

ВМ 1/2023 (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 23.09.2022 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., к.п.н., доцент,

**Адрес редакции:** 141006, г. Мытищи  
Московской обл., Олимпийский  
проспект, владение 12, строение 1

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

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

Тел./факс (495) 586–23–88

E-mail: 32gniii\_vm@mail.ru

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

Сдано в набор 20.02.2023

Подписано в печать 22.02.2023

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

*Кравцов А.Н., к.т.н., доцент, Солдатенко В. С., к.т.н., доцент,  
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского,  
Пузанков С. В., Военно-космическая академия  
имени А.Ф. Можайского*  
Математическая модель определения параметров риск-  
ориентированной стратегии метрологического обслуживания  
комплекта средств измерений . . . . . 3

*Хайруллин Р.З., д.ф.-м.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны  
России, Национальный исследовательский Московский  
государственный строительный университет*  
Полумарковская модель эксплуатации и обновления парка  
измерительной техники . . . . . 11

*Тетерук Р.А., Фирсанов Н.А., Всероссийский  
научно-исследовательский институт метрологии  
им. Д.И. Менделеева, г. Санкт-Петербург, Россия*  
Определение интервала между поверками по результатам  
проведения ресурсных испытаний на метрологический отказ . . . 18

### Радиотехнические измерения

*Дворников С.В., д.т.н., профессор,<sup>1,2</sup>  
Голик А.М., д.т.н.,<sup>3</sup> Клейменов Ю.А., д.т.н., ФГБУ «ГНМЦ»  
Минобороны России, Дворников С.С.,<sup>1,2</sup>*  
<sup>1</sup> – Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения  
<sup>2</sup> – Военная академия связи им. Маршала Советского Союза  
С.М. Буденного.  
<sup>3</sup> – Санкт-Петербургский военный ордена Жукова институт  
войск национальной гвардии Российской Федерации  
Оценка временных параметров импульсов на основе  
распределения Вигнера . . . . . 23

### Измерения жидкости и газа

*Велиев Гасан Саркар оглы,  
Азербайджанский технический университет*  
Оптимизация косвенных интервальных измерений  
с функционально заданными краевыми точками . . . . . 28

### Измерения времени и частоты

*Новикова И.В., ФГУП «ВНИИФТРИ»*  
Экспериментальное исследование методик определения  
инструментальной составляющей систематической  
погрешности измерений эталонного измерительного  
комплекса длины в диапазоне до 60 м при работе  
с фазовым светодайномером . . . . . 32

**XIII Всероссийская научно-техническая конференция  
«Метрология в радиоэлектронике» (20 - 22 июня 2023 г.) . . . 38**

**К сведению авторов . . . . . 40**

**Подписка на журнал «Вестник метролога» . . . . . 40**

## VM 1/2023

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 23.09.2022 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.

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, Mytitschi  
Moscow obl., Olympic avenue, possession  
12, construction 1

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

telephone/fax (495) 586-01-00;  
(495) 586-23-88.

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

*Kravtsov A.N., c.t.s., Associate Professor, Soldatenko V. S., c.t.s.,  
Associate Professor, Puzankov S.V., Military Space Academy  
named after A.F. Mozhaisky*

Mathematical model for determining the parameters of a risk-  
oriented strategy for metrological maintenance of a set of  
measuring instruments . . . . . 3

*Khayrullin R.Z., d.ph.-m.s., FSBI «MSHC» of the Ministry of  
Defense of the Russian Federation, Moscow State (National  
Research) University of Civil Engineering*

Semi - markov model of operation and updating the measuring  
equipment fleet . . . . . 11

*Teteruk R. A., Firsanov N. A., D. I. Mendeleev Institute for  
Metrology (VNIIM), St. Petersburg, Russia*

Determination of the intervals between verifications based on the  
results of life tests for metrological failure . . . . . 18

### Measurements of radio engineering quantities

*Dvornikov S.V.<sup>1,2</sup>, d.t.s., Professor, Golik A.M., d.t.s.,  
St. Petersburg Military Institute of the National Guard forces of the  
Russian Federation, Dvornikov S.S.<sup>1,2</sup>, Kleymenov Yu.A., d.t.s.,  
Federal State Budgetary Institution «Metrology Scientific Head  
Center» Russian Federation Ministry of Defense*

<sup>1</sup> – St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
<sup>2</sup> – Military Communication Academy  
Estimation of the time parameters of pulses based on the wigner  
distribution . . . . . 23

### Liquid and gas measurements

*Veliyev Hasan Sarkar oglu, PhD student,  
Azerbaijan Technical University*

Optimization of indirect interval measurements with functionally  
specified edge points . . . . . 28

### Time and frequency measurements

*Novikova I. V., FSUE «VNIIFTRI»*

Experimental investigation of methods for determining the  
instrumental component of the systematic error of measurements  
of the reference measuring complex of length in the range of up to  
60 M when working with a phase light detector . . . . . 32

### EXHIBITIONS, CONFERENCES IN II QUARTERS 2023

**XIII All-Russian scientific and technical conference  
«Metrology in radio electronics» . . . . . 38**

**Note authors . . . . . 40**

**Information . . . . . 40**

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СТРАТЕГИИ  
МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ КОМПЛЕКТА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ  
MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF A RISK-ORIENTED STRATEGY FOR  
METROLOGICAL MAINTENANCE OF A SET OF MEASURING INSTRUMENTS**

*Кравцов А.Н., к.т.н., доцент, Солдатенко В. С., к.т.н., доцент, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Пузанков С. В., Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Kravtsov A.N., c.t.s., Associate Professor, Soldatenko V. S., c.t.s., Associate Professor, Puzankov S.V., Military Space Academy named after A.F.Mozhaisky  
E-mail: vka@mil.ru, тел. +7 (981) 166-50-25  
E-mail: vka@mil.ru, тел. +7 (911) 925-68-41  
E-mail: vka@mil.ru, тел. +7 (995) 232-08-93.*

**Аннотация:** В статье рассмотрен подход к моделированию риск-ориентированных стратегий метрологического обслуживания комплекта средств измерений для систем основной техники, который позволяет учитывать существенные ограничения на необходимые ресурсы. Указанные ограничения возможны при циклическом режиме целевого применения системы основной техники с заданной частотой. Разработанный подход позволяет осуществлять перераспределение имеющихся ограниченных ресурсов для проведения операций метрологического обслуживания комплекта средств измерений с учетом возможных ущербов, обусловленных некоторым снижением метрологических характеристик этого комплекта.

**Annotation:** The article considers an approach to modeling risk-oriented strategies for metrological maintenance of a set of measuring instruments for basic equipment systems, which allows taking into account significant limitations on the necessary resources. These limitations are possible in the cyclic mode of the target application of the system of basic equipment with a given frequency. The developed approach makes it possible to redistribute the available limited resources for carrying out operations of metrological maintenance of a set of measuring instruments, taking into account possible damages caused by a certain decrease in the metrological characteristics of this set.

**Ключевые слова:** модель, метрологическое обслуживание, риск-ориентированный подход, комплект средств измерений.

**Keywords:** model, metrological service, risk-oriented strategy, set of measuring instruments.

### Введение

Для значительного количества образцов современной техники обязательным условием их готовности к применению по назначению является проведение метрологического обслуживания комплекта средств измерений (СИ), входящих в их состав.

Под метрологическим обслуживанием (МО) комплекта СИ (КСИ) в статье понимается совокупность мероприятий, направленных на достижение установленных значений показателей метрологической надежности КСИ. Совокупность правил управления выполнением указанных мероприятий рассматривается в статье, как стратегия МО комплекта СИ. Параметрами указанной стратегии являются показатели времени проведения и состав операций МО применительно к образцам, входящим в состав КСИ.

В соответствии с действующими стратегиями метрологического обслуживания комплектов СИ, входящих в состав системы основной техники (СОТ), операции указанных стратегий проводятся перед целевым применением этой системы. При

этом предполагается, что необходимые для проведения стратегий ресурсы имеются в полном объеме. Однако при циклическом целевом применении СОТ с заданной частотой выполнение задачи осуществления метрологического обслуживания КСИ существенно усложняется. В указанные периоды существенно уменьшаются интервалы времени, отводимые для метрологического обслуживания. Возможна также нехватка трудовых и материальных ресурсов, например, выездной метрологической группы (ВМГ) для проведения заданного объема операций стратегии МО за заданный промежуток времени. При этом у образца СИ, не прошедшего метрологическое обслуживание, возможно возникновение метрологического отказа, который обусловлен выходом метрологической характеристики (МХ) СИ за пределы допустимых значений – поля допуска МХ. Последствием скрытых метрологических отказов является наступление неблагоприятных событий и вызванных ими ущербов при применении СОТ по назначению.

Таким образом, складывается следующее противоречие: с одной стороны, в периоды цикли-

6. Гвоздев, Д. Б. Применение риск-ориентированного подхода при планировании производственных программ ПАО «Россети»: докл. на V Науч.-практ. конф. «Контроль технического состояния оборудования объектов электроэнергетики» [Электронный ресурс]. / Д.Б. Гвоздев. – М., 06.12.2018. URL: [http://www.tiees.ru/fileadmin/f/Conference/2018/present/02\\_Gvozdev\\_D.B.\\_Prezentacija\\_Konferencija\\_EHS-2018.pdf](http://www.tiees.ru/fileadmin/f/Conference/2018/present/02_Gvozdev_D.B._Prezentacija_Konferencija_EHS-2018.pdf) (дата обращения 01.06.2022).
7. A knowledge-based expert system to assess power plant project cost overrun risks [Text] / M.S. Islam, M.P. Nepal, M Skitmore, K. Golam // *Expert Systems with Applications*. – 2019. – Vol. 136. – P. 12–32.
8. Arunraj, N. S. Risk-based maintenance policy selection using AHP and goal programming [Text] / N.S. Arunraj, J. Maiti // *Safety science*. – 2010. – Vol. 48, № 2. – P. 238–247.
9. Ерлыченкова, А. С. Предотвращение рисков в деятельности метрологических лабораторий [Электронный ресурс] / А.С. Ерлыченкова. // *NovaInfo*. – 2021. – № 129. – С. 32–33. URL: <https://novainfo.ru/article/18825> (дата обращения: 01.06.2022).
10. Приймак, Е. В. Использование риск-ориентированного подхода для анализа деятельности АО «ТАТ-ХИМФАРМПРЕПАРАТЫ» в области метрологического обеспечения. [Текст] / Е.В. Приймак, И.С. Разина // *Вестник технологического университета*. – 2018. – № 12. – Том 21. – С. 148–153.
11. ГОСТ Р 56116–2014 Воздушный транспорт. Система менеджмента безопасности авиационной деятельности. Метрологические риски.
12. Интеллектуальное управление риском при эксплуатации сложных технологических систем [Текст]: моногр. / Е.И. Бессонов, П.Е. Бессонов, Д.А. Чагин, О.Л. Шестопалова; под ред. А.Н. Миронова. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2008. – 523 с.
- Literature**
1. Statinov, V. V. Risk-oriented approach in the field of industrial safety [Text] / V.V. Statinov, I.R. Serykh, E.V. Chernysheva, A.N. Degtyar // *Bulletin of V.G. Shukhov BSTU*. – 2018. – No.12. – pp. 67–72.
2. Kotochigov, R. V. On the issue of a risk-oriented approach when conducting inspections of protection objects [Text] / R.V. Kotochigov, E.N. Epifanov, P.O. Chirkov, S.I. Gusev, E.A. Salikov // *Problems of safety during liquidation consequences of emergency situations*. – 2017. – Vol. 1. – pp. 862–864.
3. Fedosov, A.V. Prospects for the application of a risk-based approach in the field of industrial safety [Text] / A.V. Fedosov, V.A. Zakirova, I.R. Abdrakhimova. // *Electronic scientific journal Oil and Gas Business*. – 2018. – No. 1. – pp. 145–161.
4. Akimova, D. D. Introduction of a risk-oriented approach at hazardous industrial facilities [Text] / D.D. Akimova, A.G. Edelkina. / *Problems of socio-economic development of Russia at the present stage: collection of materials of the IX Annual International Scientific and Technical Conference. conf. In 2 parts* // *Tambov State University named after G.R. Derzhavin*. – 2017. – Pp. 105–111.
5. Antonenko, I. N. Risk-oriented approach to the management of energy production assets. [Text] / I.N. Antonenko // *ENERGOEXPERT*. – 2020. – No. 1. – pp. 26–33.
6. Gvozdev, D. B. Application of a risk-oriented approach in planning production programs of PJSC ROSSETI: dokl. at the V Scientific and Practical conference “Control of the technical condition of equipment facilities electric power industry” [Electronic resource]. / D.B. Gvozdev. – M., 06.12.2018. URL: [http://www.tiees.ru/fileadmin/f/Conference/2018/present/02\\_Gvozdev\\_D.B.\\_Prezentacija\\_Konferencija\\_EHS-2018.pdf](http://www.tiees.ru/fileadmin/f/Conference/2018/present/02_Gvozdev_D.B._Prezentacija_Konferencija_EHS-2018.pdf) (accessed 01.06.2022).
7. A knowledge-based expert system to assess power plant project cost overrun risks [Text] / M.S. Islam, M.P. Nepal, M Skitmore, K. Golam // *Expert Systems with Applications*. – 2019. – Vol. 136. – P. 12–32.
8. Arunraj, N. S. Risk-based maintenance policy selection using AHP and goal programming [Text] / N.S. Arunraj, J. Maiti // *Safety science*. – 2010. – Vol. 48, № 2. – P. 238–247.
9. Erlychenkova, A. S. Prevention of risks in the activities of metrological laboratories [Electronic resource] / A.S. Erlychenkova. // *NovaInfo*. – 2021. – No. 129. – pp. 32–33. URL: <https://novainfo.ru/article/18825> (accessed: 06/01/2022).
10. Priymak, E. V. Using a risk-based approach to analyze the activities of JSC “TATHIMPHARMPARATY” in the field of metrological support. [Text] / E.V. Priymak, I.S. Razina // *Bulletin of the Technological University*. – 2018. – No. 12. – Volume 21. – pp. 148–153.
11. GOST R 56116–2014 Air transport. Aviation safety management system. Metrological risks.
12. Intelligent risk management in the operation of complex technological systems [Text]: monograph / E.I. Bessonov, P.E. Bessonov, D.A. Chagin, O.L. Shestopalova; edited by A.N. Mironov. – St. Petersburg: A.F. Mozhaisky VKA, 2008..

## ПОЛУМАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ОБНОВЛЕНИЯ ПАРКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ. SEMI – MARKOV MODEL OF OPERATION AND UPDATING THE MEASURING EQUIPMENT FLEET.

Хайруллин Р.З., д.ф.-м.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России,  
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Khayrullin R.Z., d.ph.-m.s., FSBI «MSHC» of the Ministry of Defense  
of the Russian Federation,  
Moscow State (National Research) University of Civil Engineering  
e-mail: 32gnii@mil.ru  
tel. 8(498)684-75-67

**Аннотация:** Предлагается полумарковская модель управления процессом эксплуатации и обновления парка измерительной техники, включающего несколько групп деградации измерительной техники. Построена функциональная зависимость стационарного коэффициента готовности от следующих метрологических параметров: интервалов между поверками, относительных эксплуатационных допусков на контролируемые параметры, относительных погрешностей измерения, а также от других организационно – технических и технических параметров. Представленная модель позволяет вычислить оптимальные (рациональные) параметры эксплуатации и обновления парка измерительной техники. Модель может быть использована для классификации сложных технических систем с целью задания требований к их метрологическому обеспечению.

**Annotation:** The semi – markov model for managing the process of operation and updating the fleet of measuring equipment, taking into account degradation processes, is proposed. The model includes three groups of degradation of measuring equipment. The functional dependence of the stationary availability coefficient on the intervals between verifications, on the relative operational tolerances for the controlled parameters, on the relative measurement errors and other technical and technological parameters of the operation and renewal of the fleet is constructed. The presented model allows us to calculate the optimal (rational) parameters of operation and renewal of the fleet of measuring equipment. The model can be used to classify complex technical systems in order to set requirements for their metrological support.

**Ключевые слова:** полумарковская модель эксплуатации и обновления, деградация, ложный отказ, необнаруженный отказ.

**Keywords:** semi – markov model of operation and updating, false failure, undetected failure.

Проблеме моделирования эксплуатации сложных технических систем с метрологическим обеспечением на основе применения марковских и полумарковских моделей посвящены работы [1–4]. Проблеме моделирования системы метрологического обеспечения, как сложной организационно – технической системе, посвящена работа [5]. В этой работе предложен новый подход к построению полумарковских моделей эксплуатации сложных систем, предполагающий построение соответствующих графов эксплуатации с произвольным количеством вершин (состояний). На ребрах графа прописываются как вероятностные характеристики переходов, так и временные характеристики переходов, а также издержки, связанные с нахождением в состояниях системы и с переходами состояний. Однако во всех указанных выше работах вопросы оптимизации системы метрологического обеспечения учитываются недостаточно полно или не учитываются вовсе.

Возможность обеспечения и поддержания требуемого уровня метрологической надежности и готовности измерительной техники (ИТ) к применению существенно зависит от степени ее деградации, от интенсивности эксплуатации ИТ, от качества обслуживания и восстановления ИТ. В [4] представлена модель эксплуатации парка ИТ, включающая три группы деградации и одно единственное работоспособное состояние, в которое переходят образцы ИТ из разных групп деградации после восстановления. Однако для некоторых типов ИТ возможность восстановления ресурса и полнота восстановления ресурса зависят от степени деградации восстанавливаемого образца ИТ, фактического срока эксплуатации, возраста и т.д. Поэтому модель [4] с единственным состоянием работоспособности не в полной мере учитывает отмеченные выше особенности эксплуатации и восстановления ИТ. Если, к тому же, восстановление ресурса возможно только в ограниченных пределах или нецелесообразно, то возникает не-

100% до 75% коэффициент готовности  $K_A$  уменьшается с 0,9514 до 0,84.

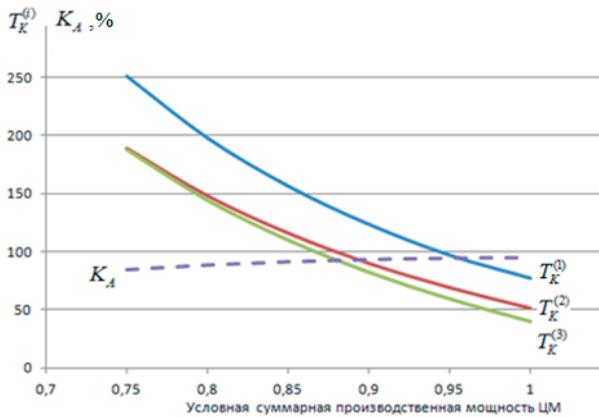


Рисунок 7 – Зависимость коэффициента готовности и ИМП от общей производственной мощности ЦМ

Основные результаты работы состоят в следующем:

1. Разработана полумарковская модель управления эксплуатацией и обновлением парка ИТ. Модель позволяет учитывать деградационные процессы, проявляющиеся в процессе эксплуатации ИТ, и различные варианты обновления парка ИТ: закупки новых образцов ИТ и разработка новых образцов ИТ.

2. Модель позволяет за счет управления технологическими параметрами эксплуатации и обновления парка ИТ формировать различные варианты развития парка ИТ, выявлять проблемные вопросы развития, формировать стратегии развития при наличии различного рода ограничений.

3. Построенная зависимость коэффициента готовности от параметров (аргументов функции коэффициента готовности) является гладкой, поэтому экстремальные свойства коэффициента готовности могут быть эффективно исследованы с помощью стандартных градиентных методов. Разработанная модель позволяет решать задачи условной оптимизации при наличии ограничений на часть аргументов функции коэффициента готовности.

## Литература

1. Кузнецов С.В. Математические модели процессов и систем технической эксплуатации авионики как марковские и полумарковские процессы. Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 213 (3). С. 28–33.
2. Чернышова Т.И., Третьяков В.В. Математическое моделирование при анализе метрологической надежности аналоговых блоков информационно-измерительных систем. Вестник ТГТУ. 2014. Том 20. № 1. С. 42–49.
3. Мищенко В.И., Кравцов А.Н., Мамлеев Т.Ф. Полумарковская модель функционирования резервируемых средств измерений с учётом периодичности поверки. Измерительная техника. 2021. № 4. С. 22–27.
4. Galishnikov A.A., Ershov D.S., Khayrullin R.Z. Model of operation of the complex technical systems with metrological support. Proceedings of XXV-th International Scientific Conference “Construction the Formation of Living Environment” (FORM-2022). 7p.
5. Khayrullin R.Z., Popenkov A.J. Distribution of controlling volumes of metrological support for the objectives of complex organizational and technical systems with the use of semi-Markov models. Proceedings of XI-th International Conference: Management of Large-Scale System Development. MLS D 2018. (8551917). 5p.
6. Сычев Е.И. Метрологическое обеспечение радиоэлектронной аппаратуры (методы анализа). Москва. РИЦ «Татьянин день». 1994. 277 с.
7. Хайруллин Р.З., Корнев А.С., Костоготов А.А., Лазаренко С.В. Математическое моделирование функций ошибок принятия решения при допусковом контроле работоспособности измерительной техники. Метрология. 2020. № 3. С. 3–8.
8. Хайруллин Р.З., Волчков А.А., Исаев Ю.А., Леонова К.С., Фуфаева О.В. Метод построения оценок точности измерений на основе использования апостериорной информации. Вестник метролога. 2019. №4. С. 18–21.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛА МЕЖДУ ПОВЕРКАМИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОВЕДЕНИЯ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ОТКАЗ DETERMINATION OF THE INTERVALS BETWEEN VERIFICATIONS BASED ON THE RESULTS OF LIFE TESTS FOR METROLOGICAL FAILURE

Тетерук Р.А.<sup>1</sup>, Фирсанов Н.А.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии  
им. Д.И.Менделеева, г. Санкт-Петербург, Россия

Teteruk R. A.<sup>1</sup>, Firsanov N. A.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>D. I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM), St. Petersburg, Russia

<sup>1</sup>r.a.teteruk@vniim.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8057-5220>

<sup>2</sup>n.a.firsanov@vniim.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2495-9959>

**Аннотация.** Одним из ключевых факторов для потребителя при выборе средства измерений является интервал между его поверками (МПИ). Общепринятый подход к установлению МПИ предусматривает использование априорной информации о надежности средства измерений, предоставляемой производителем. Для проверки достоверности такого подхода были проведены ресурсные испытания на метрологический отказ образцов преобразователей давления. В статье приведены необходимые для подготовки к проведению испытаний расчеты. Применены несколько подходов к обработке полученных в ходе испытаний измерительных данных. Анализ результатов показал необходимость пересмотра и доработки действующих методов установления МПИ.

**Abstract.** One of the key factors for the consumer when choosing a measuring instrument is the interval between its verifications. The generally accepted approach to establishing the interval between verifications involves the use of a priori information about the reliability of the measuring instrument provided by the manufacturer. To verify the reliability of this approach, life tests for metrological failure of samples of pressure transducers were carried out. The article presents the calculations necessary to prepare for testing. Several approaches have been applied to processing the measurement data obtained during the tests. The analysis of the results showed the need to revise and refine the existing methods for establishing the interval between verifications.

**Ключевые слова:** интервал между поверками, интервал между калибровками, испытания на метрологический отказ, ресурсные испытания, дрейф метрологических характеристик

**Keywords:** interval between verifications, calibration interval, tests for metrological failure, life tests, drift of metrological characteristics

### Введение

Одной из основных задач повышения качества метрологического обслуживания и обеспечения единства измерений является корректное определение МПИ и интервалов между калибровками (МКИ)<sup>1</sup>. Определение МКИ необходимо для оптимизации экономических издержек на содержание средства измерений (СИ), а МПИ применяются в сфере законодательной метрологии и должны быть определены так, чтобы обеспечить уход метрологических характеристик (МХ) СИ за МПИ не более, чем в рамках установленных в его описании типа значений [1]. Проблеме определения МПИ посвящён ряд публикаций в основном авторов Содружества Независимых Государств, так как понятие поверка используется только в этих странах [2, 3]

На данный момент времени в РФ приказом Фе-

дерального агентства по техническому регулиро-  
ванию № 1502 от 02.07.2020 г.<sup>2</sup> (Приказ № 1502) для разных типов СИ установлены предельные рекомендуемые МПИ. Типы СИ, утвержденные до выхода приказа, могут иметь МПИ выше рекомендованных, что делает их более выгодными для приобретения с экономической точки зрения. Данное обстоятельство снижает конкурентоспособность вновь разрабатываемых отечественных СИ на рынке. Тем не менее, многие из вновь утверждаемых типов СИ основаны на проверенных технических решениях и зачастую являются лишь модификацией уже проверенных временем типов СИ. Таким образом, становится актуальной проблема применения объективных методов определения МПИ с целью обоснованного утверждения МПИ со значениями, превышающими рекомендованные в Приказе № 1502. В связи с этим, на-

<sup>1</sup>ILAC-G24/OIML D10, Guidelines for the determination of calibration intervals of measuring instrument, 2007

<sup>2</sup>Министерство промышленности и торговли Российской Федерации, Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, Приказ от 2 июля 2019 года № 1502 «Об утверждении рекомендуемых предельных значений интервалов между поверками средств измерений»

зователей. Все остальные выборки показали существенное влияние обоих факторов.

Методика расчета позволяет определять вероятности метрологической исправности и МПИ для каждого датчика отдельно (Результат 4). Для этого формулы (2) и (3) необходимо привести к следующему виду:

$$\bar{m}(i \Delta t) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \xi_j (i \Delta t)$$

$$\bar{\sigma}(i \Delta t) = \sum_{j=1}^n \sqrt{\frac{1}{n-1} |\xi_j (i \Delta t) - \bar{m}(i \Delta t)|^2}.$$

Для каждого датчика на каждом контрольном промежутке были получены средние значения нестабильности МХ по диапазону и их СКО. Дальнейший расчет остался без изменений. Полученные результаты по всем рассмотренным вариантам определения МПИ представлены в таблице.

Таблица

**Результаты определения МПИ**

ВПИ	МПИ, лет				Установленный при утверждении типа		
	Результат 1	Результат 2	Результат 3	Результат 4			
6,3 кПа	1,9	1,0	2,9	0,7	5,0		
1,6 МПа				4,3		4,3	0,9
							1,1
							1,3
		5,1					
		4,6					
		7,3					
70 МПа		4,3	4,3	4,8			
				9,5			
				15,9			
	12,3						
				7,1			

**Выводы**

Полученные результаты свидетельствуют о зависимости МПИ преобразователей давления от их диапазона измерений: чем ниже верхний предел измерений, тем меньше МПИ. Связано это с конструктивными особенностями преобразователей. Для обеспечения отклика на меньшее изменение давления используют более тонкие мембраны, более подверженные эффектам текучести, тогда как для более высоких давлений в целях безопасности мембраны выбирают с большим запасом по прочности. Также показано несоответствие результатов определения МПИ по выборке

результатам каждого преобразователя. Объясняется это разным дрейфом датчиков и ростом СКО при обработке выборки. Установленный при утверждении типа МПИ в 5 лет по результатам испытаний на метрологический отказ, оказался неподходящим для более чем половины испытанных преобразователей, что доказывает необходимость разработки и внедрения новых методик определения МПИ.

**Список источников**

1. Фридман А.Э. Основы метрологии. Современный курс. С.-Пб.: НПО «Профессионал», 2008. 284 с.: ил.
2. Кострикина И.А., Галкина Е.Н. Методика определения межповерочных интервалов по результатам ускоренных испытаний // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2013. № 3 (5). С. 19–24.
3. Шабанов М.В., Разумный А.И. Установление интервалов между поверками средств измерений, применяемых в сфере законодательной метрологии в Республике Беларусь: проблемы и решения // Метрология и приборостроение. 2021. № 4. С. 38–43.
4. Клокова Н.П. Тензорезисторы: Теория, методика расчета, разработки. – Москва: Машиностроение, 1990. 224 с
5. Фридман А.Э. Теория метрологической надежности средств измерений. Коллективная монография «Фундаментальные проблемы теории точности». СПб.: Наука, 2001. С. 382-413.
6. Фридман А.Э. Теория метрологической надежности средств измерений // Измерительная техника. 1991. № 11. С. 3-11.
7. Фридман А.Э. Метрологическая надежность средств измерений и определение межповерочных интервалов // Метрология. 1991. № 9. С. 52-61.

**References**

1. Fridman A.Je., Osnovy metrologii. Sovremennyy kurs. [Basics of metrology. Modern course.], S.-Pb., NPO «Professional», 2008. (In Russ.)
2. Kostrikina I.A., Galkina E.N. Measurement. Monitoring. Management. Control., 2013, vol. 3, no. 5, pp. 19–24.
3. Shabanov M.V., Razumnyj A.I., Metrology and instrumentation, 2021, vol. 4, pp. 38–43.
4. Klokova N.P. Tenzorezistori: Teorija, metodika rascheta, razrabotki. [Tensoresistors: Theory, calculation methodology, development], Moscow, Mashinostroenie, 1990. (In Russ.)
5. Fridman A.Je., Teorija metrologicheskoy nadezhnosti sredstv izmerenij.: monografiya, SPb., Nauka, 2001, p. 382-413. (In Russ.)
6. Fridman A.Je., Measurement techniques, 1991, vol. 11, pp. 3-11.
7. Fridman A.Je., Metrology, 1991, vol. 9, pp. 52-61.

## ОЦЕНКА ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСОВ НА ОСНОВЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВИГНЕРА ESTIMATION OF THE TIME PARAMETERS OF PULSES BASED ON THE WIGNER DISTRIBUTION

Дворников С.В., д.т.н., профессор,<sup>1,2</sup> Голик А.М., д.т.н.,<sup>3</sup>

Клейменов Ю.А., д.т.н., ФГБУ «ГНМИЦ» Минобороны России, Дворников С.С.,<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> – Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

<sup>2</sup> – Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного.

<sup>3</sup> – Санкт-Петербургский военный ордена Жукова институт войск национальной гвардии Российской Федерации  
Dvornikov S.V.<sup>1,2</sup>, d.t.s., Professor, Golik A.M., d.t.s., St. Petersburg Military Institute of the National Guard forces  
of the Russian Federation, Dvornikov S.S.<sup>1,2</sup>, Kleymenov Yu.A., d.t.s., Federal State Budgetary  
Institution «Metrology Scientific Head Center» Russian Federation Ministry of Defense

<sup>1</sup> – St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

<sup>2</sup> – Military Communication Academy

E-mail: practicsv@yandex.ru, Tel. 8 812 247 94 00

E-mail: metr1956@yandex.ru, ura19572006@yandex.ru,

E-mail: dvornik92@mail.com, Tel. 8(812) 247 98 20

**Аннотация:** Разработаны научно-технические предложения по оценке временных параметров сигналов на основе совместной частотно-временной обработке распределения их энергии, формируемого с использованием функции Вигнера. Представлены результаты анализа ограничений известного подхода к измерению длительности стробирующих импульсов в каналах с высоким уровнем шумов. Показана взаимосвязь функции неопределенности и функции Вигнера, обуславливающая возможность синтеза последней на основе известных процедур. Демонстрируются результаты эксперимента. Сформулированы направления дальнейших исследований.

**Abstract:** Scientific and technical proposals have been developed for estimating the temporal parameters of signals based on joint frequency-time processing of their energy distribution, formed using the Wigner function. The results of the analysis of the limitations of the known approach to measuring the duration of gate pulses in channels with a high noise level are presented. The relationship between the uncertainty function and the Wigner function is shown, which makes it possible to synthesize the latter based on known procedures. The results of the experiment are shown. Directions for further research are formulated.

**Ключевые слова:** измерение временных параметров импульсов, канал с аддитивным шумом, совместная частотно-временная обработка, распределение Вигнера.

**Keywords:** pulse timing measurement, additive noise channel, joint time-frequency processing, Wigner distribution.

### Введение

Погрешность оценивания временных параметров сигналов телекодированной информации во многом определяется качеством радиоканалов, в которых осуществляется их передача [1–3]. В свою очередь, качество радиоканала характеризуется уровнем шумов и помех различной природы [4–6], случайный характер изменения параметров которых не позволяет априори учитывать вносимую ими погрешность. Для борьбы с этим негативным явлением в системах передачи информации успешно используют методы помехозащиты [7–9], в том числе, основанные на помехоустойчивом кодировании [10–12]. Но такое решение не всегда бывает приемлемо, поскольку связано с существенным снижением скорости и значительным расходом канального и аппаратного ресурса [13–14]. Очевидно, чем уже радиоканал, тем он менее подвержен негативному воздействию шумов и помех [15–16]. Однако уменьшение рабочей полосы предполагает переход к непосредственной передаче в радио-

канале гармонических и псевдогармонических сигналов, с последующим их преобразованием в импульсные последовательности [17]. В результате выполнения указанных технических операций возникают ошибки измерения временных параметров сигналов, обусловленные как негативными воздействиями шумов и помех [18], так и погрешностью используемых способов преобразования гармоник в импульсные последовательности [19, 20].

С целью повышения точности проводимых измерений предлагается оригинальный подход к оценке временных параметров гармонических сигналов с использованием методов совместной частотно-временной обработки на основе распределения Вигнера [21].

### Анализ подхода к измерению временных параметров гармоник на основе стробирующих импульсов

В настоящее время широкое распространение получил способ измерения длительностей с использованием стробирующих импульсов [22].

- струкций квадратурных сигналов / С.В. Дворников, А.В. Пшеничников, С.С. Манаенко, Д.А. Бурыкин, Д.А. Кузнецов // *Информация и космос*. 2015. № 3. С. 13–16.
10. Кузнецов И.А. Обзор проблем полярных кодов с позиции технологий оптимизационной теории помехоустойчивого кодирования / И.А. Кузнецов, В.В. Золотарёв, Г.В. Овечкин, Р.Р. Назиров, Д.Ж. Сатыбалдина, Е.Д. Омирбаев // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2020. Т. 17. № 4. С. 9–26.
11. Дворников С.В. Анализ эффективности блоковых кодов / С.В. Дворников, А.А. Устинов, С.С. Дворников, Д.М. Ишин // *Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения*. 2011. № 1. С. 63–73.
12. Дворников С.В. Декодирование самоортогональных кодов / С.В. Дворников, А.А. Устинов, А.А. Погорелов, П.Г. Романенко, С.С. Дворников, Д.М. Ишин // *Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения*. 2012. № 1. С. 93–100.
13. Миронов А.Е. Алгоритм оценки канального ресурса звена мультисервисной сети с учетом разных требований к качеству обслуживания / А.Е. Миронов, А.Н. Переверзев // *Информационные системы и технологии*. 2012. № 5 (73). С. 128–135.
14. Дворников С.В. Аппарат анализа частотного ресурса для режима псевдослучайной перестройки рабочей частоты / С.В. Дворников, С.С. Дворников, А.В. Пшеничников // *Информационно-управляющие системы*. 2019. № 4 (101). С. 62–68.
15. Штефан В.И. Методика оценки устойчивости радиоканала / В.И. Штефан // *Информация и космос*. 2002. № 1–2. С. 48–49.
16. Дворников С.В. Повышение помехоустойчивости сигналов КАМ-16 с трансформированными созвездиями / С.В. Дворников, А.В. Пшеничников, А.А. Русин, А.С. Дворников // *Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения*. 2014. № 2. С. 51–56.
17. Быков В.В. Оценка электромагнитной совместимости узкополосного канала радиосвязи в условиях воздействия непреднамеренных помех со стороны радиолокатора со сложными импульсными сигналами / В.В. Быков, В.А. Гандурин, В.Б. Гребенников, Ф.В. Побережник // *Радиотехника*. 2021. Т. 85. № 9. С. 77–85.
18. Гужва А.Ю. Методика трансформации сигнального созвездия сигнала КАМ-16 с изменением его формы / А.Ю. Гужва, С.В. Дворников, А.А. Русин, А.В. Пшеничников // *Электросвязь*. 2015. № 2. С. 28–31.
19. Розенберг В.Я. Введение в теорию точности измерительных систем / В.Я. Розенберг. – М.: Сов. радио. 1975. – 304 с.
20. Львов А.А. Сравнение методов оценивания параметров квазигармонических сигналов / А.А. Львов, А.А. Серанова, Р.В. Ермаков, А.С. Мучкаев // *Радиотехника*. 2019. Т. 83. № 8 (12). С. 88–94.
21. Дворников С.В. Теоретические основы синтеза билинейных распределений энергии нестационарных процессов в частотно-временном пространстве (обзор) / С.В. Дворников // *Труды учебных заведений связи*. 2018. Т. 4. № 1. С. 47–60.
22. Сафронов В. Способ выделения пачек прямоугольных импульсов из их непрерывной последовательности произвольным асинхронным строб-сигналом / Сафронов В. // *Компоненты и технологии*. 2014. № 9 (158). С. 109–112.
23. Женатов Б.Д. Выбор оптимальной длительности стробирующего импульса интегрирующего ушх для цифрового РПУ / Б.Д. Женатов // В сборнике: *Актуальные проблемы электронного приборостроения. АПЭП-2008. Материалы IX Международной конференции*. В 7 томах. 2008. С. 119–124.
24. Логвиненко А.С. Повышение точности измерения параметров сигналов в цифровом тракте / А.С. Логвиненко, В.Н. Жураковский // *Инженерный вестник*. 2014. № 10. С. 16.
25. Дворников С.В., Бородин Е.Ю., Маджар Х., Махлуф Ю.Х. Частотно-временное оценивание параметров сигналов на основе функций огибающих плотности распределения их энергии // *Информация и космос*. 2007. № 4. С. 41–45.
26. Коэн Л. Время-частотные распределения: обзор / Л. Коэн // *ТИИЭР*. – 1989. –Т. 77. –№ 10. – С. 72–121.
27. Алексеев А.А. Применение методов частотно-временной обработки акустических сигналов для анализа параметров реверберации / А.А. Алексеев, В.А. Аладинский, В.К. Железняк, В.Ф. Комарович, С.В. Дворников. // *Научное приборостроение*. 2001. Т. 11. № 1. С. 65–76.
28. Дворников С.В. Распределение Алексеева и его применение в задачах частотно-временной обработки сигналов / С.В. Дворников, Т.Е. Алексеева // *Информация и космос*. 2006. № 3. С. 9–20.
29. Бутырский Е.Ю. Функция неопределенности сигналов на группе преобразований / Е.Ю. Бутырский // *Информация и космос*. 2008. № 3. С. 31–39.
30. Дворников С.В., Кудрявцев А.М. Теоретические основы частотно-временного анализа кратковременных сигналов: монография. – СПб.: ВАС, 2010. – 240 с.

**ОПТИМИЗАЦИЯ КОСВЕННЫХ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С ФУНКЦИОНАЛЬНО ЗАДАНЫМИ КРАЕВЫМИ ТОЧКАМИ**  
**OPTIMIZATION OF INDIRECT INTERVAL MEASUREMENTS WITH FUNCTIONALLY SPECIFIED EDGE POINTS**

Велиев Гасан Саркар оглы,  
 Азербайджанский технический университет  
 Veliyev Hasan Sarkar oglu, PhD student  
 Azerbaijan Technical University  
 veliyevq.s.@mail.ru

**Аннотация:** Статья посвящена оптимизации косвенных интервальных измерений с функционально заданными краевыми точками. Разработана методика косвенных интервальных измерений, где краевые точки интервала функционально заданы. Приведен конкретный пример проведения интервальных измерений ширины контура поглощения малых газов в атмосфере, в котором суммарная случайная погрешность достигает минимума.

**Abstract:** The article is devoted to the optimization of indirect interval measurements with functionally specified edge points. A technique of indirect interval measurements has been developed where the edge points of the interval are functionally specified. A concrete example of interval measurements of the width of the absorption contour of small gases in the atmosphere in which the total random error reaches a minimum is given.

**Ключевые слова:** интервал, измерения, случайная погрешность, систематическая погрешность оптимизация,  
**Keywords:** interval, measurements, random error, systematic error optimization,

**Введение**

Говоря о косвенных интервальных измерениях с функционально заданными краевыми точками, далее будем иметь ввиду такие измерения, в которых измеряемый интервал определяется путем вычитания двух функционально определяемых координат. Примером таких интервалов может быть: (1) расстояние между двумя точками на изображении, когда эти точки заданы по признаку их яркости на изображении; (2) спектральный интервал на спектре поглощения какого-либо вещества, где краевые точки этого спектрального интервала заданы величиной текущей амплитуды спектральной кривой.

**Предлагаемый метод**

Согласно классификации, погрешности измерений подразделяются на методические и инструментальные. Инструментальные погрешности, в свою очередь, разделяются на систематические и случайные компоненты [1]. При этом суммарная погрешность  $\Delta_{\Sigma x}$  вычисляется в виде суммы

$$\Delta_{\Sigma x} = m(x) + d\sigma_x, \tag{1}$$

где:  $m(x)$  – систематическая составляющая погрешности измерения величины  $x$ ;  $\sigma_x$  – случайная погрешность;  $d$  – коэффициент, зависящий

от функции плотности распределения вероятностей измеряемой величины.

Из (1) получим (при  $d = 1$ )

$$\sigma_x = \Delta_{\Sigma x} - m(x). \tag{2}$$

С учетом (2), если краевые точки интервала заданы непрерывными монотонно возрастающими или убывающими функциями, показатели  $\sigma_x$ ,  $\Delta_{\Sigma x}$  и  $m(x)$  фактически будут определяться следующим образом (рисунок 1):

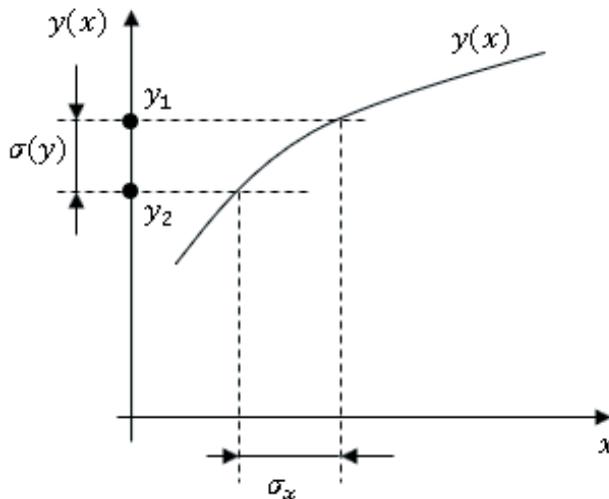


Рисунок 1 – Трансформация погрешности  $\sigma_y$  через монотонную функцию  $y(x)$  в  $\sigma_x$ .

Далее будем считать, что первая составляющая справа в (18) вносит только случайную погрешность, а систематическую погрешность вносит только вторая составляющая.

С учетом вышеизложенного имеем:

$$m(y_1) = m(y_1, \lambda_1) = C_2 \lambda_1^{-\alpha} \quad (19)$$

$$m(y_2) = m(y_2, \lambda_2) = C_2 \lambda_2^{-\alpha} \quad (20)$$

$$y'_{\lambda_1} = \alpha C_2 \lambda_1^{-\alpha-1} + C_1 d \left[ \ln \frac{I(\lambda_1)_0}{I(\lambda_1)} \right] / d\lambda_1 \quad (21)$$

$$y'_{\lambda_2} = \alpha C_2 \lambda_2^{-\alpha-1} + C_1 d \left[ \ln \frac{I(\lambda_2)_0}{I(\lambda_2)} \right] / d\lambda_2 \quad (22)$$

С учетом (10), (18)-(22) напомним

$$\begin{aligned} & \frac{C_2 \lambda_1^{-\alpha}}{\alpha C_2 \lambda_1^{-\alpha-1} + C_1 d \left[ \ln \frac{I(\lambda_1)_0}{I(\lambda_1)} \right] / d\lambda_1} = \\ & = \frac{C_2 \lambda_2^{-\alpha}}{\alpha C_2 \lambda_2^{-\alpha-1} + C_1 d \left[ \ln \frac{I(\lambda_2)_0}{I(\lambda_2)} \right] / d\lambda_2} \end{aligned} \quad (23)$$

Таким образом, при удовлетворении условия (23) суммарная случайная погрешность проводимых измерений в рамках принятых условий достигнет минимума.

С учетом

$$\frac{d \left[ \ln \frac{I(\lambda_1)_0}{I(\lambda_1)} \right]}{d\lambda_1} = m \cdot C \cdot \gamma'(\lambda_1) - \alpha \cdot \beta \lambda_1^{-\alpha-1} \quad (24)$$

$$\frac{d \left[ \ln \frac{I(\lambda_2)_0}{I(\lambda_2)} \right]}{d\lambda_2} = m \cdot C \cdot \gamma'(\lambda_2) - \alpha \cdot \beta \lambda_2^{-\alpha-1} \quad (25)$$

Выражение (23) перепишем как

$$\begin{aligned} & \frac{C_2 \lambda_1^{-\alpha}}{\alpha C_2 \lambda_1^{-\alpha-1} + C_1 m \cdot C \cdot \gamma'(\lambda_1) - \alpha \cdot \beta \lambda_1^{-\alpha-1}} = \\ & = \frac{C_2 \lambda_2^{-\alpha}}{\alpha C_2 \lambda_2^{-\alpha-1} + C_1 m \cdot C \cdot \gamma'(\lambda_2) - \alpha \cdot \beta \lambda_2^{-\alpha-1}} \end{aligned} \quad (26)$$

Таким образом, при выполнении условия (26) суммарная случайная погрешность результата измерения полуширины контура поглощения атмосферного газа достигает минимума.

### Заключение

Разработана методика косвенных интервальных измерений, где краевые точки интервала функционально заданы, используя амплитудный или яркостной признак. Приведен конкретный пример расчета погрешностей при проведении интервальных измерений ширины контура поглощения малых газов на оси длин волн в атмосфере, в котором суммарная случайная погрешность достигает минимума.

### Литература

1. Новицкий П. В., Зограф Н. А. Оценка погрешностей результатов измерений// Энергоатомиздат Ленинградское отделение. 1985. Стр. 248
2. Пантелеев А. В., Летова Т. А. Методы оптимизации в примерах и задачах// М. Высшая школа. 2015. Стр. 544
3. Mortensen A., Xiao S. Slow-light enhancement of Beer-Lambert-Bouguer absorption// Applied Physics Letter. 90(14). 2007. <https://doi.org/10.1063/1.2720270>
4. Гушчин Г. П., Новоселова Н.Н. Суммарный озон в атмосфере// Гидрометеоздат. 1983. Стр. 253
5. Schuster G. L., Dubovik O., Holben B. N. Angstrom exponent and bimodal aerosol size distributions// J. of Geoph. Res. Vol. 111. D07207. Pp. 1–14. 2006. doi:10.1029/2005JD006328

### References

1. Novitsky P. V., Zograf N. A. Estimation of measurement results errors// Energoatomizdat Leningrad branch. 1985. Page 248
2. Panteleev A.V., Letova T. A. Optimization methods in examples and problems// M. Higher School. 2015. Page 544
3. Mortensen A., Xiao S. Slow-light enhancement of Beer-Lambert-Bouguer absorption// Applied Physics Letter. 90(14). 2007. <https://doi.org/10.1063/1.2720270>
4. Gushchin G. P. Novoselova N.N. Total ozone in the atmosphere// Hydrometeoizdat. 1983. Page 253
5. Schuster G. L., Dubovik O., Holben B. N. Angstrom exponent and bimodal aerosol size distribution// J. of Geophys. Res. Vol. 111. D07207. P. 1–14. 2006. doi:10.1029/2005JD006328

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ЭТАЛОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛИНЫ В ДИАПАЗОНЕ ДО 60 М ПРИ РАБОТЕ С ФАЗОВЫМ СВЕТОДАЛЬНОМЕРОМ**  
**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF METHODS FOR DETERMINING THE INSTRUMENTAL COMPONENT OF THE SYSTEMATIC ERROR OF MEASUREMENTS OF THE REFERENCE MEASURING COMPLEX OF LENGTH IN THE RANGE OF UP TO 60 M WHEN WORKING WITH A PHASE LIGHT DETECTOR**

Новикова И.В., ФГУП «ВНИИФТРИ»  
Novikova I. V., FSUE «VNIIFTRI»  
тел.: +7(495)-526-63-84 доб. 25-34  
e-mail: novikova\_iv@vniiftri.ru.

**Аннотация:** проведены исследования и экспериментальные опробования с целью сравнительного анализа методик определения инструментальной составляющей систематической погрешности измерений эталонного измерительного комплекса длины в диапазоне до 60 м с использованием фазовых светодальномеров из состава Государственного первичного специального эталона единицы длины (ГЭТ199–2018).

**Annotation:** for the purpose of comparative analysis were performed experimental tests of methods for determining the instrumental component of systematic measurement error of the reference measuring complex of length in the range up to 60 m using phase light range finders from the composition of the State primary special standard of the unit of length (GET199–2018).

**Ключевые слова:** систематическая инструментальная погрешность, светодальномер, постоянная поправка светодальномера, методика, координатно-измерительная машина

**Keywords:** systematic instrumental error, light range finder, constant correction of light range finder, technique, coordinate measuring machine

### Введение

В процессе определения действительных метрологических характеристик государственных рабочих эталонов длины, построенных на базе фазовых светодальномеров, включая дальномерную часть высокоточных тахеометров (далее – тахеометров), проводится определение их систематической (инструментальной) погрешности в диапазоне длины до 60 м. При определении инструментальной погрешности в качестве эталона применяется лазерная измерительная интерферометрическая система (далее – интерферометр) из состава эталонного измерительного комплекса длины (ЭИКД), входящего в состав Государственного первичного специального эталона длины ГЭТ199–2018 [1]. Данный интерферометр предназначен для хранения и передачи единицы длины рабочим эталонам и средствам измерений (СИ). Необходимость проведения измерений в таком узком диапазоне, относительно рабочего диапазона тахеометра, вызвана небольшим, как правило, 1:2 запасом метрологической точности части ГЭТ 199–2018, работающей в диапазоне длины до 3000 метров, относительно эталонов длины 1-го разряда. Такое соотноше-

ние не позволяет в полном объеме обеспечить определение систематической инструментальной погрешности тахеометров, применяемых в качестве эталонов длины, и, таким образом, задача по использованию 60-ти метрового эталонного оптического компаратора для определения систематических погрешностей эталонов длины является важным этапом при проведении аттестации эталонов длины.

При определении действительных метрологических характеристик тахеометра на ЭИКД на получаемые результаты влияют такие составляющие систематической погрешности, как: субъективная, методическая и инструментальная погрешности [2]. Субъективная погрешность определяется как погрешность оператора при проведении измерений. Методическая составляющая систематической погрешности измерений определяется несовершенством метода измерения, неточностью формул, используемых при вычислениях. Инструментальная составляющая систематической погрешности учитывается в результатах измерений в виде следующих погрешностей: погрешность самого средства измерения, из-

Для подсчета бюджета инструментальных составляющих систематических погрешностей методик определения  $D_0$  в таблице 3 приведены полученные значения погрешностей методики «Стрела» и методики на основе КИМ-П.

Бюджет погрешности методики «Стрела» состоит из допустимой абсолютной погрешности измерений угловых перемещений и максимальной случайной погрешности установления марки в посадочном месте, и определяется по формуле:

$$\delta_{\text{бюдж}} = \sqrt{\delta_{\text{инт}}^2 + \delta_{\text{уст}}^2 + \delta_{\text{опер}}^2 + \delta_{\text{Al}}^2}, \quad (2)$$

где  $\delta_{\text{инт}}$  – погрешность интерферометра на перемещении 2,801 м;

$\delta_{\text{уст}}$  – погрешность установления марки в посадочном месте;

$\delta_{\text{опер}}$  – погрешность оператора при проведении измерений;

$\delta_{\text{Al}}$  – погрешность, возникающая из-за линейного расширения алюминия при изменении температуры в лаборатории в пределах 0,2 °С.

Бюджет погрешностей методики с использованием КИМ-П включает в себя погрешности оператора при измерениях и погрешности самого КИМ-П (3):

$$\delta_{\text{бюдж}} = \sqrt{\delta_{\text{КИМ}}^2 + \delta_{\text{опер}}^2}, \quad (3)$$

где  $\delta_{\text{КИМ-П}}$  – погрешность продольного измерения КИМ-П;

$\delta_{\text{опер}}$  – погрешность оператора при проведении измерений.

Из подсчёта бюджета погрешностей (2) видно, что методика «Стрела» обладает меньшей погрешностью (56,4 мкм), чем методика с использованием КИМ-П (143 мкм). Средние значения результатов измерений, полученные с использованием КИМ-П и определённые методикой «Стрела», отличаются друг от друга на 58 мкм (таблица 2), что соответствует погрешности самой КИМ-П.

Преимуществом методики определения  $D_0$  с использованием КИМ-П является её эргономичность и низкие временные затраты при проведении измерений. В методике «Стрела» процесс очень трудоёмок и сложен из-за существенных габаритов конструкции стрелы и чувствительно-

сти микроскопа к внешним воздействиям, а также люфта калибровочной марки в её посадочном месте. Метод косвенных измерений, на основе которого КИМ-П определяет  $D_0$ , является недостатком данной методики.

Достоинствами определения  $D_0$  по методике «Стрела» являются прямой метод измерений и возможность подсчёта бюджета погрешностей, по сравнению с методикой с использованием КИМ-П, где сложность разложения бюджета погрешности на составляющие величины, влияющие на определение  $D_0$ , возникает из-за особенности конструкции этого изделия.

### Заключение

Проведено экспериментальное исследование и анализ погрешностей двух методик определения инструментальной составляющей систематической погрешности измерений эталонного измерительного комплекса длины в диапазоне до 60 м при работе с тахеометром. Полученные результаты по методике с использованием КИМ-П отличаются от измеренных значений по методике «Стрела» на 58 мкм, а бюджет погрешностей методики с использованием КИМ-П в 2,5 раза больше, чем у методики «Стрела».

Результаты исследования показывают, что запас точности методики с использованием КИМ-П меньше, чем у методики «Стрела», но его достаточно для проведения измерений с тахеометрами, погрешность которых составляет в пределах 0,2 мм при измерениях в диапазоне до 3 метров. Для более точных измерений необходимо использовать методику «Стрела», несмотря на трудоёмкость этого способа и проблемы размещения калибровочной марки в посадочном месте.

### Литература

1. Соколов Д.А., Олейник-Дзядик О.М., Сильвестров И.С. Эталонный измерительный комплекс длины в диапазоне до 60 м из состава Государственного первичного специального эталона единицы длины в диапазоне 24 м – 4000 км (ГПСЭД) // Труды института прикладной астрономии РАН. 2020. № 52. С. 63–67.
2. ГОСТ Р 8.563–2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений.
3. Козаченков С.А., Соколов Д.А. Метод лабораторных испытаний фазовых светодальномеров // Вестник метролога. – 2022. – № 1. – С. 4–8.



## ХIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «МЕТРОЛОГИЯ В РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ»

20–22 июня 2023 г.

ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево  
Солнечногорского района Московской области

### ПРИГЛАШАЕМ К УЧАСТИЮ

Конференция «Метрология в радиоэлектронике» регулярно организуется Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) и Всероссийским научно-исследовательским институтом физико-технических и радиотехнических измерений (ФГУП «ВНИИФТРИ») с целью поддержания взаимодействия, сотрудничества и междисциплинарных дискуссий профессиональных сообществ метрологов. Конференция предоставляет специалистам и учёным возможность презентации и публикации своих докладов и установления научных и деловых контактов с коллегами из России. Программа конференции предусматривает пленарное заседание, заседания секций с устными докладами и специальные заседания (круглые столы). Конференция проводится очно, место проведения – ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево Солнечногорского района Московской области.

### НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ

**Современные тенденции развития радиотехнических и радиоэлектронных измерений:**

- развитие радиоэлектронного приборостроения;
- развитие микроэлектроники и радиофотоники;
- освоение терагерцового диапазона частот электромагнитных волн;

- развитие сетей связи нового поколения и применение цифровых сервисов в метрологическом обеспечении радиотехнических измерений;

- развитие эталонов и высокотехнологичных средств измерений;

- развитие средств полунатурного моделирования для испытаний радиотехнических комплексов и систем.

**Обеспечение единства радиотехнических и радиоэлектронных измерений:**

- измерение мощности электромагнитных колебаний;

- измерение параметров формы, спектра и модуляции радиосигналов;

- измерение характеристик линий и трактов передачи радиосигналов;

- измерение параметров электромагнитного поля и характеристик антенных систем;

- измерение характеристик радиолокационного рассеяния объектов;

- измерение шумовых характеристик радиотехнических устройств;

- измерение объемов передаваемой цифровой информации по каналам Интернет и телефонии.

**Метрологическое обеспечение в радиотехнических приложениях:**

- измерение параметров цифровых линий связи, включая сети 5G;

- метрологическое обеспечение измерений параметров сложных радиотехнических комплексов и систем;

- измерения радиотехнических параметров в микроэлектронике;

- метрологическое обеспечение испытаний на ЭМС;

- задачи метрологического обеспечения при разработке и испытаниях автоэлектроники;

- метрологическое обеспечение средств измерений при удаленной и дистанционной поверке;

- автоматизация радиотехнических измерений;

- совершенствование нормативно-технической базы в области радиотехнических и радиоэлектронных измерений.

### ФОРМЫ УЧАСТИЯ В КОНФЕРЕНЦИИ

- выступление с пленарным докладом;

- выступление с секционным докладом;

- представление стендового доклада;

- публикация описания экспоната (рекламного листа) в материалах конференции;
- демонстрация экспоната;
- участие в конференции (без доклада)

### **ВАЖНЫЕ ДАТЫ**

Прием тезисов докладов, научных статей и рекламы в материалы научно-технической конференции до **20 апреля 2023 г.**

Уведомление авторов о включении в программу конференции до **20 мая 2023 г.**

Предложения в проект Решения и рекламные листы для вложения в раздаточный материал до **05 июня 2023 г.**

Прием заявок на участие (без доклада) завершается **05 июня 2023 г.**

Проведение научно-технической конференции **20–22 июня 2023 г.**

### **ПРЕДЛОЖЕНИЯ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ**

Оргкомитет принимает предложения о проведении специальных заседаний (круглых столов) по тематике конференции. Предложения принимаются до 31 марта 2023 г

### **ПОДАЧА ЗАЯВОК, ПОДГОТОВКА ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ И СТАТЕЙ**

Формы заявок, подробные условия подготовки и подачи тезисов докладов и статей будут опубликованы на сайте: <http://con2023.vniiftri.ru/>

### **ОРКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ**

#### **Председатель**

**Донченко Сергей Иванович**, генеральный директор ФГУП «ВНИИФТРИ», д.т.н., профессор

#### **Заместитель председателя**

**Малай Иван Михайлович**, заместитель генерального директора ФГУП «ВНИИФТРИ» по радиотехническим и электромагнитным измерениям, д.т.н., доцент

**Каминский Олег Викторович**, начальник НИО-1 ФГУП «ВНИИФТРИ», к.т.н., [kaminsky@vniiftri.ru](mailto:kaminsky@vniiftri.ru), 8 (495) 526–63–59 доб. 93–12

**Апрелев Алексей Викторович**, начальник НИО-9 ФГУП «ВНИИФТРИ», [aprelev@vniiftri.ru](mailto:aprelev@vniiftri.ru), 8 (495) 526–63–59 доб. 26–03

**Клеопин Андрей Владимирович**, заместитель начальника НИО-1 по научной работе ФГУП

«ВНИИФТРИ», к.т.н., [kleopin@vniiftri.ru](mailto:kleopin@vniiftri.ru), 8 (495) 526–63–54 доб. 91–71

### **СЕКРЕТАРИАТ**

**Иванова Татьяна Владимировна** [itv@vniiftri.ru](mailto:itv@vniiftri.ru), 8 (495) 526–63–59 доб. 91–92

**Юпатова Мария Алексеевна** [yupatova\\_ma@vniiftri.ru](mailto:yupatova_ma@vniiftri.ru), 8 (495) 526–63–59 доб. 90–91

### **ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ**

**Донченко С.И.**, генеральный директор ФГУП «ВНИИФТРИ», д.т.н., профессор;

**Малай И.М.**, заместитель генерального директора ФГУП «ВНИИФТРИ» по радиотехническим и электромагнитным измерениям, д.т.н., доцент;

**Кузнецов Д.А.**, заместитель директора Департамента государственной политики в области технического регулирования, стандартизации и обеспечения единства измерений Минпромторга России;

**Клейменов Ю.А.**, заместитель начальника ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России по научной работе, д.т.н.;

**Семенов В.Н.**, заместитель директора по научной работе по спецпрограммам Института теоретической и прикладной электродинамики РАН, к.ф.-м.н.;

**Монастырев Е.А.**, генеральный директор АО «НИИПП»;

**Заостровных С.А.**, директор ООО «Планар»;

**Миляев П.В.**, генеральный директор ООО «НПП» ТРИМ СШП Измерительные системы», к.т.н.;

**Добычина Е.М.**, доцент кафедры «Радиофизика, антенны и микроволновая техника» МАИ, д.т.н., доцент;

**Джиган В.И.**, главный научный сотрудник ИППМ РАН, д.т.н., доцент;

**Сахаров К.Ю.**, начальник лаборатории генерирования и измерения параметров электромагнитных импульсов ФГУП «ВНИИОФИ», д.т.н.;

**Каминский О.В.**, начальник НИО-1 ФГУП «ВНИИФТРИ», к.т.н.;

**Тищенко В.А.**, заместитель начальника НИО-1 по метрологии ФГУП «ВНИИФТРИ», к.ф.-м.н.;

**Беляев В.С.**, заместитель начальника НИО-9 по научной работе ФГУП «ВНИИФТРИ»;

**Клеопин А.В.**, к.т.н., заместитель начальника НИО-1 по научной работе ФГУП «ВНИИФТРИ».

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 методов выполнения 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. Ключевые 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 подрисуночных текстах. Размер рисунка не должен превышать 14×20 см.

Формулы должны быть набраны в MS Word с помощью над- и подстрочных знаков, специальных символов или в программе MathType (версия 4.0 и выше). Показатели степеней и индексы должны быть набраны выше или ниже строки буквенных обозначений, к которым они относятся: K12, A3, B2.

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, название 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.

## ПОДПИСКА

Принимается подписка на ежеквартальный журнал  
«Вестник метролога»

Читатели могут оформить подписку  
talikova@vniiftri.ru;  
nikiforova@vniiftri.ru

тел. 8(495) 944-56-41, Никифорова Надежда Николаевна,  
Индекс – 45112 по Объединенному каталогу

«Пресса России»

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

