Центральной группы войск по вооружению и начальника штаба вооружения Чехословацкой народной армии Метрологическая служба (генерал-майоры Петров А.В. и Кузнецов В.А., полковники Попов В.А. и Лаптиев Э.И.) провела 3-х дневные сборы с офицерами всех технических служб ЦГВ и Чехословацкой народной армии. В сборах участвовали более 80 офицеров и генералов с обеих сторон.



Фото 3 – Пленарное заседание сборов военных метрологов. Прага, 1986 год.



Фото 4 – Генерал-майор Кузнецов В.А. (слева). Сборы военных метрологов. Прага, 1986 год.

Участники сборов посетили 280 ЛИТ, возглавляемую майором Рудаковым Анатолием Ивановичем, где ознакомились с ее задачами, текущей работой, перспективами развития, а также осмотрели представленные средства измерений.



Фото 5 – Участники сборов в 280 ЛИТ, г. Луштенице, 1986 год.

В 1987 году Анатолий Иванович возглавил региональную базу измерительной техники (№ 5398) ПрикВО в г. Львов (Западная Украина) с присвоением очередного звания подполковник. В штате базы числились несколько десятков военнослужащих-офицеров, гражданский персонал, автомобильная техника. Особенностью базы было наличие рабочих эталонов 1-го разряда, большого количества средств измерений, автомобильный парк, около десятка подвижных лабораторий измерительной техники (ПЛИТ) типа ПЛИТ-А2-3, ПЛИТ-А3-2, велась работа по созданию установок высшей точности для контроля диаграмм направленности антенных фазированных решеток и осуществлялось метрологическое обеспечение лабора-

торий измерительной техники различных видов Вооруженных Сил, воинских частей и полигонов, дислоцировавшихся на западе Украинской ССР. Неоднократно принимались выездные метрологические группы из 32 Метрологического центра Министерства обороны СССР.

В конце 1980-х годов на Украине активизировались националистические движения украинских национал-демократов, которые требовали независимости республики. 16 июля 1990 года Верховный Совет Украинской ССР принял Декларацию о государственном суверенитете Украины, а 24 августа 1991 года Верховный Совет Украинской ССР принял постановление о провозглашении независимости Украины. В наследство от СССР ей досталась колоссальная часть оборонного и гражданского технологических секторов, большое количество обычных и ядерных вооружений, внушительный воздушный и морской флот. Личный состав всех Вооруженных Сил, который был в это время на Украине, ставили перед выбором: присягнуть на верность Украине и продолжить службу на ее территории или отказаться с обязательным выездом из страны.

Решение Анатолий Иванович принимал не долго, ответ был таков: «Я присягал верно служить и обещал защищать свою Родину – Союз Советских Социалистических Республик, один единственный и последний раз. Украине присягать не стану».

В течение ближайших нескольких месяцев Анатолий Иванович был переведен на должность старшего научного сотрудника 32 научно-исследовательского центра Министерства обороны СССР и вместе с семьей покинул г. Львов. До своего отъезда он организует масштабный вывоз с измерительной базы в железнодорожных контейнерах нескольких сотен единиц средств измерений, эталонов, особо ценного имущества и лабораторной мебели. А так же все ПЛИТ, которые числились в штате БИТ, перегоняет в 32 НИЦ МО СССР. В организации переезда и вывоза

имущества ему помогал заместитель начальника Метрологической службы ВС СССР полковник Лаптиев Э.И., с которым Анатолий Иванович был знаком еще по службе в Чехословакии, и который с 1983 года возглавлял метрологическую службу Южной группы войск ЧССР.

Работая в 32 НИЦ, Анатолий Иванович пользовался уважением командования и коллег, стал наставником для многих выдающихся впоследствии ученых-метрологов, работавших и служивших с ним, таких как Донченко С.И., Блинов И.Ю., Крошкин А.Н., Стрелов С.В. и др. В 1992 году Анатолий Иванович становится заместителем начальника отдела – начальником 232 лаборатории, ученым, хранителем военного эталона единицы угла фазового сдвига между двумя гармоническими электрическими напряжениями в диапазоне частот 0,01 Гц – 20 МГц ВЭ-23, где продолжал трудиться до конца жизни.

Рудаков Анатолий Иванович скоропостижно умер в 1997 году в возрасте 46 лет от тяжелой и неизлечимой болезни. Прощание с Анатолием Ивановичем происходило в актовом зале 32 ГНИИИ МО РФ. Собрались все друзья, родственники, сотрудники Метрологической службы, командование института во главе с генерал-майором Храменковым В.Н., однополчане и коллеги.. Рудаков Анатолий Иванович прошел славный путь, сделал очень много для развития метрологического обеспечения Вооруженных Сил СССР и России, был настоящим офицером, который душой болел за дело, которому посвятил жизнь и остался патриотом. Таких людей необходимо помнить и не забывать. Они делали историю метрологии Вооруженных Сил страны.

Литература

1. История военной метрологии. / под ред. Клейменова Ю.А., Попенкова А.Я., Попова В.И., Храменкова В.Н. и др. – М.: «Красная Звезда», 2019. – 540 с.
2. Электронные источники информации сети Internet.
3. Личные архивы и воспоминания автора.

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.

Оттиски 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 – полуторный, 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 подрису-

ночных 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 экспликация (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, shall not 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 shall not 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
nikiforova@vniiftri.ru

тел. 8(495) 944–56–41, Никифорова Надежда Николаевна,
Индекс – 45112 по Объединенному каталогу
«Пресса России»

<http://www.pressa-rf.ru/cat/1/edition/e45112/>

