

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.
С.С. Голубев, кандидат технических наук.
О.В. Денисенко, доктор технических наук.
Ю.А. Клейменов, доктор технических наук.
Д.А. Кузнецов.
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:

Надеин В.В.

Адрес редакции: 141006, г. Мытищи
Московской обл., Олимпийский проспект,
владение 12, строение 1, оф. 404
Адрес для переписки, размещения рекламы и приобретения журнала «Вестник метролога»:
п/о Менделеево, Солнечногорский р-н,
Московская область, 141570
Тел./факс
(495) 586-23-88; (495) 580-35-66.
E-mail: 32gnii_vm@mail.ru; vm@vniiftri.ru

Отпечатано ООО «Принт»
Юридический адрес:
426035, Россия, г. Ижевск,
Тимирязева ул, д. 5.
Тел. (3412) 56-95-53

Сдано в набор 13.11.2020
Подписано в печать 30.11.2020
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

Радиотехнические измерения

Голик А.М., д.т.н., Шишов Ю.А., д.т.н., Заседателев А.Н.,
Санкт-Петербургский военный институт войск
национальной гвардии, Клейменов Ю.А., д.т.н., ФГБУ
«ГНМЦ» Минобороны России (г. Мытищи, Московской
области), Бобов С.Ю., Михайловская военная
артиллерийская академия
Оценка динамического диапазона приемных модулей
цифровых антенных решеток радиолокационных систем 3

Радиотехнические измерения

Харитонов Е.Ю., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России,
Вышлов В.А., д.т.н., профессор, НИУ «МИЭТ»
Метод калибровки однопортового векторного анализатора
цепей и определения параметров калибровочных мер на
основе анализа откликов во временной области 9

Оптические и оптико-физические измерения величин

Егошин Д.А., д.т.н. Курт В.И., Васильев Д.Ю.,
АО «НПО ГИПО», г. Казань
К вопросу разработки средств метрологического
обеспечения оптико-электронных приборов, работающих в
ультрафиолетовом диапазоне спектра 17

Общие вопросы метрологии

Дорохов А.Н., к.т.н., доцент, Ковалевский С. Г., к.т.н.,
Богданов Г.М., Военно-космическая академия имени
А.Ф. Можайского, Богданов Г.П., д.т.н., ФГБУ «ГНМЦ»
Минобороны России
Определение объема подменного фонда средств
измерений при поверке на предприятиях оборонно-
промышленного комплекса 24

Физико-химические измерения величин

Сайткулов Н.О., к.т.н., Казанский национальный
исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань
Специфика исследования концентрации взвешенных
примесей в составе сточных вод 30

Научно-технические обзоры материалов конференций, симпозиумов

Плотников А.В., к.т.н., Надеин В.В., к.п.н., доцент,
Храменков А. В., к.т.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России
Задачи и перспективы развития контрольно-
измерительного и испытательного оборудования в России
(17-я Международная выставка испытательного и
контрольно- измерительного оборудования
Testing & Control (27-29 октября) 34

Выставки, конференции в I квартале 2021 года

Экспо Контроль-2021 (31 марта – 02 апреля)
Фотоника (30 марта – 01 апреля)

Информация

Новинки измерительной техники
Перечень научных статей, опубликованных в 2020 году

«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.

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

S.S. Golubev, candidate of the technical sciences.

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

Y.A. Kleymenov, doctor of the technical sciences.

D.A. Kuznetsov.

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, Mytishchi Moscow region, Olympic avenue, possession 12, construction 1, of. 404

Address: 141570, Moscow region, Solnechnogorsk district, Township Mendeleevo
telephone/fax (495) 586-01-00;
(495) 586-23-88; (495) 580-35-66.
E-mail: 32gnii_vm@mail.ru; vm@vniiftri.ru

It is Printed by OOO «Print»

Legal address: 426035, Russia, Izhevsk, Timiryazeva st., 5.
telephone (3412) 56-95-53

The Circulation
300 copies

CONTENTS

Measurements of radio engineering quantities

Golik A.M., d.t.s., Shishov YU.A., d.t.s., SANKT-PETERSBURG military institute of the troopses to national guard, Kleymenov YU.A., d.t.s., FSBI «MSMC» of Russia Ministry of Defence (Mytishchi, Moscow Region), Bobov S.YU., Mihaylovskaya military artillery academy Zasedatelev A.N., SANKT-PETERSBURG military institute of the troopses to national guard

Estimation of the dynamic range of digital receiving modules antenna arrays of the radar systems 3

Measurements of radio engineering quantities

KHaritonov E.Yu, FSBI «MSMC» of Russia Ministry of Defence (Mytishchi, Moscow Region), Vyshlov V.A., d.t.s., professor, NIU «MIET»

The method of single-port vector network analyzer calibration and determination of calibration standards parameters based on analysis of response in time domain 9

Optic and optic- physical measurements

Yegoshin D.A., Kurt V.I.(Doctor of Engineering Sciences), Vasilyev D.Y. JSC «NPO GIPO», Kazan

On developing metrological support for electro-optical devices working in ultraviolet spectral range 17

Common questions of a metrology

Dorokhov A. N., c.t.s., Professor, associate Professor, Kovalevsky S. G., c.t.s., Bogdanov G.M., Military space Academy named after A. F. Mozhaysky, Bogdanov G. P., d.t.s., FSBI «MSMC» of Russia Ministry of Defence (Mytishchi, Moscow Region)

Determination of the volume of the replacement fund of measuring instruments during verification at the enterprises of the military-industrial complex 24

Physical and physico-chemical measurements

Saitkulov N. O., c.t.s., Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev

Specific study of concentration of suspended impurities in wastewater composition 30

Nauchno-tehnicheskies reviews materials conferences and symposiums

Plotnikov A.V., k.t.s., Nadein V.V., k.p.s., Khramenkov A.V., k.t.s., FSBI «MSMC» of the Ministry of Defense of the Russian Federation

Problems and prospects of the development checking-measuring and test equipment in russia (17 International exhibition Testing & Control. 27–29.10.2020) . . 34

Exhibitions to conferences in i quarters 2021

Expo Control-2021 (31 марта – 02 апреля)
«Photonics. Word of lasers and optics-2021» (Mart, 30 – April, 1)

Information

Novelties of the measuring technology
List scientific publication in 2020

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ПРИЕМНЫХ МОДУЛЕЙ ЦИФРОВЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ESTIMATION OF THE DYNAMIC RANGE OF DIGITAL RECEIVING MODULES ANTENNA ARRAYS OF THE RADAR SYSTEMS

Голик А.М., д.т.н., Санкт-Петербургский военный институт войск национальной гвардии, Шишов Ю.А., д.т.н., Санкт-Петербургский военный институт войск национальной гвардии, Клейменов Ю.А., д.т.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России (г. Мытищи, Московской области), Бобов С.Ю., Михайловская военная артиллерийская академия, Заседателев А.Н., Санкт-Петербургский военный институт войск национальной гвардии
Golik A.M., d.t.s., Shishov YU.A., d.t.s., SANKT-PETERSBURG military institute of the troops to national guard, Kleymentov YU.A., d.t.s., FSBI «MSMC» of Russia Ministry of Defence (Mytishchi, Moscow Region), Bobov S.YU., Mihaylovskaya military artillery academy Zasedatelev A.N., SANKT-PETERSBURG military institute of the troops to national guard
e-mail: metr1956@yandex.ru, urshishov@gmail.com, ura19572006@yandex.ru, serega26rus.bobov@yandex.ru, annzasedatelev@gmail.com
tel. 8(495)583-99-58

Разработан новый подход к трактовке термина «динамический диапазон приемного модуля цифровой антенной решетки» и оценке динамического диапазона, в котором мощность подаваемых на вход приемного модуля контрольных сигналов изменяется в диапазоне ожидаемых значений мощности при работе радиолокационных систем дальнего обнаружения в реальных условиях эксплуатации с последующим накоплением энергии выходного сигнала до получения отношения сигнал-шум, необходимого для обработки результатов оценки с достаточной точностью.

A new approach has been developed to the interpretation of the term «dynamic range of the receiving module of the digital antenna array» and the evaluation of the dynamic range, in which power of control signals supplied to the input of the receiving module varies within the range of expected power values during operation of radar systems of long-range detection in real operating conditions with further accumulation of energy of the output signal until obtaining the signal-to-noise ratio necessary for processing the evaluation results with sufficient accuracy.

Ключевые слова: цифровая антенная решетка, приемный модуль, динамический диапазон, оценка динамического диапазона, отношение сигнал/шум.

Key words: digital antenna lattice, receiving module, dynamic range, assessment of dynamic range, relation signal/noise.

В современных радиолокационных цифровых антенных решетках (ЦАР) используются приемопередающие модули (ППМ), совокупность приемных каналов которых представляет собой цифровое приемное устройство радиолокационной системы (РЛС), осуществляющее цифровое суммирование сигналов, принятых каждым из модулей.

До определенного времени разработчики активных фазированных антенных решеток вынуждены были строить приемные модули (ПМ), или приемные каналы ППМ, по супергетеродинной схеме, так как аналого-цифровые преобразователи (АЦП) и цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП) с приемлемым для РЛС динамическим диапазоном могли работать на частотах до 200 МГц, что приводило к необходимости установки в ППМ преобразователей частоты [1]. Именно оценка амплитудных характеристик таких модулей рассмотрена в [2–3]. Однако современный уровень технологии АЦП дает возможность проводить аналого-цифровое преобразование сигналов с шириной спектра 2,8 ГГц со скоростью до 40

гигавыборок в секунду с 8–10-разрядным разрешением, при этом частотный диапазон входных аналоговых сигналов составляет до 13 ГГц [4]. На целесообразность такого решения указывалось в ряде работ [5–7], где отмечается, что при высоких требованиях к динамическому диапазону и коэффициенту шума приемного тракта его целесообразно реализовывать без частотного преобразования.

Приемные модули составляют основу приемных ЦАР в РЛС дальнего обнаружения. В [2] показано, что в дециметровом диапазоне волн при шаге решетки $d \approx 0,6\lambda$ число таких модулей на апертуре 100×50 м может превышать несколько десятков тысяч штук. Падающая на апертуру ЦАР электромагнитная энергия распределяется между всеми ПМ, поэтому следует ожидать, что мощность поступающего на вход ПМ сигнала будет иметь весьма малую величину, которая значительно меньше мощности внутренних шумов.

Традиционная трактовка термина «динамический диапазон приемного модуля», несмотря на

пазона, должна соответствовать мощности принимаемых сигналов, поступающих на его вход при работе РЛС в штатном режиме. В качестве контрольного сигнала целесообразно применение пачки N когерентных радиоимпульсов соответствующей мощности с последующим N -кратным когерентным суммированием выходных сигналов до получения отношения сигнал/шум, требуемого для обработки результатов измерений.

Линейность амплитудной характеристики испытываемого ПМ должна быть обеспечена в диапазоне полного размаха флуктуаций внутреннего шума, в противном случае, поскольку амплитуда полезного сигнала значительно меньше напряжений шумовых выбросов, при ограничении амплитуд шумовых выбросов может быть потерян полезный сигнал.

Литература

1. Топчиев С.А., Никитин М.В. Разработка в ПАО «РАДИОФИЗИКА» РЛС с цифровыми АФАР / Сборник научных трудов по материалам XIII молодежной научно-технической конференции «Радиолокация и связь – перспективные технологии». – М.: ПАО «Радиофизика», 03.12.2015. – С. 7–15.
2. Вахлов М.Г., Шишов Ю.А. Методика измерения динамического диапазона приемного модуля крупноапертурной цифровой антенной решетки / Труды V Всероссийской научно-технической конференции «РТИ СИСТЕМЫ ВКО – 2017». Москва, 25 мая 2017 г. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2018. – С. 247–259.
3. Вахлов М.Г., Шишов Ю.А. Динамический диапазон приёмного модуля крупноапертурной цифровой антенной решетки / Радиотехника. – 2018. – № 2. – С. 94–102.
4. Шурыгина В. Аналого-цифровые преобразователи: что нового. / Электроника: наука, технология, бизнес.–2009. – №1. – С. 16–21.
5. Frenzel L. High-Speed Data Converters Make Direct-Sampling Receivers Practical./ Electronic Design. Feb 12, 2019. – URL: <https://www.electronicdesign.com/analog/high-speed-data-converters-make-direct-sampling-receivers-practical>.
6. Добычина Е.М., Малахов Р.Ю. Цифровой приемопередающий модуль активной фазированной антенной решетки / Научный вестник МГТУ ГА. – М.: 2014. – № 209. – С. 117–123.
7. Голик А.М., Шишов Ю.А., Подгорный А.В., Санталов А.А. Совместное разрешение целей по дальности и угловым координатам радиолокационной станцией с цифровой антенной решеткой / Радиотехника. 2020. – Т. 84. – № 5 (9). – С. 16–27.
8. Теоретические основы радиолокации. Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Советское радио, 1970. 560 с.
9. Радиоприемные устройства. Под ред В.И.Сифорова. – М.: Советское радио, 1974. 563 с.
10. Шишов Ю.А., Голик А.М., Подгорный А.В., Бобов С.Ю., Трофимов Р.О. Цифровой приемный модуль активной фазированной антенной решетки. Патент № 2722408 (Россия), МПК H03M 1/12; H01Q 21/00. Опубликовано: 29.05.2020. – Бюл. № 16.
11. Белорусов Д.И., Щаденков Ю.А. Современные методы цифровой обработки сигналов в радиоприемных устройствах / Специальная техника. – 2011. – № 5. – С. 31–38.
12. Воскресенский Д.И., Канащенков А.И. Активные фазированные антенные решетки. – М.: Радиотехника, 2004. 488 с.
13. Григорьев Л.Н. Цифровое формирование диаграммы направленности в фазированных антенных решетках. – М.: Радиотехника, 2010. 144 с.
14. Слюсар В.И. Методика исследования линейного динамического диапазона приемных каналов цифровой антенной решетки / Радиоэлектроника (Изв. вузов). – 2004. – №9. – С.29–38.
15. Справочник по радиолокации. В 2 кн. Кн. 1. Под ред. М.И. Скольника, пер. с англ. с под общей ред. В.С. Вербы. – М.: Техносфера, 2014. 672 с.
16. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. – М.: Наука, 1980. 974 с.
17. ГОСТ 30605–98. Межгосударственный стандарт. Преобразователи измерительные напряжения и тока цифровые. Общие технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 18 с.
18. Генератор сигналов сверхвысокочастотный Wiltron 68369 В. Описание типа средства измерений. Приложение к свидетельству об утверждении типа средств измерений № 37631–08, 2006. – 3 с.
19. Комплект аттенуаторов измерительных КА-18–2. Описание типа средства измерений. Приложение к свидетельству об утверждении типа средств измерений № 53904, 2004. – 3 с.

МЕТОД КАЛИБРОВКИ ОДНОПОРТОВОГО ВЕКТОРНОГО АНАЛИЗАТОРА ЦЕПЕЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАЛИБРОВОЧНЫХ МЕР НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ОТКЛИКОВ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ

THE METHOD OF SINGLE-PORT VECTOR NETWORK ANALYZER CALIBRATION AND DETERMINATION OF CALIBRATION STANDARDS PARAMETERS BASED ON ANALYSIS OF RESPONSE IN TIME DOMAIN

Харитонов Е.Ю., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России (г. Мытищи, Московской области),
 Вышлов В.А., д.т.н., профессор, НИУ «МИЭТ»
 KHaritonov E.Yu., FSBI «MSMC» of Russia Ministry of Defence (Mytishchi,
 Moscow Region), Vyshlov V.A., d.t.s., professor, NIU «MIET»
 e-mail: 32gnii@mil.ru
 tel. 8(495)583-99-37

В интересах обеспечения единства и требуемой точности измерений, выполняемых с помощью современных векторных анализаторов цепей, их калибровочные меры должны быть метрологически прослеживаемы к эталонам единиц величин. Предлагается метод оценки эффективных значений собственных параметров порта векторных анализаторов цепей на основе их разделения и оконной фильтрации во временной области с использованием образцовых отрезков линий передачи. Показано, что полученные оценки могут быть использованы для уменьшения погрешности измерений калиброванного анализатора цепей и определения параметров калибровочных мер. Практическая ценность данного метода в том, что он позволяет значительно повысить показатели точности измерений векторного анализатора цепей за счет имеющихся средств, не прибегая к использованию дорогостоящего измерительного оборудования.

Abstract – In the interests of ensuring the uniformity and required accuracy of measurement performed by modern vector network analyzers, their calibration standards should be metrologically traceable to government standards. The method is proposed for evaluating the effective values of vector network analyzers measurement port eigenparameters based on their separation and window filtering in the time domain using transmission line standard. It is shown that the obtained estimates can be used to reduce the measurement error of a calibrated network analyzer and determine the parameters of calibration standards. The practical value of this method is that it allows to significantly increase the accuracy of vector network analyzer measurements at the expense of available funds, without resorting to the use of expensive measuring equipment.

Ключевые слова: векторный анализатор цепей; анализ во временной области; калибровка.

Keywords: vector network analyzer; time domain analysis; calibration.

Измерения комплексного коэффициента отражения (ККО) занимают одно из ведущих мест среди основных видов радиоизмерений в области сверхвысоких частот. Интенсивное развитие радиолокации, радионавигации и беспроводной связи обусловили ужесточение требований к средствам измерений параметров электромагнитных колебаний в коаксиальных и волноводных трактах. В значительной степени функциональность перечисленных радиотехнических систем определяет точность измерений комплексных коэффициентов передачи и отражения (ККПО). Любое рассогласование в линии передачи вызывает переотражения и потери мощности сигнала, как следствие его форма искажается, а уровень может упасть ниже уровня шума, что ведет к потере данных. Рассогласование на выходе мощного передатчика может привести к перегрузке и выходу его из строя.

Средоточием всех наиболее передовых решений в области измерений на СВЧ стали современ-

ные векторные анализаторы цепей (ВАЦ), основным назначением которых является измерение комплексных коэффициентов передачи и отражения (S-параметров) четырехполюсников. Благодаря сложным методикам векторной коррекции систематической погрешности измерений, они обеспечивают наивысшую точность измерений указанных параметров. Для калибровки и оценки величины неисключенной систематической погрешности (НСП) измерений ВАЦ используются специальные образцовые меры ККПО. Очевидна важность определения действительных параметров калибровочных мер для обеспечения единства и требуемой точности измерений с использованием современных ВАЦ, поскольку имеет место дрейф характеристик калибровочных мер за интервал времени между поверками.

За последние годы в Государственный реестр средств измерений было внесено несколько десятков типов калибровочных комплектов для векторных анализаторов цепей. Выделение в от-

Два пика на пунктирной зависимости, расположенные левее отметки 50 мм, соответствуют отклику остаточной направленности, усредненное значение которой в диапазоне частот от 10 МГц до 50 ГГц не хуже 0,0056 (минус 45 дБ). При этом отклик, пропорциональный произведению остаточных значений согласования источника и трекинга отражения (отметки от 200 до 250 мм) имеет чуть меньшую амплитуду, примерно 0,004 (минус 42 дБ). Учитывая, что вклад составляющей остаточной направленности для КСВН от 1 до 3 преувеличивает, такая калибровка позволит обеспечить среднюю погрешность измерений КО в указанном диапазоне частот и КСВН не хуже $\pm 0,01$. К примеру, по данным МИ 3411–2013, серийные комплекты мер компании Rohde & Schwarz ZV-Z224 при калибровке в плоскости порта обеспечивают показатели НСП D_n не хуже $\pm 0,009$, R_n не хуже $\pm 0,010$ и S_n не хуже $\pm 0,019$. Используя формулу (3) можно оценить предел погрешности измерений модуля КО для рассогласованных нагрузок с КСВН не более 3 величиной $\pm 0,015$ или $\pm 3,5\%$ по КСВН.

Оценка составляющих НСП, зафиксированных на рефлектограмме, показанной сплошной линией, позволяет говорить о пределе погрешности измерений модуля КО не хуже $\pm 0,003$ в основной части диапазона, что в 3 раза лучше показателя, который достигим при использовании имеющихся моделей мер.

Заключение

В работе содержится решение задачи, имеющей важное значение для развития ведомственной системы метрологического обеспечения в части измерений комплексного коэффициента отражения коаксиальных и волноводных трактов в СВЧ диапазоне, которая заключается в разработке методики передачи единицы ККО от образцовых отрезков линий передачи средствам калибровки ВАЦ. Кроме того, представленная методика позволяет оценить качество выполненной калибровки и может быть использована для уменьшения погрешности измерений ВАЦ путем учета полученных оценок составляющих неисключенной систематической погрешности измерений.

Описанный метод позволяет не только значительно повысить качество калибровки, более полно раскрывая технический потенциал современных ВАЦ, но может быть использован и в ка-

честве метода воспроизведения единицы ККО по образцовому отрезку.

Предложенные в данной работе подходы могут быть использованы для решения задач обеспечения единства и требуемой точности измерений ККО не только в коаксиальных трактах, но и в прямоугольных, круглых и полосковых волноводах, которые в настоящее время активно развиваются и внедряются в различные радиотехнические системы.

Литература

1. European Association of National Metrology Institutes. Metrology Guide. Guidelines on the Evaluation of Vector Network Analysers. EURAMET cg-12 Version 3.0 // Braunschweig, Germany. Draft June 20, 2016. Pp. 7–12. ISBN 978–3–942992–09–1
2. Hibel, Michael. Fundamentals of vector network analysis // Munchen: Rohde&Schwarz GmbH&Co.KG, 2005. ISBN 978–3–939837–06–0.
3. Джоэль П. Дансмор. Настольная книга инженера. Измерения параметров СВЧ-устройств с использованием передовых методик векторного анализа цепей // Перевод с английского и научная редакция: Харитонов Е.Ю., Андронов Е.В., Бондаренко А.С. АО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА», 2018. ISBN 978–5–94836–505–3.
4. Savin A., Guba V., Rumiantsev A., Maxson B. Estimation of complex residual errors of calibrated two-port vector network analyzer // Tampa, Florida: 83rd ARFTG Conference, June 6th, 2014.
5. Rytting D.K. An analysis of vector measurement accuracy enhancement techniques // Santa Rosa, California: Hewlett Packard. Presented at the RF and Microwave Symp. Exhibition, 1980.
6. Savin A. A novel factor verification technique for one-port vector network analyzer // Nuremberg, Germany: 43rd European Microwave Conference, 2013. Pp. 60–63. ISBN 978–2–87487–030–9.
7. Wubbele G., Elster C., Reichel T., Judaschkel R. Determination of complex residual error parameters of a calibrated vector network analyzer // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 58. Pp. 3238–3244, 2009. ISSN 0018–9456.
8. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. М: Мир, 1978.
9. Кологривов В., Мелихов С. Взаимосвязь интерполяции, аппроксимации и преобразования Фурье. Томск: Доклады ТУСУРА №6, 2006. 52–55 с.
10. Alkin O. Signals and systems // Boca Raton: Taylor & Francis Group, LLC, 2014. Pp. 298–300.

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ, РАБОТАЮЩИХ В УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ДИАПАЗОНЕ СПЕКТРА ON DEVELOPING METROLOGICAL SUPPORT FOR ELECTRO-OPTICAL DEVICES WORKING IN ULTRAVIOLET SPECTRAL RANGE

Егошин Д.А., Курт В.И. д.т.н., Васильев Д.Ю.
Yegoshin D.A., Kurt V.I. (Doctor of Engineering Sciences), Vasilyev D.Y.
АО «НПО ГИПО», г. Казань
JSC «NPO GIPO», Kazan

В статье приведен анализ средств метрологического обеспечения опτικο-электронных приборов, предложен состав комплекса аппаратуры, применяющегося при их разработке, изготовлении, испытании и эксплуатации, приведены результаты исследования ультрафиолетового фотометра.

The paper gives an analysis of metrological support tools for electro-optical devices working in ultraviolet spectral range and proposes an equipment set used during their development, manufacture, testing and operation. Results of an ultraviolet photometer research have been provided as well.

Ключевые слова: опτικο-электронные приборы, комплекс аппаратуры, энергетические характеристики, спектральные характеристики, интегральные характеристики, ультрафиолетовый диапазон спектра.

Key words: electro-optical devices, equipment set, energy characteristics, spectral characteristics, integral characteristics, ultraviolet spectral range

Введение

В настоящее время в различных областях науки и техники все более широкое применение находит ультрафиолетовое (УФ) излучение. Его спектр можно условно разделить на следующие поддиапазоны: УФ-А (315–400 нм), УФ-В (280–315 нм), УФ-С (200–280 нм). [Рекомендации по метрологии Российской Федерации Р50.2.044–2005 Государственная система обеспечения единства измерений. Характеристики оптического излучения солнечных имитаторов].

Интерес к области УФ-А, известной как диапазон «Пчелиного зрения», обусловлен тем, что коэффициенты отражения различных веществ существенно отличаются друг от друга в этом диапазоне, и за счет этого создаются сильные контрасты между ними. В частности, низкий уровень отражения хлорофилла позволяет насекомым видеть яркие в этом диапазоне цветы на слабом фоне зелени.

Область УФ-В интересна тем, что является областью эритемной чувствительности кожи. Этот диапазон определяет загар кожи и остро чувствителен к состоянию озонового слоя атмосферы. Именно по особенностям пропускания солнечного излучения в этом диапазоне можно оценить состояние озонового слоя планеты.

Область УФ-С вызывает интерес тем, что этот диапазон имеет предельно низкий уровень фо-

новых помех. Как известно, основным источником естественных помех в оптическом диапазоне является солнечная радиация. Однако благодаря озоновому слою планеты, а также атмосфере, основная часть солнечной УФ радиации блокируется.

В основном спектр оптического солнечного излучения, достигшего земной поверхности, сконцентрирован в области видимого и инфракрасного (ИК) излучения (рисунок 1).

Солнечное излучение в областях УФ-А и УФ-В достигает поверхности земли. Солнечное излучение в области УФ-С полностью поглощается атмосферой, поэтому спектральный диапазон от 280 нм и меньше называют солнечно-слепым. Отсутствие естественных помех, обусловленных солнечной радиацией, и низкий уровень фоновых помех в УФ-С области делает солнечно-слепой диапазон весьма привлекательным для создания опτικο-электронных приборов (ОЭП), решающих различные технические задачи:

- обнаружение техногенных объектов;
- обнаружение очагов возгорания на ранних стадиях в условиях интенсивного солнечного излучения, а также, в случае отсутствия излучения при горении – в видимой части спектра;
- изучение различных природных явлений, например, вспышек молнии;

11. Ультрафиолетовые радиометрические стандарты НБС. Проспект NIST, 2014.

12. Невязская И.А., В.А. Тяпков и др. Разработка и выпуск источников УФ и ВУФ излучения // Оптический журнал, 2012., № 8, Т-79, С.108–111.

13. Егосин Д.А., Алешко Е.И., Лаврухин В.П., Курт В.И., Васильев Д.Ю. Аппаратура для измерения энергетической яркости и энергетической освещенности источников в ультрафиолетовом диапазоне спектра // Сборник трудов XI Международной конференции «Фундаментальные проблемы оптики – 2019», Санкт-Петербург, 2019, С. 189–191.

14. Егосин Д.А., Алешко Е.И., Лаврухин В.П., Курт В.И., Васильев Д.Ю. Исследования оптико-электронной аппаратуры для измерения энергетических характеристик источников в ультрафиолетовом диапазоне спектра // Материалы 45-й научно-технической конференции молодых ученых и специалистов военных метрологов «Актуальные задачи военной метрологии», г. Мытищи Московской области, 23 апреля 2020, С. 78–81.

References

1. Stepanov S.N. Developing a monophotonic ultraviolet range sensor with improves characteristics: Ph.D. thesis in engineering science. Russian Academy of Sciences, A.V. Shubnikov Crystallography Institute, JSC “Reagent” Scientific and Technical Center”.

2. Product catalogue. Base Scientific Center of OAO “TsNII “Elektron” (“Elektron” Central Research Institute) / [digital source]. – URL: http://www.niielectron.ru/product-category/nasha_produkcija/

3. Product catalogue of JSC “NPO “Orion” / [digital source]. – URL: <http://www.orion-ir.ru/production/opticheskie-elementy/>.

4. Product catalogue of JSC “Katod” / [digital source]. –URL: <http://katodnv.com/ru/catalog/>.

5. Osipov A.F. Ultraviolet device of target detection: Patent No. 2520726 RF. 2014. Bulletin No. 18. 9 p.

6. Belov A.A., Yegorov V.V., Kalinin A.P., Krysyuk I.V., Osipov A.F., Rodionov A.I., Rodionov I.D., Stepanov S.N. Universal monophotonic ultraviolet range sensor. Moscow, 2010. Series No. 935 Preprint // Russian Academy of Sciences, A. Y. Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS (IPM RAS). 48 p.

7. State accuracy chart for tools measuring spectral density of radiance, spectral density of radiant intensity, spectral density of irradiance, radiant intensity and irradiance in the wavelength range of 0.2 to 25.0 μm , spectral density of radiant flux in the wavelength range of 0.25 to 2.5 μm , radiance and irradiance of monochromatic radiation in the wavelength range of 0.45 to 1.6 μm , spectral density of fluorescence excitation radiant flux in the wavelength range of 0.25 to 0.8 μm , and spectral density of fluorescence emission radiant flux in the wavelength range of 0.25 to 0.85 μm .

8. Product catalogue of FGUP “VNIIOFI” (The All-Russian Research Institute for Optical and Physical Measurements Federal State Unitary Enterprise) / [digital source]. – URL: <https://www.vniiofi.ru/depart/m4/blackbodies.html>

9. Spectral energy measurements in vacuum and near ultraviolet // Nauchnye Trudy. – Moscow, 1981, p. 39–56.

10. The basics of optical radiometry / edited by Prof. A.F. Kotyuk. Fizmatlit Publishing. – Moscow, 2003, 544 p.

11. NBS ultraviolet radiometric standards. NIST Prospect, 2014.

12. Nevyazhskaya I.A., Tyapkov V.A. et al. Development and output of UV and VUV radiation sources. // Optichesky Zhurnal, 2012, No. 8, Vol. 79, p. 108–111.

13. Yegoshin D.A., Aleshko Y.I., Lavrukhin V.P., Kurt V.I., Vasilyev D.Y. Equipment for measuring radiance and irradiance of sources in ultraviolet spectral range // Collected papers of the 11th International Conference “Fundamental Problems of Optics 2019”, Saint Petersburg, 2019, p. 189–191.

14. Yegoshin D.A., Aleshko Y.I., Lavrukhin V.P., Kurt V.I., Vasilyev D.Y. Research into electro-optical equipment for measuring energy characteristics of sources in ultraviolet spectral range // Materials of the 45th scientific and technical conference of young scientists and experts in military metrology “Topical issues of military metrology”, Moscow Oblast, Mytishchi City, 23 April 2020, p. 78–81.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ПОДМЕННОГО ФОНДА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПОВЕРКЕ
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА
DETERMINATION OF THE VOLUME OF THE REPLACEMENT FUND OF MEASURING
INSTRUMENTS DURING VERIFICATION AT THE ENTERPRISES OF THE
MILITARY-INDUSTRIAL COMPLEX**

*Дорохов А.Н., к.т.н., доцент, Ковалевский С. Г., к.т.н., Богданов Г.М., Военно-космическая академия
имени А.Ф. Можайского, Богданов Г.П., д.т.н., ФГБУ «ГНМИЦ» Минобороны России
Dorokhov A. N., c.t.s., Professor, associate Professor, Kovalevsky S. G., c.t.s., Bogdanov G.M., Military space
Academy named after A. F. Mozhaysky, Bogdanov G. P., d.t.s.,
FSBI «MSMC» of Russia Ministry of Defence (Mytishchi, Moscow Region)
Тел. +7 (921) 385-33-99*

В статье рассмотрено решение задачи определения объема подменного фонда средств измерений при поверке на предприятиях оборонно-промышленного комплекса. В ходе решения данной задачи процесс поверки средств измерений представлен как процесс массового обслуживания, осуществляемый метрологическим органом и проанализирован с помощью показателей, используемых в теории массового обслуживания.

The article considers the solution to the problem of determining the volume of the replacement fund of measuring instruments during verification at the enterprises of the military-industrial complex. In the course of solving this problem, the process of verification of measuring instruments is presented as a queuing process carried out by a metrological body and analyzed using indicators used in the theory of queuing.

Ключевые слова: поверка, средство измерения, подменный фонд, оборонно-промышленный комплекс, коэффициент готовности, решение целевой задачи.

Key words: calibration, measurement tool, replacement fund, military-industrial complex, availability factor, the decision of the target.

Решение целевых задач во многих областях человеческой деятельности при современном уровне развития техники требует использования средств измерений (СИ), позволяющих обеспечить требуемую точность и достоверность измерений. Использование точно отмеренного количества вещества в нанотехнологиях, заправка ракеты-носителя при выведении космического аппарата, обеспечение действия высокоточных производственных линий в современных производствах предполагают наличие единства измерений и качественного метрологического обеспечения. Эксплуатационно-технические характеристики технических систем, решающих целевые задачи, оказываются зависимыми от качества измерений и характеристик СИ.

Единство измерений может быть обеспечено, если единицы величин унифицированы, размеры величин передаются от эталонов средствам измерений, эталоны и методики передачи размера величины совершенствуются, результаты измерений обладают свойствами метрологической сопоставимости и метрологической совместимости, а показатели точности измерений выражены так, что обеспечивается возможность сравнения и совместного использования результатов измерений.

Одним из условий достижения единства измерений и обеспечения их точности является квалифицированное содержание и применение средств измерений, соблюдение обязательных требований к СИ, в том числе обеспечение их метрологической исправности – состояния, определяемого соответствием нормируемых метрологических характеристик СИ или эталона установленным требованиям [1,2]. Метрологическую исправность определяют только метрологические отказы. Обнаружить наличие метрологического отказа в процессе эксплуатации или хранения СИ или эталона единицы величины можно лишь путем контроля его метрологических характеристик, осуществляемого при периодической поверке или аттестации, выполняемой через равные промежутки времени, называемые интервалами между поверками или аттестациями [3,4].

Метрологические отказы СИ, используемых для определения либо технического состояния техники, решающей целевые задачи, либо ее тактико-технических и эксплуатационных характеристик, напрямую определяют ее надежность, готовность и работоспособность. Изъятие СИ, необходимых для решения целевых задач (РЦЗ), на поверку, может оказать негативное воздействие на достиже-

Для своевременного и качественного выполнения целевых задач в организациях, сдавших свои СИ на поверку юридическим лицам и частным предпринимателям, заинтересованным в получении прибыли от проведения поверочных работ и не заинтересованным в решении целевых задач ОРЦЗ, а также для повышения готовности, необходимо организовывать запас СИ. Такой запас СИ можно сосредоточить в подменном фонде СИ, находящемся на балансе ОРЦЗ. Целесообразность создания такого фонда может быть определена при помощи экономического критерия, позволяющего сравнить и минимизировать потери от приобретения и содержания СИ подменного фонда и потери от невыполнения целевых задач из-за отсутствия СИ, находящихся на поверке.

Если предположить, что штатное количество СИ j -го типа в ОРЦЗ достаточно для обеспечения РЦЗ при правильной организации поверки СИ, то при отсутствии очереди в МО количество СИ j -го типа в подменном фонде можно определить равным среднему числу заявок от ОРЦЗ на поверку этих СИ $n_{эj} < m_j$ на интервале времени, равном обычной длительности их нахождения на поверке $\tau_{пj}$, с учетом временных затрат на демонтаж и монтаж СИ j -го типа в ОРЦЗ $\tau_{мj}$ и длительности транспортирования СИ в МО и обратно $\tau_{тj}$:

$$N_{\text{пф} \circ j} = n_{эj} \frac{\tau_{пj} + \tau_{мj} + \tau_{тj}}{\tau_{пj}} \quad (6)$$

Дополнительное количество n_{dj} однотипных СИ j -го типа в подменном фонде ОРЦЗ, необходимое для восполнения СИ, ожидающих поверки в МО, можно определить, рассчитав среднюю длину очереди r в МО

$$r = \sum_{k_j=n_j+1}^{\infty} (k_j - n_j) P_{k_j} = n_{dj}.$$

Суммарное количество СИ j -го типа в подменном фонде ОРЦЗ можно определить как

$$N_{\text{пф} \circ j} = (n_{эj} + n_{dj}) \frac{\tau_{пj} + \tau_{мj} + \tau_{тj}}{\tau_{пj}}. \quad (7)$$

Из вышеизложенного следует, что показатели эффективности функционирования СМО при поверке СИ ОРЦЗ юридическими лицами или индивидуальными предпринимателями, не связанными с решением целевых задач, а также вероятность $P_{\text{пп}}$ того, что все СИ, необходимые для решения целевых задач, своевременно поверены, зависят от общего количества M всех поверяемых в МО средств измерений, характера потока заявок на поверку или аттестацию h , числа n аттестованных поверителей, обеспеченных рабочими местами по поверке СИ, характеристик потоков обслуживания, организации очереди и дисциплины обслуживания.

Таким образом, готовность ОРЦЗ при поверке СИ во вневедомственных метрологических органах зависит от показателей эффективности функционирования этих органов, что может повлиять на качество решения целевых задач и поэтому в ОРЦЗ необходимо создавать собственный подменный фонд СИ для восполнения необходимого числа СИ, находящихся на поверке, в объеме $N_{\text{пф} \circ}$ СИ.

Литература

1. РМГ 74–2004 ГСП. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений. Введ. 2005–03–01. Г 2006.–22с.
2. Кравцов, А. Н. Метрология: Учебник / А.Н. Кравцов, А.Н. Дорохов, Р.О. Лавров.– СПб.: ВКА имени А. Ф. Можайского, 2019. – 318 с.
3. ГОСТ 8.565–99 ГСИ. Порядок установления и корректировки межповерочных интервалов эталонов. Введ. 2000–06–30. М., 2000. – 12с.
4. Дорохов А.Н., Гончаров А.П. Выбор оптимального по критерию готовности интервала между аттестациями эталона: Статья. Информация и космос, №3 2019. с.84–87.
5. ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технике. Термины и определения. – Введ. 01–03–2017. – М.: Стандартинформ, 2016. – 24с.
6. Обеспечение надежности сложных технических систем: Учебник / А.Н. Дорохов [и др.]. – 3-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2017. – 352с.

**СПЕЦИФИКА ИССЛЕДОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЗВЕШЕННЫХ ПРИМЕСЕЙ В СОСТАВЕ СТОЧНЫХ ВОД
SPECIFIC STUDY OF CONCENTRATION OF SUSPENDED IMPURITIES IN WASTEWATER COMPOSITION**

Саиткулов Н.О.,
Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань,
E-mail: ep.analytics@bk.ru,
тел. 8 (917) 913- 73-40

Аннотация: Данная статья посвящена актуальной проблеме исследования концентрации крупноразмерных частиц, которые находятся во взвешенном состоянии в толще образца сточной воды. В контексте работы рассматривается возможность применения метода ультразвукового исследования для определения концентрации частиц, включая описание и анализ экспериментальной базы. В заключении работы приведены практические рекомендации по реализации датчика ультразвукового исследования.

Abstract: This article is devoted to the actual problem of studying the concentration of large-sized particles that are in suspension in the thickness of the wastewater sample. In the context of the work, the possibility of using the method of ultrasonic research to determine the concentration of particles is considered, including the description and analysis of the experimental base. In the conclusion of the work, practical recommendations are given for the implementation of an ultrasound probe.

Ключевые слова: ультразвукометрия, частицы, сигнал, волны, колебания, жидкость, сточные воды.

Key words: ultrasoundometry, particles, signal, waves, vibrations, liquid, wastewater.

Введение

Исследование состава сточных вод, содержащих крупнодисперсные взвешенные примеси, является актуальной задачей, которая в настоящее время не может быть решена средствами аналитической химии с достаточной степенью эффективности. Наибольшую трудность представляет определение крупнодисперсных примесей без предварительной подготовки образца, хотя внедрение этого метода серьезно упростит задачу контроля различных типов вод. Данной проблемой активно занимаются отечественные и зарубежные научные группы, используя различные методы исследования образца. Применение ультразвукометрии для решения данного вопроса было введено в практику относительно недавно, но уже доказало свою перспективность для данного направления.

Для наиболее полного понимания возможностей методов ультразвукового контроля необходимо рассмотреть вопросы применения ультразвукометрии при работе с жидкостями, которые характеризуются наличием включений различного генезиса (органические и неорганические примеси). Данные методы базируются на изменении ультразвукового сигнала под влиянием плотности и вязкости жидкости.

Преобразователь в волноводе генерирует несколько разновидностей импульсов, таких как

поверхностные волны, толщинные сдвиговые волны, собственные акустические моды пластин, изгибные волны. При применении данного метода измеряются волновые параметры импульсов в волноводе, а далее измеряются параметры импульсов, которые изменяются при соприкосновении волновода с образцом исследуемой жидкости. По изменению параметров импульсов определяют свойства жидкости.

Среди всей совокупности методов наиболее перспективным при исследовании свойств жидкости можно назвать подход, основанный на генерировании горизонтально поляризованных нормальных плоских волн. Данные волны в исследуемой жидкости генерируются пьезоэлектрическим волноводом [1]. Вектор распространения волн лежит в плоскости контакта датчика и исследуемого образца. При таком способе эффективность исследования свойств жидкости значительно повышается, поскольку мешающие влияния практически полностью исключаются.

Постановка проблемы

Решение задачи исследования сточных вод на содержание крупнодисперсных взвешенных частиц имеет высокую научно-практическую ценность, кроме того, разработка метода исследования данного объекта без дополнительной обра-

Отметим также, что если частота импульса будет лежать в нижней границе диапазона, это может привести к тому, что амплитуда отраженного сигнала будет близка к нулю. Математические расчеты показали, что исследование проб сточной воды может быть произведено на частоте 4 МГц. При рассмотрении линейки промышленной пьезокерамики был выбран промышленный образец с частотой 3,6 МГц, при том, что необходимо учитывать факт того, что снижение частоты после крепления пьезокерамики произойдет на 0,2 МГц. Данный выбор пьезокерамики позволит получить ультразвуковые колебания, длина волны которых в 100 раз превышает максимальный размер содержащихся в воде нефтепродуктов и взвешенных веществ.

Физически метод может быть реализован следующим образом. На первом этапе производится отбор проб с тем расчетом, чтоб мониторинг приходился на единичный отрезок времени, а пробы были параллельными. Далее ультразвуковые импульсы вводятся в объем образца, а на датчике регистрируется совокупность отраженных импульсов. На завершающем этапе отраженные ультразвуковые колебания разделяются по уровням с помощью микроконтроллера и суммируются. Сумма вычисляется для каждой пробы отдельно.

Выводы

В ходе проведенного исследования были получены следующие выводы:

Улучшение качественных характеристик применяемого метода возможно за счет следующего технологического решения: передающий преобразователь приводится в действие за счет импульсного сигнала.

Ориентировочная погрешность применения ультразвукометрии в исследовании концентрации крупнодисперсных частиц в объеме образца сточной воды не превышает 10%, что соответствует методическим требованиям к качеству результатов применения аналитических методов.

Инструментальная реализация предлагаемого технического решения может быть произведена с

использованием промышленной пьезокерамики, то есть, не требует дополнительных производственных мощностей.

Заключение

Метод ультразвукометрии в работе со сточными водами в настоящее время находится на стадии разработок, моделей и экспериментальных разработок, тем не менее, данный метод уже признается высокоэффективным и надёжным. Кроме того, его применение исключает дополнительную подготовку проб, что в случае с исследованием сточной воды представляет ряд достаточно сложных процедур, которые также оказывают влияние на точность получаемого результата. Предлагаемое решение отличается низкой погрешностью результатов и доступностью реализации, в отличие от профильных приборов, что позволяет подтвердить инновационность данного подхода.

Литература

1. Бархатов В.А. Развитие методов ультразвуковой дефектоскопии сварных соединений // Дефектоскопия. – №1. – 2003. – С.28–55.
2. Каневский И.Н., Неразрушающие методы контроля: Учебное пособие / И.Н. Каневский, Е.Н. Сальникова. – Владивосток: изд-во ДВГТУ, 2007.
3. Розина М.В., Трофимова Г.Н. О способах задания нормативных требований к качеству продукции при УЗК в различных отраслях российской промышленности // В мире НК. – 2010. – № 12. – С. 32–36.
4. Саиткулов Н.О. Ультразвуковой анализатор суммарного содержания взвешенных капель нефти и твердых частиц в сточных промысловых водах. Дисс... к.т.н. – Казань, 2011. – 129 с.
5. Саиткулов Н.О. Ультразвуковой анализатор суммарного содержания взвешенных капель нефти и твердых частиц в сточных промысловых водах. Автореферат...дисс...к.т.н. – Казань, 2011. – 17 с.
6. Саиткулов Н.О. Ультразвуковой способ измерения содержания нефти и твердых взвешенных частиц в сточной воде // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2010. – № 4. – С. 78–81.

ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО И ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В РОССИИ PROBLEMS AND PROSPECTS OF THE DEVELOPMENT CHECKING-MEASURING AND TEST EQUIPMENT IN RUSSIA

*Плотников А.В., к.т.н., Надеин В.В., к.п.н., доцент, Храменков А. В., к.т.н.,
ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России
Plotnikov A.V., k.t.s., Nadein V.V., k.p.s., Khramenkov A.V., k.t.s.,
FSBI «MSMC» of the Ministry of Defense of the Russian Federation
tel. 8-985-277-04-73,
8(495)596-01-00, 8(495)586-23-88*

С 27 по 29 октября в Москве, в МВЦ «Крокус Экспо» проходила 17-я Международная выставка испытательного и контрольно-измерительного оборудования Testing & Control.

Testing & Control – самая крупная в России выставка испытательного и контрольно-измерительного оборудования.

В течение трех дней проходило обсуждение актуальных вопросов метрологического обеспечения исследований, испытаний и эксплуатации изделий в различных отраслях промышленности, цифровой трансформации системы обеспечения единства измерений, а также изучение удачных кейсов внедрения современных методов измерений на конкретных производствах.

Более ста ведущих российских и зарубежных производителей и поставщиков продемонстрировали на выставке широкий спектр оборудования, отвечаю-

щего за контроль качества выпускаемой продукции для авиационной, ракетно-космической отрасли, военно-промышленного комплекса, машиностроительной, металлургической, строительной, электронной промышленности, нефтегазовой отрасли, энергетики и других отраслей промышленности, в том числе:

ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО И МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ:

- координатно-измерительные машины;
- видеоизмерительные системы;
- приборы для измерения формы;
- оптические системы;
- системы лазерной проекции;
- ручные измерительные инструменты;
- весовое оборудование;
- сенсоры и датчики;
- программное обеспечение;
- услуги по ремонту и поверке средств измерений.



ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ: ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ:

- термокамеры;
- влагокамеры;
- термовлагокамеры;
- камеры дождя;
- камеры инея и росы;
- барокамеры;
- термобарокамеры;
- термовлагобарокамеры;
- радиационные камеры;
- камеры пыли;
- камеры морского тумана;

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ:

- вибрационные установки и вибростенды;
- ударные установки и ударные стенды;
- центрифуги;
- акустические камеры;
- машины на кручение /изгиб/ растяжение/ сжатие/ разрыв;
- копры маятниковые;
- магнитно-резонансные машины;

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИСПЫТАНИЙ:

- пробойные испытательные установки;
- кольца Гельмгольца;
- оборудование для испытаний на электромагнитную совместимость.

ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ, СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА.

ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО КОНТРОЛЯ.

ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ.

Участникам выставки была предоставлена возможность получить актуальную информацию о потребностях рынка и найти технические решения для оснащения производств современным испытательным, измерительным, метрологическим оборудованием, оборудованием для производственного контроля и промышленной диагностики, приборами неразрушающего контроля, оборудованием для лабораторного контроля.

В конференц-зале Testing&Control проходила VI **Всероссийская научно-техническая конференция «Измерения. Испытания. Контроль»** при поддержке Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, Госкорпорации «РОСКОСМОС», Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, ФГУП ГосНИИ ГА, ФГУП «ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского, ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», ФГУП «ВНИИМС», МАИ.

На пленарной сессии конференции **«Приоритетные задачи и перспективы развития контрольно-измерительного и испытательного оборудования в России»** представители федеральных органов исполнительной власти, научно-исследовательских учреждений и промышленности обсудили текущую ситуацию с состоянием контрольно-измерительного и испытательного оборудования на отечественном рынке, меры государственной поддержки в его создании и развитии, основные положения Стратегии обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 года и план её реализации.

В рамках пленарной сессии с докладом «Роль испытательного оборудования и средств измерений в процедурах аккредитации. Оценка соответствия критериям аккредитации» выступил Пилюгин Е.Ф., начальник отдела аккредитации и подтверждения компетентности в области обеспечения единства измерений Управления аккредитации Федеральной службы по аккредитации.

В докладе Шалина А.П., президента Научно-технического фонда «Сертификационный Центр «КОНТСТАНД» рассматривались вопросы о роли метрологии в оценке соответствия продукции.

С докладом «О развитии законодательства в интересах прикладной метрологии и приборостроения» выступил Кривов А.С., председатель межотраслевого совета по прикладной метрологии и приборостроению при РСПП, заместитель директора АО «НПФ «Диполь», д.т.н., профессор, заслуженный метролог РФ.

В докладе Уткина Н.А., председателя ТК 194 «Кибер-физические системы», на тему «Цифровизация экономики: вызовы стандартизации» были сформулированы направления в области стандартизации деятельности по цифровизации национальной экономики.

В рамках специальной секции конференции **«Метрология, измерения и испытания в ракетно-космической отрасли»**, проводимой Госкорпорацией «Роскосмос», специалисты обсудили актуальные метрологические вопросы ракетно-космической отрасли.

Модератором секции являлся Голега А.В., главный метролог – руководитель Метрологической службы Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос».

В числе участников: Поморцев П. М., начальник центра метрологического обеспечения ракетно космической промышленности ФГУП «ЦНИИмаш»; Киреев М. Е., заместитель начальника центра метрологического обеспечения ракетно-космической промышленности ФГУП «ЦНИИмаш»; Лесниченко Р. И., заместитель начальника отдела центра метрологического обеспечения ракетно-космической промышленности ФГУП «ЦНИИмаш»; Карпунин Д. Н., заместитель начальника центра метроло-

гического обеспечения ракетно-космической промышленности – главный метролог АО «ЦНИИмаш»; Егоров А. А., руководитель ОАЭ МАИ, генеральный директор «АВИАТЭКС»; Пудловский В. Б., старший научный сотрудник ФГУП «ВНИИФТРИ».

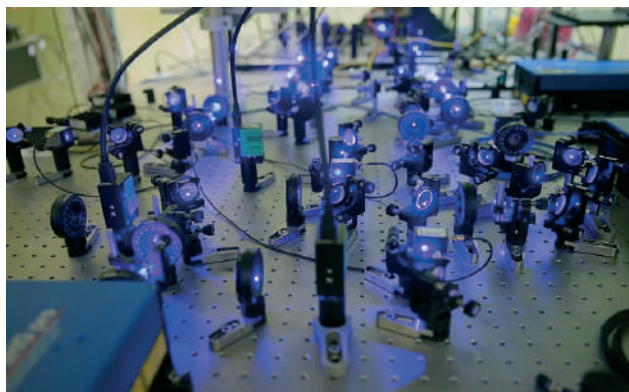
На секции обсуждались вопросы развития калибровочной деятельности в организациях ракетно-космической промышленности, организации метрологического обеспечения ракетно-космической техники (РКТ), совершенствования методов и средств метрологического обеспечения РКТ при ее создании и эксплуатации, совершенствования системы метрологического обеспечения средств дистанционного зондирования Земли, разработки технологии создания интеллектуальных автоматизированных систем контроля и управления испытательными стендами нового поколения для наземной отработки изделий РКТ, состояния и основных направлений совершенствования метрологического обеспечения Глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС.

Накануне выставки Интернет-журнал об инновациях «Стимул» опубликовал статью о проблемах создания ядерных часов, а также о разработках ВНИИФТРИ для обеспечения потребности современного общества в точности с комментариями заместителя начальника Главного метрологического центра Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли по научной работе доктора физико-математических наук Виталия Пальчикова.

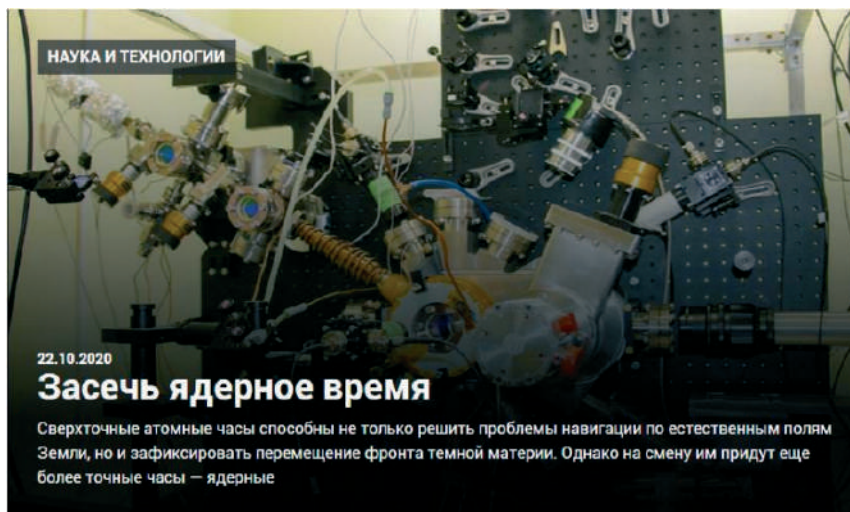
Сейчас самые точные часы – атомные. Они основаны на принципе электромагнитных колебаний, излучаемых атомами или молекулами при переходе из одного энергетического состояния в другое. Эталон атомного времени не имеет ни суточных, ни вековых колебаний, не стареет и обладает достаточной определенностью, точностью и воспроизводимостью. В России атомные оптические часы разрабатывает Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ) Росстандарта.

Оптические часы работают на холодных атомах стронция, погрешность их хода составляет одну секунду в несколько миллиардов лет. Ключевой элемент этих часов – оптический стандарт частоты (ОСЧ). Это стандарт с использованием оптического перехода нейтральных атомов. В основе ОСЧ со стабилизацией по холодным нейтральным атомам лежит перестраиваемый лазер, настроенный на резонанс с запрещенным переходом в атомном ансамбле. Излучение лазера

резонансно возбуждает ансамбль атомов при низкой температуре, которая обеспечивается лазерным охлаждением атомов. Используется большое количество очень холодных атомов (10^4 – 10^6 атомов, охлажденных до температуры менее 10 мК), которые сформированы в пространстве в стоячей оптической волне, поэтому между собой они не взаимодействуют (или взаимодействуют крайне слабо). Оптический переход, к которому привязывается внешний (в данном случае лазерный) источник, стабильно воспроизводит частоту во времени. По сравнению с другими стандартами оптический стандарт на холодных атомах стронция имеет высшую точность.



Оптические часы представляют собой комбинацию ОСЧ и оптического синтезатора. Поскольку оптический стандарт имеет очень высокую частоту, для того чтобы создать оптические часы, необходим передаточный элемент. Таким элементом и является оптический синтезатор на основе фемтосекундного лазера (прибора, способного генерировать импульсы лазерного излучения, которые содержат достаточно малое число колебаний оптического поля).



В настоящее время точность оптических стандартов времени и частоты в наиболее продвинутых лабораториях мира достигла уровня 18-19-го знака. Ожидаемая точность ядерных часов будет выше как минимум на порядок. Уникальная точность ядерных часов позволит, с одной стороны, обеспечить возможность повышения точности формирования высотной координатной основы до уровня единиц миллиметров, а с другой – осуществить принципиально важные фундаментальные научные исследования на новом уровне точности, например провести оценки вариации фундаментальных физических констант во времени или проверку достоверности стандартной модели трех фундаментальных взаимодействий – сильного, электромагнитного и слабого – вместе с теорией гравитационного взаимодействия, которая пока не объединена с другими фундаментальными взаимодействиями.

Существование изомерного перехода в оптическом диапазоне для тория-229 предсказал академик Александр Дыхне более тридцати лет назад, однако вплоть до сегодняшнего дня переход экспериментально обнаружить не удалось. «Проблема в том, что этот переход может быть в настоящее время предсказан лишь косвенным образом, например как продукт распада изотопа урана-333 на различные изомеры или молекулярные конфигурации, включая желаемый метастабильный изомер тория-229, – поясняет Виталий Пальчиков. – Соответствующие косвенные оценки для длины волны изомерного перехода (приблизительно 153 нанометра) обладают высокой погрешностью их определения (порядка десяти процентов). Учитывая, что этот переход имеет очень узкую спектральную линию, а диапазон косвенных предсказаний весьма широк, необходимо провести поистине астрономическое число измерений спектров тория-229 или его ионов низкой кратности ионизации, чтобы доподлинно возбудить и зарегистрировать искомый “часовой” переход. Тем не менее нет сомнений в существовании данного перехода, поскольку результаты косвенных измерений нескольких экспериментальных групп из передовых лабораторий мира приводят к схожим результатам».

Более точные оптические часы позволят повысить точность навигации, будут востребованы для уточнения фундаментальных физических теорий и фундаментальных физических констант, заложат основы развития телекоммуникационной связи следующего поколения – 6G.

Создание прибора такого уровня зависит не только от результатов теоретических исследований, но и от уровня и возможностей современного приборостроения. Успех становится возможным только при условии одновременного проведения фундаментальных и прикладных исследований.

Впереди еще предстоит много работы, перед тем как стандарт такой уникальной точности будет

разработан. До этого необходимо достичь точности до 17-18-го знака и внедрить ее в промышленность, науку и повседневную жизнь людей.

Чтобы удовлетворить нынешние потребности общества в точности, во ВНИИФТРИ продолжается разработка атомных оптических часов второго поколения. По словам Виталия Пальчикова, она находится на завершающем этапе. Как рассказали в институте, более точные оптические часы позволят повысить точность навигации, будут востребованы для уточнения фундаментальных физических теорий и фундаментальных физических констант, заложат основы развития телекоммуникационной связи следующего поколения – 6G. Их применение также будет способствовать развитию прецизионной (высокоточной) геодезии миллиметрового уровня.

Ученые ВНИИФТРИ занимаются также созданием перевозимых и мобильных оптических стандартов времени и частоты на атомах иттербия с планируемой точностью воспроизведения этих единиц на уровне 16-17-го знака. Уже созданы физические части этих устройств, освоена техника лазерного охлаждения атомов, проводятся предварительные оценки бюджета неопределенностей для перевозимых и мобильных оптических стандартов.

Одной из наиболее интригующих возможностей применения мобильного оптического стандарта частоты может стать детектирование темной материи. Если ОСЧ будут разнесены в космосе на различных носителях, то сдвиг между их показаниями может стать свидетельством перемещения фронта темной материи в пространстве.

По словам генерального директора ВНИИФТРИ Росстандарта Сергея Донченко, создание мобильного оптического стандарта частоты – амбициозная задача для всего мирового научного сообщества. Такой стандарт даст мощный толчок к развитию комплексных навигационных систем, использующих не только сигналы космических аппаратов, но и данные о естественных полях Земли. Спутниковая система навигации не всегда точна, так как прохождение сигнала от спутника до приемника на Земле может искажаться в зависимости от состояния атмосферы и множества других факторов. Благодаря размещению ОСЧ в космосе появится возможность существенно повысить метрологические и функциональные характеристики существующих навигационных систем.

Прошедшая 17-я Международная выставка испытательного и контрольно-измерительного оборудования Testing & Control – новый этап развития известной выставки Aerospace Testing & Industrial Control. Ребрендинг значительно расширяет экспозицию и увеличивает привлекательность выставки как для участников так и для посетителей выставки.

ПЕРЕЧЕНЬ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В 2020 ГОДУ

ФИО / Название статьи	номер	страница
Измерения физико-химических свойств и состава веществ		
Аскеров Н.А., ФГУП «ВНИИФТРИ», п.г.т. Менделеево Испытания акустооптического спиртомера «ИКОНЭТ-М»	3	17
Саиткулов Н.О., Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань Специфика исследования концентрации взвешенных примесей в составе сточных вод	4	30
Радиотехнические измерения		
Руденкова Е. Г., к.т.н., доцент, ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России, Буслов Д.С., к.т.н., ООО НПФ «Радиан-М» Использование малогабаритных БПЛА для решения задач радиотехнических измерений и контроля параметров радиоэлектронных средств в местах их применения по целевому назначению	2	16
Алёшкин А.П., д.т.н., профессор, Иванов А.А., к.т.н., Гусаков В.М., к.т.н., Семёнов А.А. к.т.н., Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского Результаты моделирования работы РЛС при отражении сигнала от покрытия с управляемыми параметрами	2	21
Голик А.М., д.т.н., Шишов Ю.А., д.т.н., Заседателев А.Н., Санкт-Петербургский военный институт войск национальной гвардии, Клейменов Ю.А., д.т.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России (г. Мытищи, Московской области), Бобов С.Ю., Михайловская военная артиллерийская академия Оценка динамического диапазона приемных модулей цифровых антенных решеток радиолокационных систем	4	3
Харитонов Е.Ю., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России, Выилов В.А., д.т.н., НИУ «МИЭТ» Метод калибровки однопортового векторного анализатора цепей и определения параметров калибровочных мер на основе анализа откликов во временной области.	4	9
Измерения геометрических величин		
Савкин К.Б., к.т.н., ФГУП «ВНИИОФИ», Корнилов С.В., к.т.н., Конюхов М.А., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России Применение мер длины концевых плоскопараллельных для оценки погрешности измерений длины системой лазерной координатно-измерительной	1	22
Корсун О.Н., д.т.н., ФГУП «ГосНИИАС», Мотлич П.А., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России Методика планирования полетных маневров и оценивания систематических погрешностей бортовых измерений в целях сертификации авиационных тренажеров	2	7
Общие вопросы метрологии		
Ткаченко К.С., ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» Структурный подход к проектированию компьютерных узлов для деградирующих и самовосстанавливающихся первичных измерителей	1	6
Хайруллин Р.З., д.ф.-м.н., Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России Применение байесовского подхода в задачах построения статистических оценок при обработке результатов испытаний измерительной техники.	1	9

ФИО / Название статьи	номер	страница
Иванов И.Г. Концептуальная модель информационно-управляющей системы поддержки принятия решений при испытании космических средств на основе прецедентов.	1	16
Быканов В.В., к.т.н., Булгаков О.Ю., к.в.н., Назаркина А.В., Есакова М.М., ФГУП «МНИИРИП», Булгаков В.О., ООО «ВИАНТЕК» Обязательная метрологическая экспертиза технической документации как решение вопроса обеспечения качества разрабатываемых ЭКБ и РЭА	2	11
Мамлеев Т.Ф., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России, Солдатенко В.С., к.т.н., Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского Модель принятия решений по формированию состава комплекта измерительной техники с учетом нескольких критериев оптимальности	3	3
Волчков А.А., Исаев Ю.А., Леонова К.С., Фуфаева О.В., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России, Хайруллин Р.З., д.ф.-м.н., Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России Применение Байесовского подхода для построения эффективных оценок точности измерений	3	9
Дорохов А.Н., к.т.н., доцент, Ковалевский С. Г., к.т.н., Богданов Г.М., Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Богданов Г.П., д.т.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России Определение объема подменного фонда средств измерений при поверке на предприятиях обороннопромышленного комплекса	4	24
Оптические и оптико-физические измерения		
Васильев Д.Ю., Курт В.И., д.т.н., Егошин Д.А., АО «НПО ГИПО», г. Казань К вопросу разработки стендов имитационного моделирования тепло-телевизионных систем	3	25
Егошин Д.А., д.т.н. Курт В.И., Васильев Д.Ю., АО «НПО ГИПО», г. Казань К вопросу разработки средств метрологического обеспечения оптико-электронных приборов, работающих в ультрафиолетовом диапазоне спектра	4	17
Измерения магнитных и электрических величин		
Затеев А.А., АО «МЕРА», Иванов Ю.М., к.т.н., АО «МЕРА», Матисов В.Я., д.т.н., ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» Об особенностях метрологического обеспечения измерений магнитного момента объектов ВВСТ	2	24
Нефедов М.В., «ГНМЦ» Минобороны России Обоснование возможного направления развития рабочих эталонов единицы напряженности магнитного поля на основе адаптированного метода трех антенн	3	13
Радиоэлектронные измерения		
Кузнецов А.А., Жуков Ю.О., ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж Снижение динамических ошибок траекторных измерительных комплексов с использованием алгоритмов обработки измерительной информации, полученных на базе динамических моделей движения	3	31
Научно-технические обзоры материалов конференций, симпозиумов		
Денисенко О.В., д.т.н., ФГУП «ВНИИФТРИ», Храменков В.Н., д.т.н., профессор, Вышков В.А., д.т.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России, Романова Т.А. ФГУП «ВНИИФТРИ» Новые технологии в области навигации: конференция ФГУП «ВНИИФТРИ»	1	25

ФИО / Название статьи	номер	страница
Надеин В.В., к.п.н., доцент, Черняев К.С., к.т.н., Надеина О.В., к.п.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России Современные проблемы развития и пути их решений в проведении современной и достоверной диагностики для обеспечения безопасной эксплуатации и прогнозирования ресурса (по материалам VII Международного промышленного форума) (3 марта – 5 марта) «Территория NDT. Неразрушающий контроль. Испытания. Диагностика»).	1	30
Оптические и оптико-физические измерения. Измерения времени и частоты. Плотников А.В., к.т.н., Надеин В.В., к.п.н., доцент, Щеглов Д.М., Надеина О.В., к.п.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России Инновации, перспективы развития в области вооружения и военной техники и возрастающая роль метрологии в современном мире, системы метрологического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации (5-й Международный военно-технический форум «Армия-2020»)	3	37
Плотников А.В., к.т.н., Надеин В.В., к.п.н., доцент, Храменков А. В., к.т.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России Задачи и перспективы развития контрольно-измерительного и испытательного оборудования в России (17-я Международная выставка испытательного и контрольно- измерительного оборудования Testing & Control (27-29 октября))	4	34
Новинки измерительной техники		
Осциллографы цифровые запоминающие Серий С8–203 и С8–205	1, 2, 3	36, 37
Осциллографы цифровые запоминающие	2 3	39 2, 3 (обл.)
Комплекс для оперативного определения составляющих уклонений отвесной линии	3	39
Акустооптический модулятор-частотосдвигатель.	2, 3	40
ИНФОРМАЦИЯ		
Выставки, конференции, форумы во II квартале 2020 года	1	34,36,37
Выставки, конференции, форумы в III квартале 2020 года	2	30,35
Выставки, конференции, форумы в IV квартале 2020 года	3	40
Выставки в I квартале 2021 года	4	1
Информация для авторов рукописей, предлагаемых к публикации в журнале «Вестник метролога»	1, 2	38,38
Перечень научных статей и материалов, опубликованных в 2020 году	4	38
Информация для подписчиков и читателей журнала	1, 2, 4	40,40,2