

ВМ 1/2025 (Основан в 2005 году)

ВЕСТНИК МЕТРОЛОГА

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

Учредитель и издатель

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

Почтовый адрес:

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

Редакционный совет:

И.Ю. Блинов, доктор технических наук.
В.А.Вышков, доктор технических наук
профессор.
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:

Крупская Д.Л., ФГУП «ВНИИФТРИ»

Адрес редакции: 141006, г. Мытищи
Московской обл., Олимпийский проспект,
здание 12, строение 1, оф. 404

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

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

Тел./факс (495) 586–23–88; (495) 580-35-66.

E-mail: 32gniii_vm@mail.ru; vm@vniiftri.ru

Отпечатано ООО «ПРИНТ»

Юридический адрес: 125413, Россия,
г. Ижевск,

Сдано в набор 16.01.2025

Подписано в печать 21.02.2025

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

Храменков В.Н., д.т.н., профессор, ФГБУ «ГНМЦ»

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

Минобороны России

Контроль выполнения обязательных метрологических
требований к измерениям параметров и характеристик
разрабатываемого технического объекта 3

Шафигина А.Э., ВНИИР – филиал ФГУП «ВНИИМ

им. Д.И.Менделеева», Казанский национальный

исследовательский технический университет

им. А.Н. Туполева-КАИ,

Тухватуллин Р.Р., ВНИИР – филиал ФГУП «ВНИИМ

им. Д.И. Менделеева»,

Тухватуллин А.Р., ВНИИР – филиал ФГУП «ВНИИМ

им. Д.И. Менделеева»,

Мингалева Э.Р., ВНИИР – филиал ФГУП «ВНИИМ

им. Д.И. Менделеева»

Об изменении ГОСТ Р 8.1012-2022 «Государственная система
обеспечения единства измерений. Счетчики воды. Методика
поверки» 7

Частотно-временные измерения

Фокин А.П., к.т.н., ВУНЦ ВВС «ВВА им. профессора

Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

Проблемы частотной и временной синхронизации в
современных цифровых сетях связи поколения 4G и выше 12

Измерения давления

Талалай А.В., Научно-технический комитет (Метрологической

службы Вооруженных Сил Российской Федерации),

Кравцов А.Н., к.т.н., доцент, Военно-космическая академия

имени А.Ф. Можайского,

Талалай И.А., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России

Алгоритм расчета результатов совокупных измерений

при воспроизведении и передаче единицы избыточного

статического давления исходным эталоном в условиях

метрологической автономности на основе применения

групповой меры эффективной площади 17

Оптические и оптико-физические измерения величин

Новиков Е.О., младший научный сотрудник

ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России; Шарганов К.А., к.т.н.,

начальник отдела ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России

Методика измерений предела разрешения оптико-

электронных систем 22

Воейко О.А., к.т.н, доцент, кафедра Технологического

университета; Кааль С.В., научный сотрудник

ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России; Бороденкова И.В.,

научный сотрудник ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России

Особенности применения измерительных приборов для

тепловизионного контроля зданий и сооружений 26

Информация 33

К сведению авторов 37

VM 1/2025

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

«Vestnik Metrologa»

Scientific and technical journal

By the solution of VAK of 18.12.2017 it is
included in «The list of the reviewed
scientific

publications in which have to be the main
scientific results of theses for a degree of
the candidate of science, for a degree of the
doctor of science are published» («List»...
of 25.12.2017 for No. 2210).

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

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

The Editorial advice:

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

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

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 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: 32gnii_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

Khramenkov V.N., d.t.s., FSBI «MSHC» of Russian Federation

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

Ministry of Defense of the Russian Federation

Checking the performing the obligatory metrological requirements

to measurements parameter and features of the under

development technical object 3

Shafigina A. E., Affiliated Branch of the D.I. Mendeleyev Institute
for Metrology (VNIIM-VNIIR), Federal State Budgetary Educational
Institution of Higher Education «Kazan National Research

Technical University named after A.N. Tupolev–KAI»

Tukhvatullin R. R., Affiliated Branch of the D.I. Mendeleyev
Institute for Metrology (VNIIM-VNIIR)

Tukhvatullin A. R., Affiliated Branch of the D.I. Mendeleyev Institute
for Metrology (VNIIM-VNIIR)

Mingaleev E. R., Affiliated Branch of the D.I. Mendeleyev Institute
for Metrology (VNIIM-VNIIR)

On the amendment of GOST R 8.1012-2022 «State system
for ensuring the uniformity of measurements. Water meters.

Verification procedure» 7

Time-frequency measurements

Fokin A.P., Military and Air academy of Zhukovsky and Gagarin
(VUNTs Air Force «VVA »)

Problems of frequency and time synchronization in modern digital
communication networks of the 4g generation and above 12

Measurements of the pressure

Talalay A.V., Scientific and Technical Committee (Metrological
service of the Armed Forces of the Russia),

Kravtsov A.N., Militari Space Academy named after A.F. Mozhaysky

Talalay I.A., FSBI «MSMC» of Russia Ministry of Defense

(Mytishchi, Moscow Region)

Algorithm calculation result of the total measurements when

reproducing and issue of the unit of the surplus steady-state

pressure by source standard in condition of the metrological

autonomy on base of the using the group measure efficient area . . . 17

Optic and optic-physical measurements

Novikov E.O., junior research assistant of the Federal State

Budgetary Institution «GNMC» of the Russian Ministry of Defense

Sharganov K.A., c.t.s., head of the department of the Federal

State Budgetary Institution «GNMC» of the Russian Ministry

of Defense The method of measuring the resolution limit

optoelectronic systems 22

Voeyko O.A., c.t.s., department of the Technological University

Borodenkova I.V., research associate of the FSBI «GNMC» of the
Russian Ministry of Defense

Kaal C.V., research associate of the FSBI «GNMC» of the
Russian Ministry of Defense

Features of measuring instruments application for thermal imaging

control of buildings and structures 26

INFORMATION 33

NOTE AUTHORS 37

КОНТРОЛЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ОБЯЗАТЕЛЬНЫХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ИЗМЕРЕНИЯМ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА CHECKING THE PERFORMING THE OBLIGATORY METROLOGICAL REQUIREMENTS TO MEASUREMENTS PARAMETER AND FEATURES OF THE UNDER DEVELOPMENT TECHNICAL OBJECT

Храменков В.Н., д.т.н., профессор, ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России, Надеина О.В., к.п.н.,
ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России
Khramenkov V.N., d.t.s., FSBI «MSHC» of Russian Federation Ministry of Defense, Nadeina O.V., k.p.s.,
FSBI «MSHC» of the Ministry of Defense of the Russian Federation
E-mail: 32gnii@mail.ru; tel. 8(985)765-66-75
ovnadeina@gmail.com; tel. 8(906)751-52-66

Аннотация: в статье проведен анализ контроля выполнения обязательных метрологических требований к измерениям параметров и характеристик разрабатываемого технического объекта. Приведены требования к контролю обоснованности и правильности установления обязательных метрологических требований к измерениям параметров и характеристик разрабатываемого технического объекта.

Abstract: in article is organized analysis of the checking the performing the obligatory metrological requirements to measurements parameter and features of the under development technical object. The Broughted requirements to checking validly and correctness of the determination of the obligatory metrological requirements to measurements parameter and features of the under development technical object.

Ключевые слова: обязательные метрологические требования, технический объект, параметры, характеристика, измерения, контроль

Keywords: obligatory metrological requirements, technical object, parameters, feature, measurements, checking

При контроле обоснованности и правильности установления обязательных метрологических требований к измерениям параметров и технических характеристик, задаваемых в техническом задании (ТЗ) на опытно-конструкторскую работу (ОКР) по созданию технического объекта, могут использоваться экспертный, расчетный и расчетно-экспериментальный методы контроля.

Под параметром объекта согласно [1] понимается величина, определяющая его конкретное свойство и составные части объекта, а техническая характеристика объекта отражает функциональные, геометрические, деформационные, прочностные и другие свойства конструкции, материалов технического объекта [2].

Искомое значение технической характеристики объекта A находят на основании результатов измерений ее аргументов $a_1, \dots, a_r, \dots, a_m$, связанных с искомым значением A уравнением (1) [3]:

$$A = f(a_1, \dots, a_i, \dots, a_m). \quad (1)$$

Функция f должна быть известна из теоретических предпосылок или установлена экспериментально с погрешностью, которой можно пренебречь. Результаты измерений аргументов и оценки их погрешностей могут быть получены из прямых, косвенных, совокупных, совместных измерений.

Искомое значение величины A в общем виде связано с m измеряемыми аргументами $a_1, a_2, \dots, a_m$ и

при отсутствии корреляции между погрешностями измерений аргументов определяется уравнением (2) [4]:

$$A = b_1 a_1 + b_2 a_2 + \dots + b_m a_m, \quad (2)$$

где $b_1, b_2, \dots, b_m$ – постоянные коэффициенты при аргументах $a_1, a_2, \dots, a_m$ соответственно.

Результат косвенного измерения значения $\tilde{A}$ определяется по формуле:

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^m b_i \cdot \tilde{a}_i, \quad (3)$$

где $\tilde{a}_i$ – результат измерения аргумента a_i ; m – число аргументов.

Среднее квадратическое отклонение результата косвенного измерения $S(\tilde{A})$ определяется по формуле:

$$S(\tilde{A}) = \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^2 \cdot S^2(\tilde{a}_i)}, \quad (4)$$

где $S(\tilde{a}_i)$ – среднее квадратическое отклонение результата измерения аргумента a_i .

Если коэффициенты $b_1, b_2, \dots, b_m$ определяют экспериментально, то задача определения результата измерения величины $S(\tilde{A})$ решается поэтапно: сначала оценивают каждое слагаемое $b_i \cdot a_i$, как косвенно измеряемую величину, полученную в результате произведения двух измеряемых величин, а потом находят оценку измеряемой величины A .

Доверительные границы случайной погрешности результата косвенного измерения при условии, что распределения погрешностей результатов измерений аргументов не противоречат нормальным распределениям, вычисляют (без учета знака) по формуле [3]:

$$\varepsilon(p) = t_q \cdot S(\tilde{A}), \quad (5)$$

где t_q – коэффициент Стьюдента, соответствующий доверительной вероятности $P = 1 - q$ и числу степеней свободы $f_{\text{эф}}$.

Контроль обоснованности и правильности установления обязательных метрологических требований к измерениям параметров и характеристик технического объекта, к которым установлены обязательные метрологические требования, включая показатели точности измерений, и выполняющие их средства измерений военного назначения, должны быть отнесены головным исполнителем ОКР к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений с обоснованием и правильным установлением к ним обязательных метрологических требований, приведенных в [5].

Доверительные границы случайной погрешности результата косвенного измерения при условии, что распределения погрешностей результатов измерений аргументов не противоречат нормальным распределениям, вычисляют (без учета знака) по формуле:

$$\varepsilon(p) = t_q \cdot S(\tilde{A}), \quad (6)$$

где t_q – коэффициент Стьюдента, соответствующий доверительной вероятности $P = 1 - q$ и числу степеней свободы $f_{\text{эф}}$, вычисляемому по формуле

$$f_{\text{эф}} = \frac{\left(\sum_{i=1}^m b_i^2 S^2(\tilde{a}_i) \right) - 2 \left(\sum_{i=1}^m \frac{b_i^4 \cdot S^4(\tilde{a}_i)}{(n_i + 1)} \right)^2}{\sum_{i=1}^m \frac{b_i^4 \cdot S^4(\tilde{a}_i)}{(n_i + 1)}}, \quad (7)$$

где n_i – число измерений при определении аргумента a_i .

Если неисключенные систематические погрешности результатов измерений аргументов заданы границами θ_p , то доверительные границы неисключенной систематической погрешности результата косвенного измерения $\Theta(p)$ (без учета знака) при вероятности P вычисляются по формуле:

$$\Theta(p) = k \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^2 \cdot \Theta_i^2}, \quad (8)$$

где k – поправочный коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью P и числом m составляющих Θ_i .

При доверительной вероятности $P = 0,95$ поправочный коэффициент k принимается равным 1,1. При доверительной вероятности $P = 0,99$ поправочный коэффициент принимается равным 1,4, если число суммируемых составляющих $m > 4$. Если же число составляющих $m \leq 4$, то поправочный коэффициент принимается $k \leq 1,4$, где m – число суммируемых составляющих (аргументов).

Результаты измерений параметров и характеристик разрабатываемого технического объекта, указанные в документации на него, должны быть выражены в единицах величин, принятых в Российской Федерации. Обязательные метрологические требования к измерениям параметров и технических характеристик разрабатываемого объекта должны быть обоснованы и установлены разработчиком ОКР в технической документации. Контроль обоснованности и правильности установления обязательных метрологических требований к измерениям параметров и характеристик разрабатываемого технического объекта должен включать следующую оценку: наличие обоснования требований к измерениям параметров и характеристик разрабатываемого технического объекта, контроль правильности установления обязательных метрологических требований к измерениям параметров и характеристик разрабатываемого технического объекта, контроль правильности установления обязательных метрологических требований к измеряемым параметрам и характеристикам разрабатываемого технического объекта должен проводиться для:

а) измеряемых параметров и их номинальных значений, а также допустимых отклонений от номинальных значений для каждого параметра технического объекта, измеряемого в целях оценки его соответствия установленным требованиям;

б) измеряемых параметров (характеристик) разрабатываемого технического объекта и их предельных (наибольших и (или) наименьших) допустимых значений для каждого параметра (характеристики) в целях оценки его соответствия установленным требованиям;

в) измеряемых параметров, диапазона их изменений, частотных диапазонов и диапазонов значений других неинформативных величин, влияющих на точность измерений для каждого измеряемого

мого параметра (характеристики) разрабатываемого технического объекта в целях управления его применением по назначению;

г) максимально допустимых безусловных или условных вероятностей ложного и необнаруженного отказов или требуемых значений коэффициента точности для каждого измеряемого параметра (характеристики) разрабатываемого технического объекта, указанного в пункте а);

д) пределов допускаемой суммарной погрешности измерений для каждого параметра (характеристики) разрабатываемого технического объекта;

е) пределов допускаемой суммарной погрешности измерений для каждого параметра (характеристики) разрабатываемого разрабатываемого технического объекта.

Контроль обоснованности и правильности установления требуемой номенклатуры измеряемых параметров (характеристик) по пунктам а), б), г) и д) выполняется для определенных групп разрабатываемых объектов в целях оценки соответствия обязательным метрологическим требованиям по перечислениям в) и е) должен устанавливаться для определенной группы объектов в целях управления их применением.

Контроль обоснованности и правильности установления обязательных метрологических требований к измерениям параметров (характеристик) при эксплуатации объектов, таких как время, координаты местности и пространства, параметры (характеристики) внешних воздействующих факторов, информационного и метеорологического обеспечения и других, определяемых конкретными видами и типами объектов, требованиями к их эксплуатации и применению, должны устанавливаться в межвидовых и видовых документах по общим техническим требованиям к объектам.

Методики измерений параметров (характеристик) разрабатываемого объектов, не относящиеся к методикам, предназначенным для выполнения прямых измерений, должны выбираться из числа стандартизованных или разрабатываться головным исполнителем ОКР или другими организациями по их заказу. При контроле разработанных исполнителем ОКР методик измерений параметров (характеристик) объекта должно подтверждаться наличие обоснования и установления обязательных метрологических требований к измерениям согласно [5] к:

– методам измерений;

– динамическим, частотным диапазонам и диапазонам значений других неинформативных параметров, влияющих на точность измерений (при необходимости);

– диапазонам скоростей изменения измеряемых параметров (характеристик) разрабатываемого объекта;

– показателям точности измерений параметров (характеристик) разрабатываемого объекта и их количественным значениям;

– средствам измерений, стандартным образцам и измерительным системам (измерительным каналам), включаемых в состав методик измерений;

– условиям выполнения измерений, влияющих на точность измерений параметров (характеристик) разрабатываемого объекта;

– квалификации специалистов, выполняющих измерения параметров (характеристик) разрабатываемого объекта;

– программному обеспечению измерений (при необходимости).

При контроле обоснованности и правильности установления разработчиком ОКР точности методики измерений параметров (характеристик) объекта должны учитываться следующие составляющие погрешности, существенно влияющие на результаты измерений его параметров (характеристик):

– инструментальные, определяемые метрологическими характеристиками средств измерений и стандартных образцов, а также динамическими погрешностями средств измерений;

– методические, обусловленные техническими характеристиками разрабатываемого объекта;

– вызванные реальными условиями выполнения измерений параметров (характеристик) разрабатываемого объекта, влияющими на результаты их измерений.

При контроле обоснованности и правильности установления значения суммарной погрешности измерений параметров (характеристик) разрабатываемого объекта в методике измерений должны обосновываться и учитываться: – метрологические характеристики средств измерений, установленные в соответствии с [7] в их эксплуатационной документации и подтвержденные при утверждении их типа;

– характеристики разрабатываемого объекта, влияющие на точность измерений его параметров;

– характеристики внешних условий выполнения измерений параметров разрабатываемого объекта, влияющие на точность их измерений.

При разработке методик измерений рекомендуется использовать [8].

При контроле обоснованность и правильность установления порядка проведения измерений параметров и характеристик технического объекта должны подтверждаться применением аттестованных методик измерений, приведенных в его эксплуатационной документации (за исключением методик (методов), предназначенных для выполнения прямых измерений). Стандартизованные методики измерений также должны быть аттестованы.

При контроле обоснованности и правильности установления порядка проведения прямых измерений параметров и характеристик разрабатываемого технического объекта методики измерений должны быть приведены в эксплуатационной документации на средства измерений объекта. Подтверждение соответствия методик (методов) прямых измерений обязательным метрологическим требованиям к измерениям должно осуществляться при утверждении типа средств измерений. При контроле обоснованности и правильности установления методик измерений параметров (характеристик) объекта, не являющихся методиками прямых измерений, должен подтверждаться их выбор из числа аттестованных методик в соответствии со сведениями об этом в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений. При отсутствии в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений или разделе этого фонда необходимых аттестованных методик измерений, их разработка и аттестация должны быть организованы и осуществлены в ходе выполнения ОКР по разработке технического объекта в соответствии с порядком, установленным документом [3].

Аттестация разработанных методик измерений должна быть завершена до начала проведения предварительных испытаний разрабатываемого технического объекта.

При контроле обоснованности и правильности установления обязательных метрологических требований к условиям проведения измерений параметров (характеристик) объекта, влияющим на их точность, определяемым его назначением и условиями эксплуатации, должен подтверждаться выбор или разработка средств измерений по всей номенклатуре измеряемых параметров (характеристик) объекта с необходимыми метрологическими характеристиками, сохраняющимися в допустимых пределах в

заданных условиях эксплуатации разрабатываемого объекта. При этом контроль обоснованности и правильности установления этих требований должен подтверждаться результатами испытаний средств измерений в целях утверждения типа и отражаться в описании типа и эксплуатационной документации средств измерений. В рабочей конструкторской документации на разрабатываемый объект для контроля подтверждения выполнения обязательных метрологических требований к условиям проведения измерений, влияющим на их точность, обосновываются и устанавливаются следующие требования:

- к организации периодического контроля количественных значений, воздействующих на результаты измерений факторов и нахождения их в установленных пределах, нормированных эксплуатационной документацией разрабатываемого объекта;
- к пределу допускаемой погрешности средств измерений количественных значений воздействующих факторов, а также выбору для этого необходимых средств измерений;
- к правилам документирования результатов контроля количественных значений внешних воздействующих факторов до и после измерений параметров (характеристик) объекта.

Литература:

1. РМГ 29–2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.
2. ГОСТ Р МЭК 61676–2006 Медицинское электрическое оборудование. Дозиметрические приборы, используемые для неинвазивного измерения напряжения на рентгеновской трубке до 150 кВ.
3. МИ 2083 -90. Рекомендация. ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей.
4. Грачев П.С. «Тактико-технические характеристики – совокупность качественных и количественных параметров изделия военной техники или вооружения, описывающая его свойства (как эксплуатационные, так и боевые)». // Военная энциклопедия // – М., Воениздат, 2004, т. 8, с.18.
5. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 26 июня 2008 г. № 102 ФЗ.
6. Приказ Минпромторга России от 15.12.2015 № 4091 «Порядок аттестации первичных референтных методик (методов) измерений, референтных методик (методов) измерений и их применения».
7. ГОСТ 8.009–84. Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
8. ГОСТ Р 8.563–2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений.

**ОБ ИЗМЕНЕНИИ ГОСТ Р 8.1012-2022 «ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ. СЧЕТЧИКИ ВОДЫ. МЕТОДИКА ПОВЕРКИ»
ON THE AMENDMENT OF GOST R 8.1012-2022 «STATE SYSTEM FOR ENSURING THE UNIFORMITY
OF MEASUREMENTS. WATER METERS. VERIFICATION PROCEDURE»**

Шафигина А.Э., ВНИИР – филиал ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева», Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ

Shafigina A.E., Affiliated Branch of the D.I. Mendeleyev Institute for Metrology (VNIIM-VNIIR), Federal State Budgetary
Educational Institution of Higher Education «Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI»

e-mail: shafigina.98@mail.ru,

tel. +7 (843) 272-41-68

Тухватуллин Р.Р., ВНИИР – филиал ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»

Tukhvatullin R.R., Affiliated Branch of the D.I. Mendeleyev Institute for Metrology (VNIIM-VNIIR)

e-mail: rustam_vniir@bk.ru,

tel. +7 (843) 272-12-02

Тухватуллин А.Р., ВНИИР – филиал ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»

Tukhvatullin A.R., Affiliated Branch of the D.I. Mendeleyev Institute for Metrology (VNIIM-VNIIR)

e-mail: vniir-etalon@bk.ru,

tel. +7 (843) 272-12-02

Мингалева Э.Р., ВНИИР – филиал ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»

Mingaleeva E.R., Affiliated Branch of the D.I. Mendeleyev Institute for Metrology (VNIIM-VNIIR)

e-mail: ed.ming@mail.ru,

tel. +7 (843) 272-12-02

Аннотация: возрастающее число случаев недобросовестного проведения поверок счетчиков воды привели к необходимости выработки плана мероприятий по изменению процедуры поверки бытовых счетчиков воды в данной сфере. В 2023 году Росстандарт определил мероприятия и пути их выполнения, среди которых внесение изменений в методику поверки счетчиков воды (ГОСТ Р 8.1012-2022). В 2024 году к данному стандарту разработано Изменение № 1. Основными нововведениями являются цифровая фиксация поверки и выборочная первичная поверка, а также исключение использования при периодической поверке оптоэлектронных узлов съема сигналов. Предложено для уменьшения временных затрат при проведении поверки, в частности цифровой фиксации поверки, использовать специализированное программное обеспечение.

Annotation: an increasing number of cases of unfair verification of water meters have led to the need to develop an action plan to change the procedure for checking household water meters in this area. In 2023, Rosstandart defined plans and measures, including changes to the method of checking water meters (GOST R 8.1012-2022). In 2024, Amendment No. 1 was developed to this standard. The main innovations are digital fixation of verification and selective primary verification, as well as the exclusion of the use of optoelectronic signal removal units during periodic verification. It is proposed to use specialized software to reduce the time spent during verification, in particular digital fixation of verification.

Ключевые слова: поверка, счетчики воды, обеспечение единства измерений, выборочная поверка, цифровая фиксация поверки

Keywords: verification, water meters, ensuring the uniformity of measurements, spot check, digital fixation of verification

Сфера учета объема потребляемой воды в секторе жилищно-коммунального хозяйства на протяжении многих лет была уязвимой к случаям недобросовестного отношения со стороны организаций, оказывающих услуги по поверке счетчиков воды. Участвовавшие случаи «навязывания» услуг по поверке со стороны организаций или проведение поверки «формально» или «удаленно» без определения метрологических характеристик счетчика указывает на необходимость

ужесточения контроля в этой области. Анализ Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерения (далее – фонд) показал, что количество поверок, проведенных с использованием одного эталона, может достигать до 200 поверок за один день, при этом в фонде практически отсутствуют извещения о непригодности, что указывает на «формальный» характер проведения поверок. Наличие необоснованного количества проведенных поверок за один день в

организации – одна из распространенных причин приостановления действия аккредитации при процедуре подтверждения компетентности. При этом, зачастую, организации не оформляют соответствующую документацию (чеки, квитанции и т.п.) об оплате услуги, что позволяет им не соблюдать налоговые обязательства. Возникает неравное положение между участниками рынка, а также снижение конкурентоспособности у добросовестных организаций. Сложившаяся ситуация привела к необходимости разработки единого подхода к поверке счетчиков воды.

Одним из ключевых документов по трансформации метрологического обеспечения счетчиков воды является распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.12.2021 № 3883-р [1]. Согласно [1] одной из целей трансформации является достижение «цифровой зрелости» строительной отрасли, городского и жилищно-коммунального хозяйства, способствование развитию информационного общества в рамках научно-технологического развития Российской Федерации и создание удобства в эксплуатации счетчиков воды для населения, снабжающих и обслуживающих организаций, на баланс которых необходимо передать данные средства измерений, а также для юридических лиц или индивидуальных предпринимателей, оказывающих услуги по поверке счетчиков воды.

Росстандартом совместно с государственными национальными метрологическими институтами запланировано решение проблем недостоверного проведения поверки счетчиков воды посредством:

- введения заградительных критериев по объему выполняемых работ аккредитованными организациями, создание информационного ресурса, аккумулирующего расширенные данные о поверке счетчиков воды;
- создания региональных операторов (и, предпочтительно, региональных ассоциаций пове-

рителей), которые, в первую очередь, обеспечат регулирование услуг по поверке счетчиков воды в соответствии с возможностями организаций, аккредитованных на право проведения услуг по поверке, и определяют рентабельность оказания достоверных услуг по поверке счетчиков воды.

Для решения вышеизложенных проблем разрабатывались мероприятия, которые были отражены в плане мероприятий («Дорожная карта») Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) по изменению процедуры поверки бытовых счетчиков воды, утвержденного заместителем руководителя Росстандарта Е.Р. Лазаренко, и включали:

- разработку хронометражной карты по расчету норм времени поверки;
- утверждение норм времени поверки и реализация процедур их соблюдения;
- создание информационного ресурса, содержащего расширенные сведения о поверке счетчиков воды, включающих фотографии с данными о геолокации и времени.

По итогу выполнения мероприятий ВНИИР – филиалом ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» разработана Программа оценки продолжительности поверочных работ счетчиков воды, утвержденная 17.03.2023, произведен расчет норм времени поверки совместно с региональными центрами метрологии и утверждены приказом Росстандарта от 06.07.2023 № 1414 (далее – Приказ) предельные минимальные значения норм времени поверки счетчиков воды [2]:

- на месте эксплуатации с применением одного рабочего эталона при осуществлении одного измерения на каждом значении расхода при съеме показаний со счетчика с использованием оптоэлектронного узла съема сигналов или частотных (импульсных) выходов счетчиков, или при помощи видеокамеры (фотокамеры), формирующих в автоматическом режиме протоколы поверки и передающих результаты в Федеральный инфор-

мационный фонд по обеспечению единства измерений, равное 34 минутам;

- на месте эксплуатации с применением одного рабочего эталона единиц объемного расхода объема жидкости в потоке при осуществлении трех измерений на каждом значении расхода при съеме показаний со счетчика по индикаторному устройству счетчика визуально, равное 74 минутам.

В ходе работы учитывались рекомендации научно-технической комиссии по метрологии и измерительной технике Росстандарта, а также практика применения различного эталонного оборудования в соответствии с методиками поверки, установленными для подавляющего большинства применяемых в быту счетчиков воды. Полученные значения норм времени рассчитаны и установлены на основе опыта специалистов системы Росстандарта с учетом минимального времени, затрачиваемого на выполнение операций, предусмотренных методиками поверки счетчиков воды.

Утвержденные Приказом предельные минимальные значения норм времени поверки счетчиков воды обеспечат правовые основы для применения критериев максимально допустимого объема оказываемых услуг при поверке счетчиков воды. Введение данных ограничительных критериев будет направлено на уменьшение возможностей проведения недостоверных услуг при поверке счетчиков воды, которое обеспечит регулирование услуг по поверке счетчиков воды в соответствии с возможностями организаций.

При этом процесс передачи в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений сформированного пакета со сведениями о результатах поверки может осуществляться напрямую программным обеспечением поверочной установки, либо через автоматизированный сервер, применяемый аккредитованным лицом или в ручном режиме посредством электронно-вычислительных машин через личный кабинет

подсистемы фонда. В свою очередь, данные процедуры не относятся к операциям поверки и не влияют на время ее проведения.

Для реализации мероприятия, связанного с созданием информационного ресурса, а также для улучшения качества жизни, защиты населения и предупреждения действий, вводящих в заблуждение [3], решена задача по внесению изменений в национальный стандарт, регламентирующий методику поверки счетчиков воды.

Метод поверки счетчиков воды приведен в национальном стандарте ГОСТ Р 8.1012–2022 [4] «Государственная система обеспечения единства измерений. Счетчики воды. Методика поверки» [4], который введен в действие с 1 ноября 2022 г. Настоящий стандарт распространяется на счетчики воды с номинальными диаметрами от DN 10 до DN 250, эксплуатация и поверка которых осуществляются на воде, и устанавливает методику и последовательность их первичной и периодической поверок. Метод поверки счетчиков воды во многом идентичен методу поверки счетчиков воды, изложенному в МИ 1592–2015 «Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Счетчики воды. Методика поверки».

В ГОСТ Р 8.1012–2022 [4] приказом Росстандарта от 23 августа 2024 г. № 1112-ст внесено изменение № 1 с датой введения в действие с 1 января 2025 г. На основании приказа от 29 ноября 2024 г. № 1820-ст дата введения перенесена на 1 января 2026 г. Ниже рассмотрены основные положения изменения № 1, а именно проведение цифровой фиксации поверки счетчиков воды, проведение выборочной первичной поверки счетчиков воды и корректировка метода поверки счетчиков воды.

Цифровая фиксация поверки счетчиков воды.

Для снижения случаев оказания недостоверных услуг при периодической поверке проводится цифровая фиксация поверки – фиксация факта поверки счетчика воды с применением цифровых устройств. В рамках реализации данной процедуры фиксирует-

ся общий вид счетчика с отображением заводского номера и накопленного объема, общий вид эталона с идентификацией и его подключения к гидравлической линии, общие виды поверяемого счетчика в начале и в конце каждого измерения, а также кассовый чек. При реализации данных требований не требуется специальное дополнительное оборудование, достаточно любого технического средства с возможностью создания фотографий и сохранения exif файла с метаданными. Данные цифровой фиксации поверки необходимо хранить на внутренних или облачных сервисах организации, проводившей поверку, не менее 6 лет. Такой срок хранения обусловлен необходимостью предоставления данных по запросам представителей Росстандарта или Росаккредитации в течение интервала между поверками счетчика, а также предоставлением возможности проверки результатов поверок техническими экспертами при проведении процедуры подтверждения компетентности. Изменение № 1 также предусматривает передачу данных о поверке (протокол в электронном текстовом формате XML и в электронном формате pdf и данные цифровой фиксации поверки) в архивированном файле формата ZIP вместе со сведениями о поверке. Это позволяет в любой момент времени отследить последовательность выполнения поверки, что повышает достоверность результатов и снижает вероятность проведения поверки без выезда или применения эталонного оборудования. Фотофиксация кассового чека также позволит снизить случаи неуплаты налогов.

В случае отказа владельца помещения, в котором осуществляется поверка счетчика воды, проводить периодическую поверку счетчика воды с цифровой фиксацией поверки, предусмотрена возможность провести поверку счетчиков воды с демонтажем по ГОСТ Р 8.1012–2022 [4] или осуществить замену счетчика воды.

Стоит отметить, что для упрощения процедуры поверки и цифровой фиксации поверки разрабатывается специализированное программное

обеспечение для смартфонов, которое будет распространяться бесплатно. Применение данного программного обеспечения уменьшит временные затраты на некоторые процедуры поверки, в частности, на идентификацию счетчика воды, определение данных, указанных в Фонде, осуществление расчетов и оформление результатов поверки. Программное обеспечение упростит процесс фотофиксации, автоматизирует процесс систематизации и выгрузки информации в фонд и в облачные сервисы [5]. Поддержку и обеспечение работоспособности данного программного обеспечения будет осуществлять ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева». При этом допускается разрабатывать и использовать иные пользовательские программные продукты, которые нацелены на уменьшение временных затрат при поверке.

Выборочная первичная поверка. В целях стандартизации методики проведения выборочной первичной поверки счетчиков воды в ГОСТ Р 8.1012–2022 [4] добавлены процедуры и критерии выборочной первичной поверки, включающие условия ее проведения, методы отбора, данные для составления плана непрерывного статистического приемочного контроля, критерии приемки и оформлению результатов. Методика разработана на основе положений ГОСТ Р 50779.51 [6], ГОСТ Р 50779.12 [7] и практики проведения выборочной поверки для аналогичных типов счетчиков воды. В методике применяются нормативное значение риска потребителя $\beta_0 = 0,25$ при степени доверия ТЗ и нормативный уровень несоответствий $NQL = 1,0 \%$, значение которого было выбрано для защиты населения от приобретения счетчиков воды с низким качеством. Использование стандартизированной методики выборочной первичной поверки позволит снизить риски, связанные с установлением условий и критериев проведения, не обеспечивающих достоверную поверку партии счетчиков, например, без учета риска потребителя или необоснованной частотой контроля.

Использование оптоэлектронных узлов съема сигналов. При периодической поверке исключена возможность использования оптоэлектронных узлов съема показаний (оптосчитыватели), так как они не являются средствами измерений утвержденного типа, не имеют официально подтвержденных метрологических характеристик и не подвергаются первичным и периодическим проверкам, официально подтверждающим их соответствие выполняемым задачам. При этом оптоэлектронные узлы съема сигналов, как правило, накладываются на лицевую панель счетчика воды, тем самым не позволяют снять показания со счетчика воды визуально и сопоставить их с результатами измерений узлами съема сигналов. Соответственно оценить корректность работы оптоэлектронных узлов съема сигналов возможно лишь косвенно, что не дает возможности подтвердить отсутствие дополнительных погрешностей при измерениях объема воды, вносимых данными устройствами.

Сложившаяся ситуация в сфере подтверждения соответствия метрологическим требованиям счетчиков воды требует проработки вопросов защиты населения от получения недостоверных результатов измерения количества воды. Применение цифровой фиксации поверки и передача протокола поверки в Фонд позволит отслеживать выполнение процедур поверки и использования средств поверки, а также оформления соответствующих документов, в том числе предоставит Федеральной налоговой службе дополнительный инструмент для оценки исполнения налоговых обязательств. Положения изменения № 1 ГОСТ Р 8.1012–2022 содержат методику проведения выборочной первичной поверки, что позволяет стандартизировать подход к проведению выборочной первичной поверки счетчиков воды. Изменение № 1 ГОСТ Р 8.1012–2022 вносит изменения в процедуру проведения поверки, в частности исключает использование оптоэлектронных узлов съема сигналов при периодической поверке. Применение ГОСТ Р

8.1012–2022 [4] с изменением №1 позволит уменьшить возможности по проведению недостоверных услуг при поверке счетчиков воды, значительно снизит объем недостоверно проводимых услуг при поверке счетчиков воды и повысит рентабельность организаций, осуществляющих услуги по поверке счетчиков воды добросовестно. При этом только практика применения данного национального стандарта позволит выявить новые способы, позволяющие недобросовестным организациям не выполнять все установленные процедуры при поверке счетчиков воды.

Литература:

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.12.2021 № 3883-р «О стратегическом направлении в области цифровой трансформации строительной отрасли, городского и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 г.» [Электронный ресурс] / Официальный интернет-портал правовой информации URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202112290003?index=5> (Дата обращения 18.10.2024).
2. Об утверждении предельных минимальных значений норм времени поверки счетчиков воды [Электронный ресурс] / Официальный сайт ВНИИР – филиала ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева» URL: <https://vniir.org/articles/293/> (Дата обращения 18.10.2024).
3. Федеральный закон от 29.06.2015 № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации» [Электронный ресурс] / Официальный интернет-портал правовой информации URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102374687> (Дата обращения 18.10.2024).
4. ГОСТ Р 8.1012–2022 «Государственная система обеспечения единства измерений. Счетчики воды. Методика поверки». – Введ. 2022. – 11. – 01. – М.: Стандартинформ, 2022. – 12 с.
5. Цифровая Фиксация Поверки (ЦФП) [Электронный ресурс]/ Внешний портал «Новая метрология» URL: <https://nm.su/> (Дата обращения 21.10.2024).
6. ГОСТ Р 50779.51–95 «Статистические методы. Непрерывный приемочный контроль качества по альтернативному признаку». – Введ. 1996. – 07. – 01. – М.: Стандартинформ, 2005. – 12 с.
7. ГОСТ Р 50779.12–2021 «Статистические методы. Статистический контроль качества. Методы случайного отбора выборок штучной продукции». – Введ. 2022. – 01. – 01. – М.: Стандартинформ, 2021. – 15 с.

ПРОБЛЕМЫ ЧАСТОТНОЙ И ВРЕМЕННОЙ синхронизации в современных цифровых сетях связи поколения 4G и выше

PROBLEMS OF FREQUENCY AND TIME SYNCHRONIZATION IN MODERN DIGITAL COMMUNICATION NETWORKS OF THE 4G GENERATION AND ABOVE

Фокин А.П., к.т.н., ВУНЦ ВВС «ВВА им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
Fokin A.P., Military and Air academy of Zhukovsky and Gagarin (VUNTs Air Force «VVA»)
fox_314@mail.ru, tel. 8(905)569-54-17

Аннотация: Рассмотрены причины ухудшения качества связи в беспроводных цифровых сетях связи поколения 4G и выше из-за нарушения частотно-временной синхронизации при применении средств радиоэлектронной борьбы, а также предложены альтернативные варианты синхронизации базовых станций связи.

Annotation: The reasons for the deterioration of communication quality in wireless digital communication networks of the 4G generation and higher due to a violation of time-frequency synchronization when using electronic warfare equipment are considered, and alternative synchronization options for communication base stations are proposed.

Ключевые слова: волоконно-оптические линии связи, тактовая сетевая синхронизация, 4G, 5G, LTE.

Keywords: fiber-optic communication lines, clock network synchronization, 4G, 5G, LTE.

В существующих и перспективных цифровых сетях связи (4G, LTE, 5G) для частотной и временной синхронизации все чаще стали применяться технологии, основанные на использовании сигналов, передаваемых спутниковыми радионавигационными системами. В частности они применяются на стыках синхронных и асинхронных участков цифровой сети или при переходе информации от одного оператора сети к другому.

В рекомендациях МСЭ-Т приведены требования по частотной ($\pm 1 \times 10^{-12}$) и временной (± 30 нс) синхронизации для улучшенных устройств первичных эталонных генераторов, что приводит к требованию по синхронизации для абонентских станций по частоте $\pm 5 \times 10^{-8}$ и времени ± 150 нс [1]. Существующие частотно-временные приемники сигналов, передаваемых спутниковыми радионавигационными системами, полностью удовлетворяют указанным требованиям.

Массовое применение частотно-временной навигационной аппаратуры для частотной и временной синхронизации цифровых сетей связи обусловлено большими финансовыми затратами на переоборудование цифровых сетей связи при переходе от одного стандарта к другому. Гораздо дешевле и проще установить на промежуточных станциях аппаратуру синхронизации, работающую по сигналам передаваемыми спутниковыми радионавигационными системами, чем перестраивать всю архитектуру сети.

При построении сетей поколения 4G и LTE операторы связи внедряли в существующие сети

связи аппаратуру синхронизации западного производства, основанную на приеме сигналов глобальной навигационной системы GPS.

При этом многие системы, зависящие от спутниковых радионавигационных систем, являются критическими. К таким системам можно отнести платежные и банковские системы, системы управления транспортом и т.д. [2].

В настоящее время промышленность, транспорт, оборона, наука телекоммуникации, наземная и космическая навигация ориентированы преимущественно на использование сигналов единого точного времени, передаваемых спутниковыми радионавигационными системами.

Но спутниковые радионавигационные системы имеют уязвимые места такие, как низкий, на уровне шумов, уровень сигнала и невозможность оперативно изменить кодовую последовательность сигнала космического аппарата. Следовательно, их сигналы можно заглушить или подделывать. Данное явление получило широкое распространение в последнее время и называется GPS спуфинг (GPS Spoofing) [3].

GPS спуфинг может применяться преднамеренно с целью атаки на ту или иную инфраструктуру, например, банковскую сферу или логистику, или может иметь место непреднамеренная спуфинговая атака, например работа служб безопасности или противодействие различным каршеринговым системам.

Самая простая и наиболее распространенная – это асинхронная атака – постановка мощной по-

мехи на частотах работы ГНСС. Устройства (помеховые излучатели), позволяющие совершить данную атаку, популярны, имеются в свободном доступе и очень широко представлены на рынке.

Причины возрастания случаев GPS спуфинга:

- обман систем взимания платы (ПЛАТОН, каршеринговые системы);
- противодействие дронам, защита VIP персон, важных объектов;
- совершение противоправных, в том числе международных, сделок.

Подавление помеховыми излучателями сигналов ГНСС оказывает воздействие на все навигационные приемники, находящиеся в радиусе действия.

GPS спуфинг становится серьезной проблемой в различных сферах народного хозяйства.

Вторым слабым местом аппаратуры частотно-временной синхронизации, основанной на приеме сигналов глобальной навигационной системы GPS, является возможность включения селективного доступа к системе. То есть, в сигнал, передаваемый с радионавигационного спутника, могут быть преднамеренно внесены искажения, которые приводят к значительному ухудшению выходных сигналов аппаратуры.

Таким образом, дальнейшее развитие телекоммуникационных сетей связи требует решения задачи по частотно-временной синхронизации, основанной не только на использовании сигналов, передаваемых спутниковыми радионавигационными системами, но и на альтернативных источниках частотно-временной информации.

Альтернативным источником для частотно-временной синхронизации может стать синхронизация пунктов цифровой сети связи по волоконно-оптическим линиям связи. [4, 5] Проводимые в мире исследования по передаче эталонных сигналов времени и частоты по волоконно-оптическим линиям связи можно разделить на два направления:

1. Передача аналоговых эталонных сигналов времени и частоты по «теневым» (не задействованным) каналам – волокнам.
2. Передача эталонных сигналов времени и частоты в рабочих каналах связи в служебной части передаваемых пакетов с использованием протоколов NTP и PTP.

Использование двунаправленного метода передачи информации о времени в сетях связи позволяет синхронизировать объекты цифровой сети с заданной точностью [4, 5].

Каждое из указанных направлений имеет свои достоинства и недостатки. Так, например, при использовании «теневых» волокон требуется выделение отдельного канала и прямое соединение между объектами (допускается соединение через промежуточные пункты, трансляция сигналов в обоих направлениях должна идти по одним и тем же линиям), разнесенные объекты синхронизируются с высокой точностью на уровне единиц наносекунд. При передаче эталонных сигналов времени и частоты в служебной части пакета не требуется отдельных каналов, информация передается в общем потоке, но требуется учет асинхронности распространения сигналов в прямом и обратном направлениях, так как информация может передаваться по разным маршрутам.

Предложения по реализации систем передачи по волоконно-оптическим линиям связи эталонных сигналов, обладающих высокими метрологическими характеристиками, были выдвинуты в 90-х годах прошлого века. Важным моментом в обращении последовательного внимания к этой проблеме можно считать 1995 год, когда М. Кихара на Европейской конференции EFTF изложил свой метод передачи сигналов точного времени в телекоммуникационных волоконно-оптических сетях связи [6, 7]. Он предложил передавать сигналы эталонного времени в составе телекоммуникационного информационного потока в существующих телекоммуникационных сетях. Его метод реализовывал способ передачи сигналов точного времени и синхронизации удаленных часов на основе обмена информацией о моментах отправки и поступления меток времени на вход и выход линии.

Особенность реализации его дуплексного метода в том, что он предложил вводить информацию о времени в незаполненные ячейки заголовка кадров (фреймов) в одном из каналов телекоммуникационного потока. Он оценил перспективы предлагаемого им метода – возможно достижение погрешности передачи сигнала времени в существующих волоконно-оптических телекоммуникационных сетях на уровне ~10 нс на расстояниях до 1000 км [6]. Следует отметить, что используемые методы тактовой сетевой синхронизации в телекоммуникационных волоконно-оптических сетях обеспечивают точность синхронизации узлов связи на уровне ~1 мкс. Таким образом, передача сигналов времени в телекоммуникационных сетях по методу

Кихары открывала реальную возможность достижения в 100 раз более высокой точности передачи времени, чем та, которую обеспечивали методы и применяемая стандартная аппаратура сетей связи. Это было одним из стимулов начала исследований по широкому фронту научных задач, связанных с передачей эталонных сигналов времени и частоты по волоконно-оптическим линиям связи.

Многолетний опыт эксплуатации системы синхронизации магистральной цифровой сети связи ОАО «РЖД», основанный на методе Кихары, с применением аппаратуры APCB продемонстрировал принципиальную возможность синхронизации удаленных абонентских терминалов с погрешностью на уровне ± 15 нс.

При этом абонентские терминалы могут находиться в разных зонах одной сети или принадлежать разным операторам. Но также выявлены и слабые места в системе синхронизации. Сбой может быть обусловлен отказом аппаратуры на конечном или промежуточном пункте или человеческим фактором.

В то же время был дан дополнительный импульс теоретическим и практическим исследованиям по вопросу передачи по оптоволоконным линиям аналоговых радиочастотных сигналов, обладающих большим динамическим диапазоном и широким спектром, на относительно короткие расстояния в несколько километров. Эти исследования породили новое направление, получившее название аналоговая или линейная фотоника (linear photonics), которое исследует передачу аналоговых сигналов по ВОЛС с минимальными искажениями без ухудшения их спектральных, фазовых и шумовых характеристик [8]. Следует отметить, что сигнал эталонной частоты 5 МГц лучших современных стандартов частоты обладает большим динамическим диапазоном – относительный уровень спектральной плотности мощности его фазовых шумов -170 дБ/Гц лежит при отстройках от несущей больших 1 кГц вблизи уровня тепловых шумов -173 дБ/Гц. Поэтому для передачи эталонного сигнала по ВОЛС с сохранением его высоких метрологических характеристик необходимо минимально «компрессировать» сигнал, то есть, не повышать относительный уровень его фазовых шумов, как в процессе переноса эталонного радиочастотного сигнала на уровень оптической несущей и обратно, так и при его распространении на оптической не-

сущей в волоконной линии. Поэтому исследование проблемы передачи сигналов эталонной частоты с точки зрения аналоговой фотоники – это первое необходимое звено в цепи научных задач по проблеме передачи эталонных радиочастот по волоконно-оптическим линиям связи.

Последовательные экспериментальные работы по передаче эталонных сигналов частоты по волоконно-оптическим линиям связи на расстояние от нескольких километров до нескольких десятков километров как без компенсации, так и с компенсацией вносимых линией возмущений фазы передаваемого сигнала начались после 2000 года. Первые же эксперименты по передаче эталонных сигналов по волоконно-оптическим линиям связи показали, что, не принимая специальных мер, нельзя передать эталонный сигнал без потери высокого уровня его метрологических характеристик даже на расстояние в несколько километров. Исследователями JPL (NASA) в США в рамках проекта «Кассини» [9,10], а затем и в работах сотрудников LPL+SYRTE во Франции [11–13] были реализованы программы исследований, завершившиеся экспериментами на волоконно-оптических линиях связи длиной в 16 и 80 километров, по которым передавались сигналы эталонных радиочастот с компенсацией вносимых волоконной линией фазовых шумов. Достигнутая погрешность передачи эталонных частот 100 МГц и 1 ГГц в этих экспериментах была ниже уровня 10^{-17} на суточном интервале усреднения. Французская группа из LPL+SYRTE продолжила исследования по проблеме, она последовательно на протяжении десяти лет вела исследования и провела эксперименты по передаче эталонных частот радио, СВЧ и оптического диапазона [12–15].

Отметим, что исследователи из JPL проводили свои эксперименты на специально созданной 16-ти километровой волоконно-оптической линии на территории комплекса дальней космической связи NASA в Голдстоуне, а группа из LPL+SYRTE передавала сигналы на расстояние около 80 километров по незадействованной, так называемой «темной», жиле телекоммуникационного кабеля в районе Парижа. Обе эти группы использовали метод активной оптоэлектронной компенсации возмущений, вносимых волоконной линией.

В Российской Федерации исследования по передаче аналоговых сигналов частоты и времени проводились во втором десятилетии текущего века.

Достигнутая погрешность передачи эталонных частот на расстояние 100 км в этих экспериментах была на уровне $1 \div 5 \cdot 10^{-16}$ на суточном интервале наблюдения, а предел погрешности синхронизации по времени не более 2 нс. [16].

Однако при построении сотовых сетей применяются спутниковые приемники, встроенные в узлы базовых станций NodeB и eNodeB (BBU). Контроллеры этих узлов принимают сообщения о времени

суток ToD (метки времени Time of Day), то есть, получают каждую секунду импульс синхронизации (1 PPS) и используют его для синхронизации частот всех базовых станций сотовой связи. Затем контроллеры передают их далее по радиоканалу на оборудование пользователя UE (User Equipment, например, мобильные телефоны).

Основные требования к синхронизации сетей LTE и 5G NR приведены в таблице 1. [17]

Таблица 1

Основные требования к синхронизации сетей LTE и 5G NR

Радиотехнология	Требования к радиointерфейсу			Требования к сетевому интерфейсу		
	Частота	Фаза	Документ 3GPP	Частота	Фаза	Документ МСЭ-Т
LTE (FDD)	+/- 50 ppb (wide area); +/- 50 ppb (local area); +/- 50 ppb (home BS).		Частота: 36.104, sect. 6.5.1	+/- 16 ppb		G.8261.1
LTE (TDD)	+/- 50 ppb	10 мкс (>3 км сота) 3 мкс (≤ 3 км сота)	Фаза: 36.133, sect. 7.4.2	+/- 16 ppb	+/- 1.1 мкс	G.8271.1
LTE-A MBSFN	+/- 50 ppb	5 мкс	Фаза: 36.133, sect. 7.25.2	+/- 16 ppb	+/- 1.1 мкс	G.8271.1
LTE-A CA	+/- 50 ppb	260 нс	Фаза: 36.104, sect. 6.5.3.1	Несущие всегда передаются с одного и того же сайта; отдельная сетевая синхронизация не требуется		
5G NR (FDD)	+/- 50 ppb		Частота: 38.104, sect. 6.5.1	+/- 16 ppb		G.8261.1
5G NR (TDD)	+/- 50 ppb	3 мкс	Фаза: 38.133, sect. 7.4.2	+/- 16 ppb	+/- 1.1 мкс	G.8271.1
Synchronous EN-DC (LTE-5G DC)	+/- 50 ppb	3 мкс (бюджет радиointерфейса)	Фаза: 38.133, sect. 7.6.2	+/- 16 ppb	+/- 1.1 мкс	G.8271.1
5G NR inter-band CA	+/- 50 ppb	3 мкс	Фаза: 38.104, sect. 9.6.3.2	+/- 16 ppb	+/- 1.1 мкс	G.8271.1
5G NR intra-band CA	+/- 50 ppb	260 нс	Фаза: 38.104, sect. 9.6.3.2	+/- 16 ppb	+/- 100 нс (в стадии изучения)	G.8271.1 (в стадии изучения)
5G NR MIMO	+/- 50 ppb	65 нс	Фаза: 38.104, sect. 9.6.3.2	Предполагается совместное расположение антенн; отдельная сетевая синхронизация не требуется		

Применение навигационных приемников, в качестве источников синхросигналов для базовых станций, совместно с кварцевыми генераторами сильно упростило развитие сотовой связи, но стало причиной низкой надежности. Участвовавшие в последнее время спуфинговые атаки и работа систем противодействия беспилотным летательным аппаратам (средства радиоэлектронной борьбы) мешают работе базовых станций, ухудшая качество связи, так как

нарушается частотно-временная синхронизация между станциями. Именно из-за нарушения синхронизации между базовыми станциями сотовой связи, сотовый телефон (смартфон) при отличном приеме сигнала (полная шкала антенны), не может принять или передать информацию, будь то звонок или пользования мобильным интернетом. Но при принудительном переключении телефона (смартфона) на прием сигналов предыдущего поколения

(3G), с меньшими требованиями к частотно-временной сигнализации, появляется связь и возможность пользования мобильным интернетом.

Но при более длительных воздействиях (помехах) на навигационные приемники базовых станций, при отсутствии альтернативных каналов поступления синхросигналов, станции сетей поколения 3G и более ранние также выйдут за установленные пределы синхронизации и не смогут обеспечить связь абонентов.

Из таблицы 1 видно, что существующие методы тактовой сетевой синхронизации в волоконно-оптических линиях связи [9–16] полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым современными и перспективными цифровыми сетями связи. Применение методов тактовой сетевой синхронизации по волоконно-оптическим линиям связи могут стать альтернативными источниками синхросигналов для базовых станций сотовой связи.

В крупных городах в настоящее время уже имеются развитые волоконно-оптические линии связи, по которым можно доставлять синхросигналы до базовых станций с минимальными финансовыми затратами. Необходимо только установить приемное оборудование и проложить небольшой отрезок волоконно-оптической линии.

Применение методов частотно-временной синхронизации по волоконно-оптическим линиям связи для сетей сотовой связи, в условиях присутствия постоянных радиопомех навигационным сигналам, позволит улучшить качество сотовой связи.

Литература:

1. Рыжков А.В., Шварц М.Л. Современные тенденции развития систем сетевой синхронизации в сетях электросвязи. От плезиосинхронных до когерентных сетей. / Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов №4–2021 г.
2. Рыжков А.В., Шварц М.Л. Предпосылки создания когерентной сети связи общего пользования – основы сквозных цифровых технологий. / Связь 2021 / DOI: 10.36724/2072–8735–2021–15–7–14–22
3. Электронный ресурс: <https://www.kaspersky.ru/blog/gps-spoofing-protection/22674/> (дата обращения 20.01.2022).
4. Власов И.И., Птичников М.М. Измерения в цифровых сетях связи. / М.: Постмаркет, 2005. – 432 с.
5. Фокин А.П. Метод передачи эталонных сигналов времени по волоконно-оптическим линиям связи. / Тезисы докладов VI Всероссийской конференции «Фундаментальное и прикладное координатно-временное

и навигационное обеспечение» (КВНО-2015) / С-Пб, 2015. – С. 103–104.

6. M. Kihara and A. Imaoka, “SDH-based time and frequency transfer system”, in Proc. 9th EFTF, Besancon, France, 1995. pp.317–322.

7. K. Hisadome, M. Kihara, “Gigabit Ethernet-Based Time Transfer System”, Electrical Engineering in Japan, Vol. 160, No. 3, 2007.

8. Charles H. Cox, III. Analog optical links. Theory and Practice. Cambridge University Press 2004. isbn-13 978–0–511–19562–4.

9. M.Calhoun, R.Wang, A.Kirk, W.Diener, J.Dick, and R.L.Tjoelker. Stabilized reference frequency distribution for radio science with the cassini spacecraft and the deep space network. 32 nd Annual PTTI Meeting 2000. <http://tycho.usno.navy.mil/ptti/ptti2000/paper25.pdf>.

10. S.Huang, M.Calhoun, R.Tjoelker. Optical Links and RF Distribution for Antenna Arrays. Proceedings of the 2006 IEEE International Frequency Control Symposium and Exposition.

11. O.Lopez, A.Amy-Klein, C.Daussy, C.Chardonnet, F.Narbonneau, M.Lours, and G.Santarelli, in The European Physical Journal D. vol.48, pp.35–41, 2008. <http://trs-new.jpl.nasa.gov/dspace/bitstream/2014/40275/1/06–2522.pdf>.

12. O.Lopez, A.Amy-Klein, M.Lours, C.Chardonnet, and G.Santarelli, High-resolution microwave frequency dissemination on an 86-km urban optical link. arXiv.org.

13. C.Daussy, O.Lopez, A.Amy-Klein, A.Goncharov, M.Guinet, C.Chardonnet, F. Narbonneau, M.Lours, D.Chamon, S.Bize, A.Clairon, G.Santarelli. M.E. Tobar, and A.N. Luiten. Long-distance frequency dissemination with a resolution of 10–17. Phys. Rev. Lett. 94, 203904. 2005.

14. Olivier Lopez, Adil Haboucha, Fabien Kéfélian, Haifeng Jiang, Bruno Chanteau, Vincent Roncin, Christian Chardonnet, Anne Amy-Klein and Giorgio Santarelli. Cascaded multiplexed optical link on a telecommunication network for frequency dissemination. OPTICS EXPRESS Vol. 18, No. 16 . August 2010.

15. Olivier Lopez, Amale Kanj, Paul-Eric Pottie, Daniele Rovera, Joseph Achkar, Christian Chardonnet, Anne Amy-Klein and Giorgio Santarelli. Simultaneous remote transfer of accurate timing and optical frequency over a public fiber network. arXiv.org. 2012.

16. Отчет по НИР «Исследование возможности создания высокоточного канала передачи эталонных сигналов частоты по волоконно-оптической линии связи в интересах повышения стабильности и надёжности формирования шкалы времени системы ГЛОНАСС» / ФГУП «ВНИИ-ОФИ» – 2017 г.

17. С.Коган СЕТИ 5G: распределение сигналов синхронизации на оптическом транспортном уровне / Измерения и синхронизация – 4/2022. DOI: 10.22184/2070–8963.2022.104.4.50.59

АЛГОРИТМ РАСЧЁТА РЕЗУЛЬТАТОВ СОВОКУПНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИИ И ПЕРЕДАЧЕ ЕДИНИЦЫ ИЗБЫТОЧНОГО СТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ИСХОДНЫМ ЭТАЛОНОМ В УСЛОВИЯХ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АВТОНОМНОСТИ

Талалай А.В., Научно-технический комитет (Метрологической службы Вооруженных Сил российской Федерации),
 Кравцов А.Н., к.т.н., доцент, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
 Талалай И.А., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России
 Talalay A.V., Scientific and Technical Committee (Metrological service of the Armed Forces of the Russia),
 Kravtsov A.N., Militari Space Academy named after A.F. Mozhaysky
 Talalay I.A., FSBI «MSMC» of Russia Ministry of Defense (Mytishchi, Moscow Region)
 E-mail: antontalalay82@mail.ru; kan1970@bk.ru; irina.talalai@yandex.ru
 Тел. +7(926)365-15-28; +7(981)166-50-25; +7(926)142-59-96

Аннотация: Предложен подход к метрологическому обеспечению исходного (рабочего) эталона единицы избыточного статического давления в условии метрологической автономности. Разработан новый алгоритм расчета результатов совокупных измерений при выполнении сличений измерительных поршневых систем грузопоршневых манометров из состава исходного (рабочего) эталона.

Annotation: An approach to the metrological provision of the initial (working) standard of the unit of excessive static pressure in the condition of metrological autonomy is proposed. A new algorithm has been developed for calculating the results of cumulative measurements when performing comparisons of measuring piston systems of piston pressure gauges from the composition of the initial (working) standard.

Ключевые слова: избыточное статическое давление, грузопоршневые манометры, мера эффективной площади.

Key words: excessive static pressure, cargo piston pressure gauges, measure of effective area.

Выполнение исходным (рабочим) эталоном единицы избыточного статического давления (ИЭ) установленных функций в условиях метрологической автономности [1], с учетом особенностей обеспечения единства измерений в области обороны и безопасности государства [2], возможно с применением разработанного алгоритма расчета результатов совокупных измерений при определении значений эффективной площади в ходе выполнения групповых сличений измерительных поршневых систем (ИПС) грузопоршневых манометров (ГПМ) из состава ИЭ, с верхними пределами измерений (ВПИ) 0,6; 6 и 60 МПа, одного класса точности (типовой комплект ИЭ).

Процесс воспроизведения и передачи единицы избыточного статического давления ИЭ с применением нового алгоритма основан на использовании свойства меры эффективной площади, заключающегося в стабильности ее геометрических параметров при измерении средних (умеренных) давлений – 6 МПа и ниже.

Выводы о наличии указанного свойства основаны на исследованиях в данной предметной области [3–6] и показывают, что при измерении средних (умеренных) давлений сила жидкостного трения T

пропорциональна действующему давлению P , эффективная площадь не зависит от давления, а измеряемое давление прямо пропорционально уравновешивающей его силе ($m \cdot g$). Деформация ИПС пренебрежимо мала, а нецилиндричность ИПС слабо сказывается на ее эффективной площади [4, 7], в том числе с учетом свойств материала, из которого в основном изготавливаются ИПС ГПМ ИЭ – твердый сплав ВК-6 (карбид вольфрам) [8]. Исходя из вышеизложенного уравнение равновесия имеет вид [3, 4]:

$$D \cdot S = (m \cdot g) - T, \quad (1)$$

где $S = \pi b^2$ – геометрическая площадь поперечного сечения поршня, см^2 , b – радиус поршня, см ; T – сила жидкостного трения на боковую поверхность поршня, Н .

После преобразований, изложенных в [3, 4], уравнение (1) принимает вид:

$$D = \frac{m \cdot g}{S + \frac{T}{P}}, \quad (2)$$

где $S + \frac{T}{P} = A_0$ – эффективная площадь неуплотненного поршня, которая больше площади поперечного сечения поршня, но меньше площади поперечного сечения цилиндра.

Таким образом, эффективная площадь ИПС – это площадь, которая фактически воспринимает нагрузку ($m \cdot g$) с учетом сил жидкостного трения, равная среднему арифметическому из значений площади сечения поршня и цилиндра ИПС [3, 4]:

$$A_0 = \frac{\pi(a^2 + b^2)}{2}, \tag{3}$$

где a – радиус цилиндра (см).

При воспроизведении единицы избыточного статического давления основной составляющей является значение эффективной площади ИПС ГПМ, A_0 . При передаче единицы указанной величины фактически определяется значение соответствующей меры – меры эффективной площади, имеющей номинальное значение [7, 9–11], что является признаком (свойством) стандартизации (достижение упорядоченности множества объектов). Мера эффективной площади – геометрический параметр, который не зависит от места применения ГПМ. Единица давления воспроизводится на месте эксплуатации ГПМ с учетом местного значения ускорения свободного падения [11].

Предложен следующий алгоритм расчета результатов совокупных измерений при определении значений эффективной площади в ходе выполнения групповых сличений ИПС ГПМ из состава ИЭ. Групповые сличения выполняют в соответствии со схемой (рисунок 1) методом гидростатического уравнивания поршней, сличаемых ИПС, по способу «предварительного уравнивания» в 4 этапа и количеством серий измерений в зависимости от класса точности ГПМ (*количества серий измерений: для ВЭ – 3, для КТ 0,01–2 и для 0,02–1 серия*) при повышении и понижении давления. Количество точек и их распределение по диапазону измерений, с учетом допускаемых изменений в пределах $\pm 10\%$ от номинальных значений, должно соответствовать данным, указанным в таблице 1. При каждом отдельном уравнивании ИПС измеряют их температуру (t_{11}, t_{21}).

Сличения выполняются в следующей последовательности: на I этапе проводят сличения ИПС ВПИ 0,6 (условный эталон) с ИПС ВПИ 6 МПа и ИПС ВПИ 6 МПа (эталон «свидетель») в диапазоне измерений до 0,6 МПа (I, см. таблицу 2), затем проводят сличения ИПС ВПИ 6 (условный эталон) с ИПС ВПИ 0,6 МПа, ИПС ВПИ 6 МПа (эталон «свидетель») и ИПС ВПИ 60 МПа в диапазоне измерений до 6 МПа (II этап). На III этапе проводят сличения ИПС ВПИ 60

(условный эталон) с ИПС ВПИ 6 МПа и ИПС ВПИ 6 МПа (эталон «свидетель») в диапазоне измерений до 6 МПа. Для повышения достоверности определения значения эффективной площади ИПС, на IV этапе выполняют аналогичные сличения ИПС ВПИ 6 МПа из состава рабочего эталона давления (класс точности 0,005) или ГПМ класса точности 0,01 (0,02), значение эффективной площади ИПС, которой, по имеющейся априорной информации, является стабильным – эталон «свидетель» (условный эталон) с ИПС ВПИ 0,6 МПа, ИПС ВПИ 6 МПа и ИПС ВПИ 60 МПа в диапазоне измерений до 6 МПа.

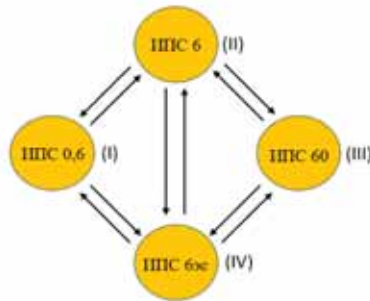


Рисунок 1 – Схема групповых сличений ИПС ГПМ ИЭ

При расчете значений эффективной площади ИПС ГПМ ИЭ используются значения эффективной площади ИПС, условно принятых за эталон, определенные при последней поверке (аттестации) по вышестоящему в поверочной схеме эталону единицы избыточного статического давления. За значение эффективной площади ИПС эталона «свидетеля» принимается среднее значение эффективной площади $A_{\text{эс}}$, полученное по результатам измерений на предыдущих этапах.

Таблица 1

Количество поверяемых точек и их распределение по диапазону измерений

ВПИ, МПа	Количество точек при повышении и понижении давления	Номинальное значение давления, МПа	
		при предварительном уравнивании	при определении эффективной (приведенной) площади ИПС
0,6	10	0,1	0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6
6	12	0,2	1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0
60	10	1,0	2,0*; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0

*С учетом массы грузов, наложенных на ИПС при предварительном уравнивании.

Таблица 2

Алгоритм расчета результатов совокупных измерений при выполнении групповых сличений ИПС с ВПИ 0,6, 6, 60 МПа и 6эс (эталон свидетель)

№ этапа сличения	Сличаемые ИПС (№ i – й серии и j-го этапа)		Эффективная площадь (среднее из 3-х значений $\bar{A}_j$)	СКО
	эталон	поверяемое СИ		
I (3 серии)	0,6 _{э 11, 21, 31}	6 _{пов 11, 21, 31}	$\bar{A}_{6\ 1}$	$S_{6\ 11, 21, 31}$
	0,6 _{э 11, 21, 31}	6эс _{пов 11, 21, 31}	$\bar{A}_{6эс\ 1}$	$S_{6эс\ 11, 21, 31}$
II (3 серии)	6 _{э 12, 22, 32}	0,6 _{пов 12, 22, 32}	$\bar{A}_{0,6\ 1}$	$S_{0,6\ 12, 22, 32}$
	6 _{э 12, 22, 32}	6эс _{пов 12, 22, 32}	$\bar{A}_{6эс\ 2}$	$S_{6эс\ 12, 22, 32}$
	6 _{э 12, 22, 32}	60 _{пов 12, 22, 32}	$\bar{A}_{60\ 1}$	$S_{60\ 12, 22, 32}$
III (3 серии)	60 _{э 13, 23, 33}	6 _{пов 13, 23, 33}	$\bar{A}_{6\ 2}$	$S_{6\ 13, 23, 33}$
	60 _{э 13, 23, 33}	6эс _{пов 13, 23, 33}	$\bar{A}_{6эс\ 3}$	$S_{6эс\ 13, 23, 33}$
IV (3 серии)	6эс _{э 14, 24, 34}	0,6 _{пов 14, 24, 34}	$\bar{A}_{0,6\ 2}$	$S_{0,6\ 14, 24, 34}$
	6эс _{э 14, 24, 34}	6 _{пов 14, 24, 34}	$\bar{A}_{6\ 3}$	$S_{6\ 14, 24, 34}$
	6эс _{э 14, 24, 34}	60 _{пов 14, 24, 34}	$\bar{A}_{60\ 2}$	$S_{60\ 14, 24, 34}$
Итого:			$A_{0,6} = (\bar{A}_{0,6\ 1} + \bar{A}_{0,6\ 3})/2$	
			$A_6 = (\bar{A}_{6\ 1} + \bar{A}_{6\ 2} + \bar{A}_{6\ 3})/3$	
			$A_{60} = (\bar{A}_{60\ 1} + \bar{A}_{60\ 2})/2$	
			$A_{6эс} = (\bar{A}_{6эс\ 3} + \bar{A}_{6эс\ 4} + \bar{A}_{6эс\ 5})/3$	

Расчет значения меры эффективной площади выполняется по формуле [12]:

$$A_{ij,0} = \frac{m_{\text{пов}ij} \cdot \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_i}\right) \cdot A_{эij} \cdot q_{ij}}{m_{эij} \cdot \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_i}\right)}, \quad (4)$$

где $A_{эij}$ – значение эффективной площади условного эталона см², $m_{эij}$ и $m_{\text{пов}ij}$ – значения массы грузов и гирь, наложенных на грузоприемные устройства – условно эталонной и поверяемой ИПС, соответственно, при i-м уравнивании и j-м сличении после уравнивания ИПС, кг, q_{ij} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние температуры и деформации на показания ИПС, определяемый по формуле:

$$q_{ij} = 1 + (\alpha_{1э} + \beta_{2э})(t_{эij} - 20^\circ\text{C}) - (\alpha_{1\text{пов}} + \beta_{2\text{пов}})(t_{\text{пов}ij} - 20^\circ\text{C}) + \lambda_{ij},$$

где $\alpha_{1э}$; $\beta_{2э}$ и $\alpha_{1\text{пов}}$; $\beta_{2\text{пов}}$ – температурные коэффициенты линейного расширения материалов цилиндра и поршня условно эталонной и поверяемой ИПС соответственно, °C⁻¹, $t_{эij}$ и $t_{\text{пов}ij}$ – температура условно эталонной и поверяемой ИПС соответственно при i-м уравнивании и j-м сличении, °C, ρ_b – плотность окружающего воздуха во время поверки, кг/м³; ρ_i – плотность материала грузов и гирь, кг/м³, λ_{ij} – определяется по формуле:

$$\lambda_{ij} = (\lambda_{э} - \lambda_{\text{пов}})p_{ij},$$

где $\lambda_{э}$ и $\lambda_{\text{пов}}$ – коэффициент деформации материала пар ИПС условно эталонной и поверяемой ИПС соответственно, °Па⁻¹, p_{ij} – величина измеряемого давления при i-м уравнивании и j-м сличении, Па.

Значения эффективной площади ИПС с ВПИ 0,6, 6 и 60 МПа определяют как среднее из полученных по результатам выполненных серий измерений значение $A_{j,0}$ по формуле:

$$\overline{A_{j,0}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_{ij,0}, \quad (5)$$

где n – число измерений ($n = 2, 3$).

Далее выполняется оценивание полученных значений меры эффективной площади ИПС. Качественной оценкой является среднее квадратическое отклонение (СКО) определения значений меры эффективной площади ИПС. СКО наряду со значением скорости опускания поршня являются определяющими индикаторами метрологической исправности ГПМ. [8]. СКО каждого результата сличения ИПС определяют по формуле:

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_{ij,0} - \overline{A_{j,0}})^2}{n-1}}. \quad (6)$$

Результат определения значения эффективной площади ИПС считается удовлетворительным, если СКО каждого результата сличения ИПС для ГПМ КТ 0,005 $S_i \leq 8 \cdot 10^{-6}$; ГПМ КТ 0,01 $S_i \leq 1,7 \cdot 10^{-5}$; ГПМ КТ 0,02 $S_i \leq 3,5 \cdot 10^{-5}$.

За количественную оценку принято значение допускаемых изменений значений меры эффективной площади, исследуемых ИПС. Принято условие, изложенное в международных рекомендациях [12 (п. А.5.5.3.5)] о сравнении полученных при поверке значений эффективной площади ИПС со значениями, определенными при их последней поверке по вышестоящему эталону соответствующей единицы величины. Значение эффективной площади остается неизменной, если полученное значение не отличается от него более чем на 50% от максимальной допустимой погрешности поверяемой ИПС, в противном случае групповые сличения повторяются. При повторном превышении указанного значения соответствующая ИПС подлежит внеочередной поверке по вышестоящему вторичному эталону единицы

избыточного давления, с уточнением значения эффективной площади.

На рисунках 2–4 представлены графики прогноза изменения значений эффективной площади исследуемых ИПС класса точности 0,005 из состава ИЭ, выполненного на основании статистических данных о результатах их поверок по ГЭТ 23–2010 за интервал времени с 2012 по 2023 год. Исходя из представленных данных следует, что указанные значения в целом стабильны, превышение допускаемых значений в долгосрочной перспективе не предполагается, что в целом подтверждает возможность использования предлагаемого подхода для подтверждения метрологической исправности ИЭ в состоянии метрологической автономности.

С учетом вышеизложенного допускаемые значения отклонений от значений эффективных площадей исследуемых ИПС, полученных при проведении первичной аттестации ИЭ, составляют: ИПС с ВПИ 0,6 МПа – $\Delta 0,6 \pm 0,000025 \text{ см}^2$; ИПС с ВПИ 6 МПа – $\Delta 6 \pm 0,000013 \text{ см}^2$ и ИПС с ВПИ 60 МПа – $\Delta 60 \pm 0,000005 \text{ см}^2$.

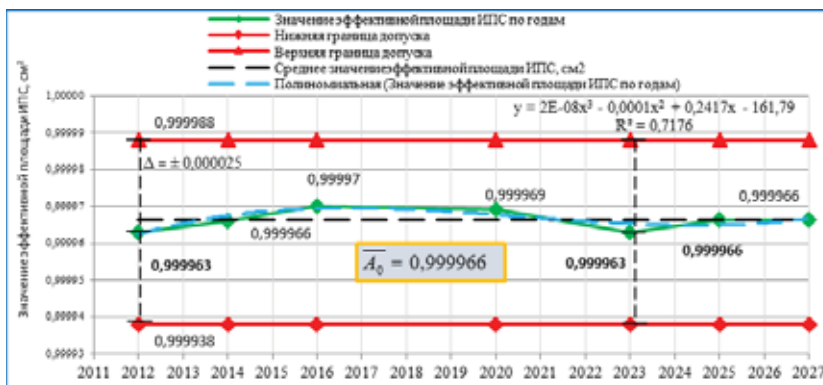


Рисунок 2 – Результат прогнозирования изменений значений меры эффективной площади ИПС с ВПИ $6 \cdot 10^5$ Па (ИПС с ВПИ 0,6 МПа)

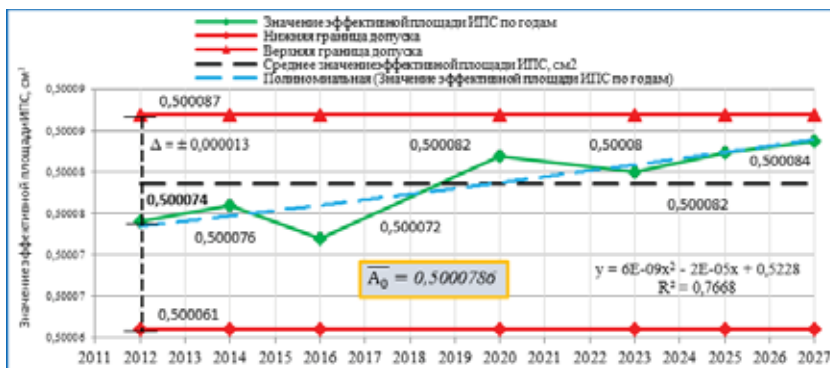


Рисунок 3 – Результат прогнозирования изменений значений меры эффективной площади ИПС с ВПИ $6 \cdot 10^6$ Па (ИПС с ВПИ 6 МПа)

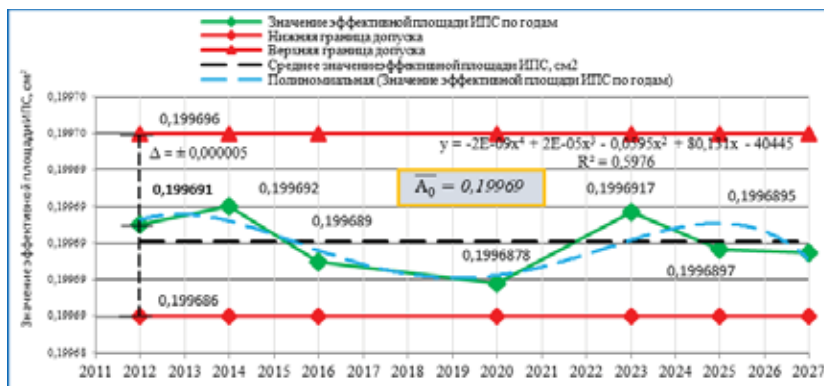


Рисунок 4 – Результат прогнозирования изменений значений меры эффективной площади ИПС с ВПИ $6 \cdot 10^7$ Па (ИПС с ВПИ 60 МПа)

Таким образом, применение нового алгоритма расчета результатов совокупных измерений при выполнении групповых сличений ИПС ГПМ позволит обеспечить выполнение ИЭ установленных функций в условиях метрологической автономности.

Литература

1. Талалай А.В., Талалай И.А. Метрологическая автономность как условие эксплуатации исходных эталонов единиц величин // Актуальные задачи военной метрологии: 49 НТК молодых ученых и специалистов военных метрологов. – МО, ФГАУ «КВЦ «Патриот»: ГНМЦ, 2024. – С. 201–203.
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 02 октября 2009 г. №780 «Об особенностях обеспечения единства измерений при осуществлении деятельности в области обороны и безопасности Российской Федерации». – Система ГАРАНТ (дата обращения: 20.10.2024).
3. Жоховский М. К. Теория и расчет приборов с неуплотненным поршнем [текст] / М. К. Жоховский. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство стандартов, 1980. – 311 с.
4. Хансуваров К.И., Цейтлин В.Г. Техника измерения давления, расхода, количества и уровня жидкости, газа и пара [текст] / Учебное пособие для техникумов. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 287 с.
5. Боровков В. М. Теоретические модели, вопросы проектирования, технологии и рационального применения грузопоршневых манометров избыточного давления [текст] / дис. на соиск. учен. степ. доктора. техн. наук: 05.11.01, 05.11.15. – Москва, 1991. – 75 с.
6. Dadson R.S., Lewis S.L., Peggs G.N., The pressure balance: Theory and Practice, Ed.1., HMSO, London, 1982. – 290 с.
7. Боровков В.М., Секоян С.С., Асланян А.Э., Гаврилкин С.М. Школа грузопоршневой манометрии ВНИИ-ФТРИ и перспективы государственного эталона высокого давления [текст] // Альманах современной метрологии. 2015. № 2. – С. 63–75.
8. Талалай А.В., Григорьев А.С., Талалай И.А. Анализ составляющих погрешности рабочих эталонов единицы избыточного статического давления // «Вестник метролога № 4», 2023. – С. 20–24.
9. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 октября 2022 г. № 2653 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений избыточного давления до 4000 МПа» [текст]. – Москва, 2022. – 14 с.
10. Douglas A. Olson, R. Greg Driver, and Walter J. Bowers, A Gas Pressure Scale Based on Primary Standard Piston Gauges // Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899 (J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol.). 2010. №115–6. – С 393–412.
11. Боровков В.М., Кузнецов Д.И., Секоян С.С., Щипунов А.Н., Асланян А.Э., Гаврилкин С.М. Создание государственного первичного эталона единицы давления в диапазоне 10–1600 МПа [текст] // Измерительная техника. 2014. № 11. – С. 7–10.
12. МИ 2429–97 «ГСИ. Манометры грузопоршневые, метрологические и технические характеристики. Виды метрологического контроля» [текст]. – М.: ВНИИМС, 1997. – 36 с.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ ПРЕДЕЛА РАЗРЕШЕНИЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ THE METHOD OF MEASURING THE RESOLUTION LIMIT OPTOELECTRONIC SYSTEMS

Новиков Е.О., младший научный сотрудник ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России;

Шарганов К.А., к.т.н., начальник отдела ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России

Novikov E.O., junior research assistant of the Federal State Budgetary Institution «GNMC» of the Russian Ministry of Defense

Sharganov K.A., c.t.s., head of the department of the Federal State Budgetary Institution «GNMC» of the Russian Ministry of Defense

E-mail: e.o.novikov@mail.ru, tel. +7 (999) 243-94-72

E-mail: kasharganov@yandex.ru, тел. +7 (964) 501-86-32

Аннотация: Проведен анализ современного состояния подтверждения технических характеристик оптико-электронных систем, предложены методы и средства измерений при проведении натурных испытаний.

Abstract: The analysis of the current state of confirmation of technical characteristics of optoelectronic systems was carried out, methods and means of measurements during field trials were proposed.

Ключевые слова: испытания оптико-электронных систем, тест-объекты, коэффициент передачи контрастности, предел разрешения.

Keywords: testing of optoelectronic systems, test objects, contrast ratio, resolution limit.

Оптико-электронные системы (ОЭС) представляют собой сложные технические устройства, которые объединяют в себе оптические и электронные компоненты для выполнения различных задач. Основными направлениями развития оптико-электронных систем, применяемых в системах разведки и управления, являются:

- разработка многоспектральных систем наблюдения, систем обработки и передачи информации, способных к работе в сложных условиях;
- совершенствование ОЭС с переменным увеличением изображения и перископичностью;
- увеличение размерности фотоприемных устройств и повышение частоты кадров;
- применение телевизионной аппаратуры с большим разрешением и возможностью ее размещения в управляемых боеприпасах;
- создание многоспектральных ОЭС, работающих в видимом, инфракрасных (3–5 мкм, 8–14 мкм) диапазонах и оснащенных лазерным дальномером;
- использование сложных и ресурсоемких алгоритмов цифровой обработки сигналов;
- разработка алгоритмов управления и самонаведения;
- создание «интеллектуальных» систем распознавания изображения;
- реализация вычислений в масштабе реального времени.

В настоящее время ведутся опытно-конструкторские работы по созданию новых ОЭС, но при

проведении государственных испытаний обнаруживается тот факт, что технические возможности разрабатываемых ОЭС не всегда соответствуют стоящим перед ними задачам, при их создании используется устаревшая элементная база, а большие массогабаритные характеристики снижают эффективность целевого применения.

Возможности выполнения ОЭС своих функций определяются рядом технических характеристик в зависимости от принципа работы и спектрального диапазона канала технического зрения.

Основными характеристиками ЭОС для видимого канала являются разрешающая способность, чувствительность, соотношение сигнал/шум. Значения этих характеристик должны быть установлены в нормативной документации на ОЭС конкретных типов и подтверждены испытаниями [1, 2].

Как правило, разработчики ОЭС при их изготовлении проводят испытания по собственным методикам, в которых одна и та же техническая характеристика может трактоваться каждым разработчиком по-разному. В настоящее время, из-за отсутствия единых подходов к определению указанных характеристик, научно-исследовательские организации Заказчика встречают трудности при определении их значений в процессе испытаний, а также при сравнении различных ОЭС, аналогичных по принципу действия и назначению, что

может привести к неоправданным затратам и возможным срывам выполнения Государственного оборонного заказа [2].

Для решения данной проблемы необходимы разработка и внедрение государственных военных стандартов, содержащих однозначное толкование, правила и методы исследований (испытаний) и измерений, как минимум, основных технических характеристик ОЭС, а на период их отсутствия – единых методик (методов) измерений, соответствующих действующему законодательству об обеспечении единства измерений, то есть аттестованных и внесенных в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. Результаты измерений, полученные с помощью данных методик (методов), должны максимально отражать сопутствующие параметры, при которых получена та или иная техническая характеристика ОЭС.

Актуальной проблемой является определение коэффициента передачи контрастности штриховых мир для определения предела разрешения. Единой методики не существует, и, поэтому разработчики ОЭС зачастую трактуют данную характеристику по-разному.

Разрешающая способность – это техническая характеристика, определяемая максимальной пространственной частотой периодической решетки, штрихи которой визуально различимы в фотографическом изображении, образованной данной системой при использовании в качестве объекта стандартной миры заданного контраста [2]. На практике за оценку разрешающей способности принимается максимально пространственная частота, которая соответствует группе штрихов, различимой оператором. При этом штриховую миру размещают на местности, а испытуемая опто-электронная система, работающая в видимом диапазоне, принимает оптическое излучение с получением изображения фона и цели (миры), которое затем анализирует оператор [3]. Для определения разрешающей способности ОЭС обычно используются миры с различной четкостью и контрастностью штрихов. Эти миры позволяют оценить способность системы различать детали и отличать светлые и темные области изображения.

На рисунке 1 изображена самая распространенная – четырехполосная штриховая мира,

представляющая собой пластину с четырьмя прямоугольными отверстиями форматом 1:7. На данном рисунке показана основная геометрическая характеристика миры – период (W) штрихов.

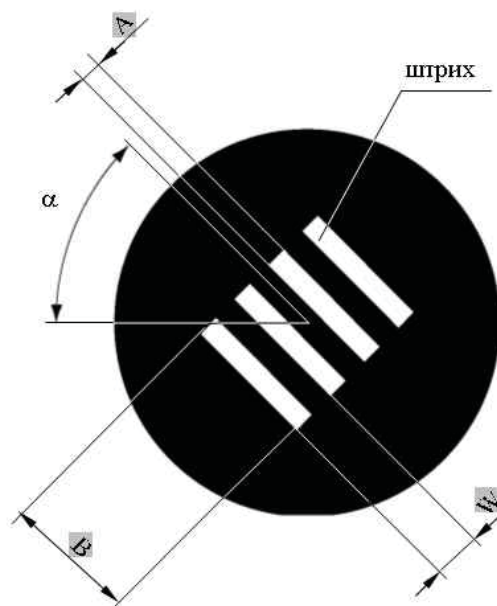


Рисунок 1 – Геометрические характеристики четырехполосной миры, где: A – ширина штрихов, $B = 7 \times A$ – высота штрихов, $W = 2 \times A$ – период штрихов, α – угол ориентации штрихов

Параметры стандартных мир, разработанных для лабораторных испытаний ОЭС, просто копируются и применяются при проведении натурных испытаний, это приводит к тому, что полученные миры имеют слишком большие размеры и сложную конструкцию, что, в свою очередь, делает их непригодными для практического использования. Вследствие этого при создании наземных мир для проведения натурных (полигонных) испытаний ОЭС выбирают путь значительного упрощения конструкции, параметры которых в настоящее время не регламентированы нормативно-технической документацией.

Кроме этого, при проведении натурных испытаний пренебрегают определением уровня освещенности на местности, коэффициентом пропускания атмосферы, яркости и видимого контраста. Данные параметры необходимо контролировать для повышения уровня точности проведения натурных испытаний по определению разрешающей способности ОЭС.

Проведя анализ существующей нормативно-технической документации для проведения натурных испытаний по определению разрешающей способности ОЭС, а также требований к определению предела разрешения электронно-оптических преобразователей, был сформирован ряд необходимых требований к штриховым мирам и испытательной трассе. Кроме этого, был выявлен ряд необходимых сопутствующих контролируемых параметров.

Методика определения уровня освещенности на местности основана на фотоэлектрическом преобразовании потока излучения от естественных и искусственных источников света, падающего на горизонтальную и вертикальную поверхности, в электрический сигнал. Измерения проводят при помощи средств измерений освещенности непрерывного излучения (люксметр). Для измерения вертикальной освещенности люксметр устанавливают на расстоянии от 10 до 20 м сбоку от штриховой миры (объекта наблюдения) и закрепляют в держателе таким образом, чтобы головка фотометра была направлена в сторону, откуда производят наблюдение штриховой миры (объекта наблюдения). Отклонение оптической оси головки фотометра от линии наблюдения не должно превышать 10° . Для измерения горизонтальной освещенности головку фотометра направляют в зенит. Коэффициент направленности освещенности P_E определяют по формуле [3]:

$$P_E = \frac{E_B}{E_T}, \quad (1)$$

где: E_B – вертикальная освещенность, лк;

E_T – горизонтальная освещенность, лк.

Методика определения коэффициента пропускания атмосферы заключается в измерении метеорологической дальности видимости при помощи фотометров типа ФИ-3. Альтернативным вариантом является измерение коэффициента пропускания атмосферы при помощи яркомера фотоэлектрического и двух щитов, с расстоянием до первого щита не более 100 м. Яркомер должен обеспечивать измерение яркости для поля зрения не более 6 угл. мин. с диапазоном от $5 \cdot 10^{-4}$ до $5 \cdot 10^{-1}$ кд/м². Щиты представляют собой прямоугольники, угловые размеры которых «ф» и «2ф», где ф – угловой размер анализирующей диафрагмы яркомера.

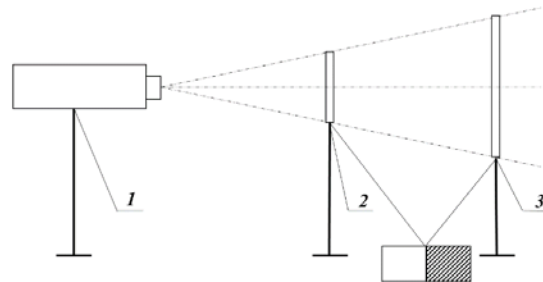


Рисунок 2 – Схема расположения яркомера (1) и щитов (2,3)

Коэффициент пропускания атмосферы вычисляется по формуле:

$$\tau = \frac{n_1(p_1) - n_1(p_2)}{n_2(p_1) - n_2(p_2)}, \quad (2)$$

где $n_1(p_1)$ – отсчет яркомера по светлой части дальнего щита;

$n_1(p_2)$ – отсчет яркомера по темной части дальнего щита;

$n_2(p_2)$ – отсчет яркомера по темной части ближнего щита;

$n_2(p_1)$ – отсчет яркомера по светлой части ближнего щита.

Методика определения видимого контраста основана на фотоэлектрическом преобразовании потока излучения от объекта наблюдения в электрический сигнал. Измерения проводят с помощью яркомера, объектив которого имеет спектральное пропускание в диапазоне длин волн от 0,40 до 0,76 мкм.

Для того, чтобы определить контрастность миры, необходимо провести измерения яркости темного и светлого штрихов миры. Измерения необходимо проводить на одной оптической оси с дальнейшим расположением испытуемой ОЭС, под углом β с допустимым отклонением $\pm 10^\circ$. Яркомер устанавливают на расстоянии h_1 от миры. Далее проводят расчет контрастности (К) миры по формуле:

$$K = \frac{l_c - l_T}{l_c + l_T}, \quad (3)$$

где l_c – яркость светлого штриха, кд/м²;

l_T – яркость темного штриха, кд/м².

Применяя закон обратных квадратов для яркости, определяется яркость светлого и темного штриха миры для расстояния h_2 , где будет располагаться испытуемая ОЭС-В:

$$l_{c_1} = l_c \frac{1}{h_2^2}, \quad (4)$$

$$l_{T_1} = l_T \frac{1}{h_2^2}, \quad (5)$$

где l_{c_1} – яркость светлого штриха на расстоянии h_2 , кд/м²;

$l_{\dot{a}_1}$ – яркость темного штриха на расстоянии h_2 , кд/м².

По аналогии для контраста миры с расстояния h_1 проводится расчет контраста миры для расстояния h_2 :

$$K_1 = \frac{l_{c_1} - l_{T_1}}{l_{c_1} + l_{T_1}}, \quad (6)$$

Данное значение принимаем за истинное для определения разрешающей способности испытуемой ОЭС.

Кроме этого, необходимо провести расчет значения (K_{BX}) контраста миры на входе испытуемой ОЭС с учетом коэффициента пропускания атмосферы по формуле [3]:

$$K_{BX} = \frac{K_1}{1 + \left(\frac{\omega}{p}\right)(\ln r' - 1)}, \quad (7)$$

где ω – коэффициент погоды, зависящий от высоты Солнца и других условий;

p – коэффициент отражения миры (паспортное значение штриховой миры);

r' – коэффициент пропускания атмосферы, %.

В свою очередь проверка согласования каналов ОЭС является сложной измерительной задачей, требующей более углубленной проработки, так как вклад погрешностей контрольно-проверочной аппаратуры может достигать до 30 % от всего бюджета погрешностей.

Таким образом, целесообразно рассмотреть возможность разработки и внедрения схемы подтверждения, как минимум, указанных технических характеристик ОЭС, в качестве опорных точек которой можно использовать лабораторно-экспериментальную эталонную базу ФГБУ «ГНМИЦ» Минобороны России, оснащенного необходимыми средствами измерений, испытательным и вспомогательным оборудованием.

Кроме этого, немаловажным является проведение работ по разработке единых подходов к измерениям (определению) технических характеристик ОЭС, что, в свою очередь, обеспечит:

создание современной базы испытаний ОЭС;
создание научно-технического задела по перспективным разработкам ОЭС;

единство измерений технических характеристик ОЭС, что позволит производить их объективную оценку и сравнение аналогичных по принципу действия и назначению ОЭС между собой, также существенно снизить риски, связанные с неоправданными затратами и возможными срывами выполнения заданий Государственного оборонного заказа.

Литература.

1. Шарганов К.А., Микрюков А.Н. Состояние и перспективы развития метрологического обеспечения оптико-электронных систем летательных аппаратов // Сборник статей по материалам VIII Всероссийской научно-практической конференции «Методологические аспекты развития метеорологии специального назначения, экологии и метрологического обеспечения войск (сил)». – 2024. – С. 187–190.

2. Шарганов К.А., Микрюков А.Н., Хатеев А.С. Обеспечение единства измерений и характеристик приборов и систем оптического диапазона // Актуальные вопросы исследований в авионике: теория, обслуживание, разработка [текст]: Сборник научных статей по материалам докладов XI Всероссийской НПК «АВИАТОР». Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2023. – С. 356–358.

3. Мельканович А.Ф., Минеев В.В. Способ определения разрешающей способности аэрофотонегатива // Качество аэрофотоизображения. М.: Географическое общество СССР, 1989. – 47 с.

Literature:

1. Sharganov K.A., Mikryukov A.N. The state and prospects of development of metrological support for optoelectronic systems of aircraft // Collection of articles based on the materials of the VIII All-Russian Scientific and practical conference “Methodological aspects of the development of special-purpose meteorology, ecology and metrological support of troops (forces)”. – 2024. – pp. 187–190.

2. Sharganov K.A., Mikryukova A.N., Khateev A.S. Ensuring the uniformity of measurements and characteristics of optical range devices and systems // Actual issues of research in avionics: theory, maintenance, decoupling [text]: A collection of scientific articles based on the materials of the reports of the XI All-Russian Scientific Research Center “AVIATOR”. Voronezh: VUNTS of the Air Force “VVA”, 2023. – pp. 356–358.

3. Melkanovich A.F., Mineev V.V. A method for determining the resolution of an aerophotonegative // The quality of an aerial image. Moscow: Geographical Society of the USSR, 1989. – 47 p.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ FEATURES OF MEASURING INSTRUMENTS APPLICATION FOR THERMAL IMAGING CONTROL OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Воейко О.А., к.т.н, доцент, заведующая кафедры Технологического университета;
Кааль С.В., научный сотрудник ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России;
Бороденкова И.В., научный сотрудник ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России
Voeiko O.A., c.t.s, department of the Technological University
Borodenkova I.V., research associate of the FSBI "GNMC" of the Russian Ministry of Defense
Kaal C.V., research associate of the FSBI "GNMC" of the Russian Ministry of Defense
E-mail: s_kaal@mail.ru, tel. +7 (967) 120-85-64
E-mail:32Irina@bk.ru, tel. +7 (916) 438-50-83

Аннотация: Описан метод тепловизионного контроля сооружений, рассмотрены его достоинства и недостатки. Разработана методика инфракрасного (ИК) диагностирования.

Abstract: The method of thermal imaging control of structures is described, its advantages and benefits are considered. An infrared diagnostic technique has been developed.

Ключевые слова: измерительный тепловизор, ИК-диагностика, здания, сооружения.

Keywords: measuring thermal imager, IR diagnostics, buildings, structures.

В соответствии с требованиями по сопротивлению теплопередаче к наружным ограждениям зданий и сооружений в настоящее время часть их (далее – объекты) не соответствуют данным требованиям. Поэтому проведение оперативного обследования фактического теплофизического состояния конкретных сооружений (фактического распределения температурных полей на поверхности наружных ограждающих конструкций) является важной измерительной задачей [1]. Температура поверхностей строительных конструкций зависит от теплофизических свойств их материалов, наличия теплопроводных включений, как конструктивно обусловленных, так и случайных, являющихся технологическими или конструктивными дефектами.

Классическим методом определения теплофизического состояния сооружений является контактный метод, для реализации которого необходимо установить большое количество термодатчиков, что влечёт большую трудоёмкость и низкую оперативность работ. Тепловизионный метод контроля и определения пространственного распределения температур по поверхности ограждающих конструкций объекта основан на применении измерительного тепловизора, который позволяет получить тепловой «портрет» ограждающей конструкции объекта, проанализировать изображение в режиме реального времени (рисунок 1) и принять экспертное заключение по

тепловому укрытию, а после выполнения работ по укрытию – вновь снять тепловой «портрет» ограждающей конструкции и проверить качество выполненных работ [2].

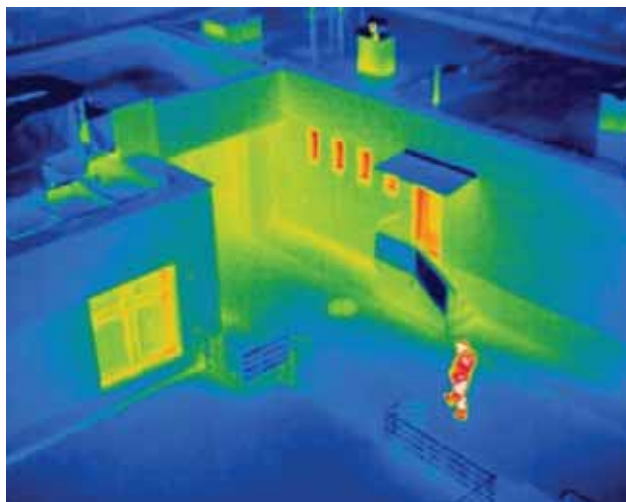


Рисунок 1 – Тепловой «портрет» ограждающей конструкции объекта

Обследования тепловизионным методом могут выполняться:

на стадии эксплуатации – для составления паспортов объектов, при проведении мероприятий по повышению энергоэффективности и маскировочных работ;

при капитальных ремонтах – для определения необходимых работ и контроля качества их выполнения.

К преимуществам тепловизионного контроля относятся:

- высокая температурная чувствительность и пространственная разрешающая способность измерительных тепловизоров;

- исключение механического контакта и нарушение поля температур измеряемого объекта (неразрушающий контроль);

- возможность обнаружения внутренних дефектов конструкций;

- возможность измерения тепловизором как малых, так и габаритных объектов;

- диапазон измеряемых температур от минус 45 до 50 °С.

Тепловизионному контролю могут подвергаться наружные, внутренние поверхности ограждающих конструкций объектов для выявления различных дефектов:

- наличие конструктивных, эксплуатационных и строительных дефектов стеновых панелей;

- недостаточная утеплённость строительных конструкций;

- наличие дефектов кирпичной кладки;

- наличие дефектов перекрытий и покрытий;

- нарушение швов и стыков между сборными конструкциями;

- наличие утечек тепла через окна и остекленные участки, конструкции и стыки цокольных этажей и чердачных конструкций, системы вентиляции;

- наличие участков с плохой работой системы отопления.

Следовательно, метод тепловизионного контроля позволяет определять места и размеры участков, подлежащих ремонту для восстановления требуемых теплозащитных качеств (рисунок 2).

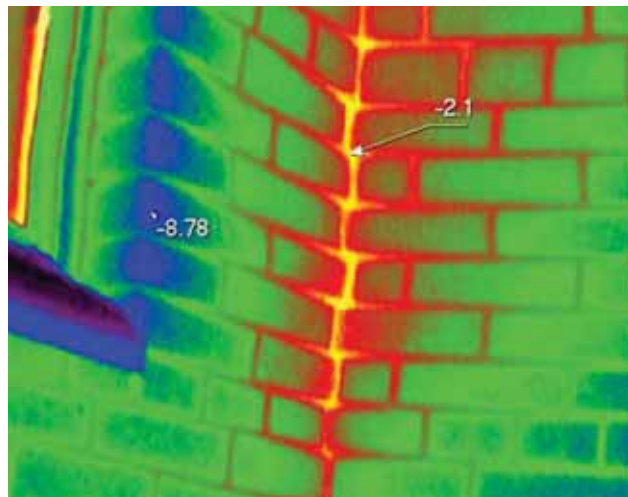


Рисунок 2 – Обследуемый участок объекта

Разработанная методика тепловизионного контроля содержит требования к организации и проведению инфракрасного диагностирования (ИК-диагностика) зданий и сооружений и определяет цели, условия и порядок проведения измерений.

Алгоритм ИК-диагностики представлен на рисунке 3 и состоит из комплекса взаимосвязанных циклов, определяющих последовательность проведения операций и их информативность [3].



Рисунок 3 – Алгоритм инфракрасной диагностики

При выполнении работ по ИК-диагностике используются следующие средства измерений и вспомогательное оборудование:

- измерительный тепловизор;
- средства измерений параметров среды;
- рулетка (лазерный дальномер);
- ПЭВМ.

При выборе измерительного тепловизора необходимо четко понимать измерительные задачи и условия эксплуатации. В настоящее время в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений зарегистрировано более 40 различных типов тепловизоров. Наиболее распространенными из них являются: Testo 882, Testo 876, «ИРТИС-2000», FLUKE i7.

Регламент проведения ИК-диагностики включает в себя периодичность и объем измерений характеристик контролируемого объекта или совокупности объектов. Периодичность ИК-диагностики зданий и сооружений определяется с учетом опыта их эксплуатации, режима работы, внешних и других факторов. ИК-диагностика должна проводиться измерительными тепловизорами, обеспечивающими достаточную эффективность в определении дефекта на работающем оборудовании.

При анализе результатов ИК-диагностики должна осуществляться оценка выявленного дефекта и прогнозирование возможностей его развития и сроков восстановления.

После устранения выявленного дефекта необходимо провести повторное диагностирование с целью оценки качества проведенных ремонтных мероприятий.

В ПЭВМ заносится информация об объекте (тип, срок службы, условия эксплуатации, режимы работы, объемы и виды ремонтных работ, результаты профилактических испытаний и измерений).

Проведение ИК-диагностики включает в себя:

1. Подготовительные работы:

изучение документации по контролируемому объекту (длительность и условия эксплуатации, объем и характер проведенных ремонтных работ и профилактических измерений, характер выявленных дефектов);

составление оптимального плана обследования с фиксацией тепловых режимов, ветровых воздействий;

проверка предварительной работоспособности средств ИК-диагностики;

проведение инструктажа по технике безопасности.

2. Проведение измерений.

3. Обработка результатов измерений.

Градиент температуры окружающей среды внутри помещения не должен превышать 2 °С, а объект не должен подвергаться воздействию солнечной радиации в течение предшествующих 4-х часов. Поверхности сооружения не должны подвергаться дополнительному тепловому воздействию от источников освещения. Минимально допустимое приближение оператора тепловизора к обследуемой поверхности составляет 1м. Идентификацию объектов на термограмме необходимо производить путем сравнения термограмм с видимым изображением той же зоны осмотра.

При измерениях в тепловизор вводят поправку на коэффициент излучения материалов, приведенных в таблице 1. Кроме того, различия в излучательных свойствах объектов диагностирования могут служить дополнительными признаками их идентификации на термограмме.

На результаты ИК-диагностики оказывает влияние географическое расположение объекта относительно частей света. Кроме того, ИК-диагностику не производят в дождь, туман, сильный снегопад, а также при наличии снега, измороси и влаги на контролируемых поверхностях, так как погрешность измерений, вносимая вышеуказанными факторами, возрастает с увеличением расстояния до объекта. Прямое и рассеянное солнечное излучение может нагревать части обследуемого оборудования и создавать области аномальной температуры, которые следует отличать от температурных распределений, обусловленных теплопередачей через ограждающие конструкции. Кроме того, на гладких (глянцевых) поверхностях могут возникать солнечные блики, которые на термограмме выглядят как зоны повышенной температуры.

В большинстве случаев наличие бликов легко устанавливают путем перемещения тепловизора: изображение блика будет перемещаться, в то время как изображение аномально нагретой зоны останется на месте.

Таблица 1

Коэффициент излучения материалов

Вид материала	Состояние поверхности	Коэффициент излучения
Алюминий	Анодированный/ необработанная поверхность/ окисленный/полированный	0,55/0,07/0,3/0,06
Железо	Ржавое/Необработанное/Окисленное/оцинкованное	0,85/0,24/0,74/0,25
Сталь	Заржавленная/легированная/нержавеющая/оксидированная Оцинкованная/полированная	0,69/0,35/0,45 0,8/0,28/0,07
Асбест	Плиты шероховатые, серые	0,96
Асфальт	Сыпучий/Дорожное покрытие, укатанное	0,95/0,9
Бетон	Плиты гладкие/стены литые, необработанные	0,63/0,55
Битум	Кровельный, плоский/жидкий	0,96/0,97
Дерево	Брус/доска	0,9/0,96
Кирпич	Красный/силикатный	0,93/0,66

ИК-диагностику рекомендуется проводить в предрассветные или ночные часы, когда тепловое влияние окружающей среды минимально. В дневное время наилучшие результаты достигаются при пасмурной погоде. В исключительных случаях (зимой и при сравнении температур однотипных зон) возможны измерения температурных перепадов и в условиях прямой солнечной засветки. Ветер более 5 м/с способен существенно увеличить теплоотдачу с поверхностей и снижать температуру.

Микрометеоусловия (условия, создающиеся вследствие специфического расположения в данной местности объекта контроля и окружающих объектов) оказывают влияние на ИК-диагностику. К примеру, расположение контролируемого объекта в низине создает эффект «холодного бассейна» и может приводить к появлению дополнительного конденсата на поверхности. Наличие посторонних объектов (деревья, кустарники, рядом стоящие здания и т.п.) солнечное облучение и порывы ветра могут оказывать влияние на результаты измерений. Высокотемпературные печи, калориферы внутри помещений могут вызвать как дополнительный нагрев объекта контроля, так и отраженную засветку.

С увеличением расстояния до объекта контроля возрастает поле обзора, ухудшается детальность осмотра и искажаются значения истинной температуры за счет поглощения в атмосфере.

Места установки тепловизора выбирают так, чтобы поверхность объекта измерений находи-

лась в прямой видимости под углом наблюдения не менее 60°.

При прочих равных условиях один и тот же дефект строительства (протечка воздуха, «мостик холода»), как правило, лучше обнаруживается при осмотре внутри помещения. Основными мешающими факторами при таком осмотре являются:

- наличие вентиляторов и нагревателей;
- экранировка зон контроля мебелью, коврами и другими предметами;
- отслоение обоев, штукатурки и т.п.;
- неравномерная окраска зоны контроля.

Радиационное влияние нагревателей можно устранить их экранированием теплонепроницаемыми предметами или правильным выбором зоны и ракурса съемки. При термографировании оконных стекол может возникать эффект отражения близстоящих источников теплового излучения, включая людей в стекле, при этом оператор видит слабое отраженное изображение указанных источников на термограмме. Еще более сильное влияние оказывает отраженное солнечное излучение.

Термографирование полупрозрачных объектов, таких как диэлектрические пленки, оконные стекла и т.п., требует использования специальных методических приемов, которые должны разделять эффекты теплопередачи. Оценку тепловых аномалий следует производить как по температурному перепаду в зоне аномалии, так и путем сравнения с эталонной зоной. Эталонная зона должна выбираться аналогично контроли-

руемой и находится в тех же условиях теплообмена (располагаться вблизи исследуемой зоны). Поверхности, визируемые под большим углом, кажутся холоднее. При съемке под большим углом удаленные зоны кажутся холоднее ближних. На больших расстояниях объекты контроля кажутся более холодными за счет поглощения в атмосфере. Неокрашенные металлические элементы сооружений выглядят, как правило, более холодными, чем они есть на самом деле, за исключением, когда есть интенсивная внешняя подсветка. Изображение тепловых аномалий с резкими границами часто соответствуют поверхностным эффектам или неравномерному солнечному нагреву, что легко идентифицируются при визуальном осмотре. В целом, тепловые аномалии в зоне протечек воздуха или воды имеют более резкие границы, чем тепловые аномалии над скрытыми внутренними дефектами. Изображения солнечных бликов перемещаются при перемещении оператора относительно объекта контроля, тогда как температурные эффекты не изменяют существенного вида теплового поля при изменении ракурса съемки.

Соотношения между степенью опасности аномалий и экспериментально наблюдаемыми температурными перепадами в местах тепловых аномалий не регламентированы ввиду отсутствия необходимых статистических сведений. Сами амплитуды температурных перепадов должны нормироваться на температурные напоры, поскольку, например, понижение температуры в зоне межпанельного шва на 1°C при температуре наружного воздуха 0°C свидетельствует о значительно более серьезном дефекте, чем такой же перепад, обнаруженный при температуре наружного воздуха минус 20°C .

ИК-диагностика сооружений включает определение частичных и общих теплопотерь, обнаружение скрытых дефектов строительства, определение (оценку) сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.

Нормативными характеристиками сооружений являются: расчетная температура наружного (от минус 45 до 50°C) и внутреннего воздуха;

($18...21^{\circ}\text{C}$), относительная влажность ($50...60\%$), градиент температуры воздуха в помещении и на внутренней поверхности наружной стены;

($4...6^{\circ}\text{C}$), температура на внутренней поверхности стены, которая должна превышать точку росы. На рисунке 4 представлена схема формирования теплового баланса сооружений в отопительный период годового цикла.

Теплопоступления обусловлены отопительными приборами, бытовыми электрическими приборами, солнечной радиацией, а теплопотери - теплопередачей через стены, окна, чердачное перекрытие, полы первого этажа, дополнительные затратами тепловой энергии на нагревание в объеме помещения холодного воздуха и энергозатратами на горячее водоснабжение.

Метод ИК-диагностики позволяет проанализировать работу системы вентиляции, оценить интенсивность инфильтрации, перемещения воздуха через ограждающие конструкции, а также выявить нарушения теплозащиты ограждающих конструкций, возникающие в результате ошибок проектирования, нарушений технологий изготовления строительных материалов, ошибок и нарушений технологии при строительстве зданий, неправильного режима эксплуатации.

Перечисленные факторы приводят к преждевременному снижению теплозащитных свойств в отдельных участках ограждающих конструкций в результате воздействия погодных (ветер, атмосферные осадки) и естественно-климатических условий (циклы тепло-холод, влажность). Это, в свою очередь, приводит к ухудшению микроклимата внутри зданий и перерасходу топлива на обогрев вследствие увеличения теплопотерь.

ИК-диагностика позволяет определить пути устранения ошибок проектирования, в результате которых температура в помещениях держится на недопустимо низком уровне.

Теплопотери ограждающих конструкций сооружения определяют на момент тепловизионной съемки, а затем экстраполируют на годовой период с учетом нормируемой температуры внутри помещений, средних климатических условий в данной местности и длительности отопительного сезона.

Экономический ущерб от сверхнормативных теплопотерь можно определить исходя из их рассчитанных значений с учетом стоимости тепловой

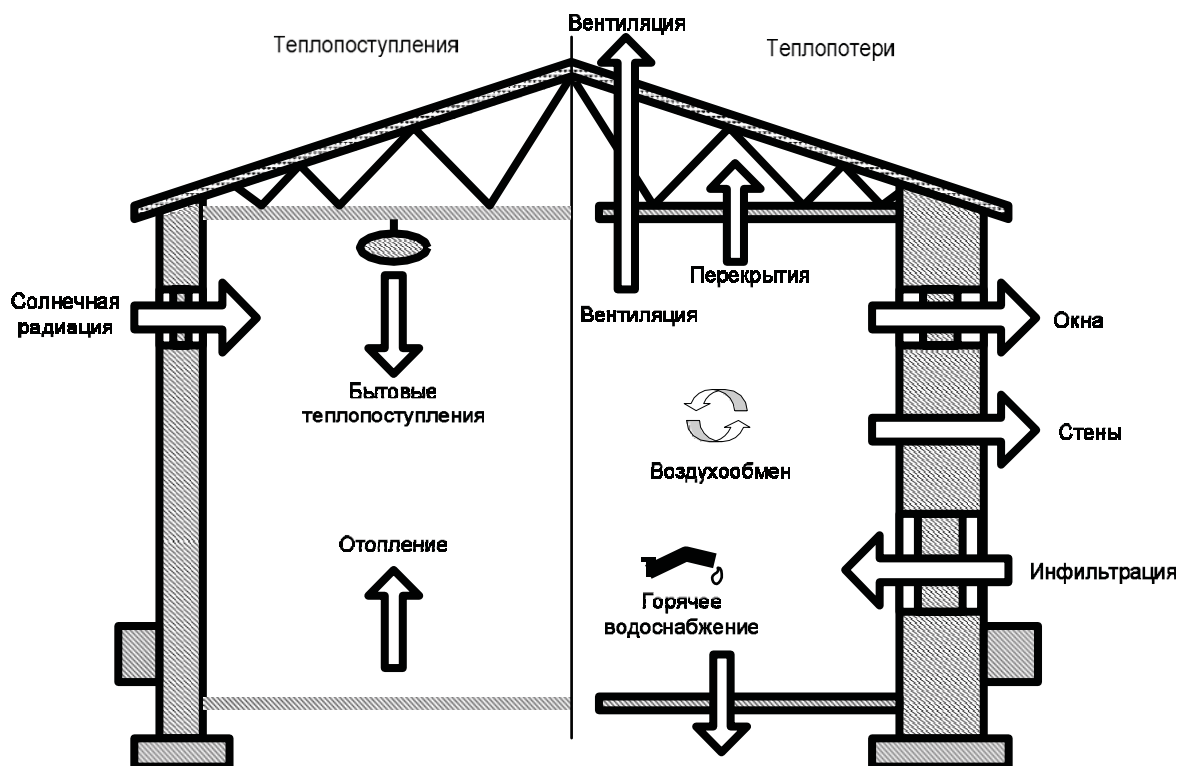


Рисунок 4 – Тепловой баланс сооружения

(электрической) энергии. Очевидно, что тепловизионная диагностика в состоянии лишь констатировать распределение тепловых потерь в зоне контроля, на основании чего можно разработать мероприятия по их снижению (выравниванию) и в последующем оценить их эффективность. Например, тепловизионный метод позволяет оценить эффективность оптимизации системы теплоснабжения и вентиляции.

При анализе теплопотерь сооружений особое внимание следует уделить ИК-диагностике окон, поскольку именно через них теряется большая часть тепловой энергии.

Основными видами дефектов, обнаруживаемых с помощью ИК термографии (рисунок 5), являются:

- места протечек воздуха и воды (дефектная зачеканка швов с наружной стороны, отслоения пленки мастики от бетонной поверхности, недостаточное обжатие гермита и трещины в растворе и мастике, дефекты оконных блоков и проемов: некачественное уплотнение стен замазкой, сквоз-

ные щели в соединениях нижних элементов коробок, прерывистость мастики в устье стыка защелки оконного блока);

- мостики холода и тепла; ухудшение сопротивления теплопередаче (отсутствие теплоизоляции, аномальная увлажненность, некачественная кирпичная кладка, некорректные архитектурные и строительные решения);

- дефектные панели ограждающих конструкций (нарушение толщины и расстановки утеплителя, оседание утеплителя, скол края панели);

- отслоение штукатурки, облицовки и других покрытий.

Обнаруживать скрытые дефекты строительства методом ИК-контроля можно внутри и снаружи помещений. Наружный осмотр более пригоден для оценки общих теплопотерь зданий и сопротивления теплопередаче, включая анализ эффективности архитектурных решений, а также для выявления существенных дефектов, которые значительно искажают поверхностное температурное поле.

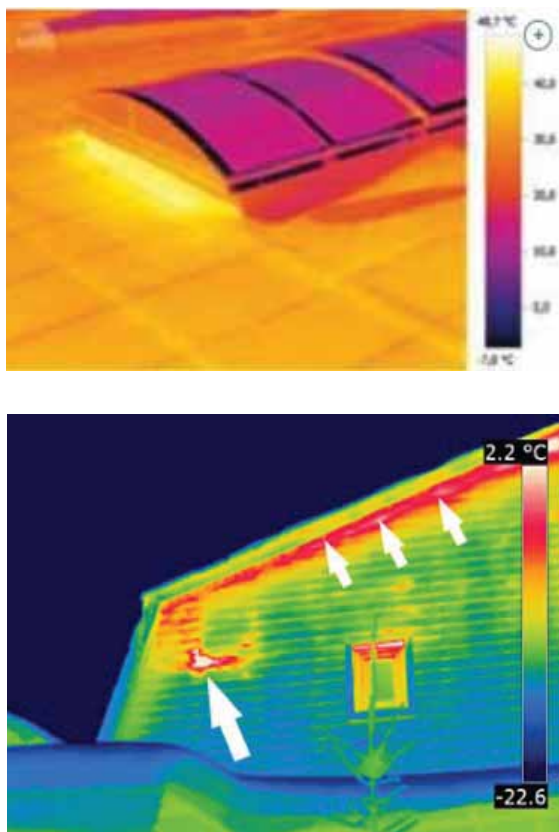


Рисунок 5 – Дефекты, обнаруживаемые с помощью ИК термографии

Внутренний осмотр является более детальным и предназначен для обнаружения, в том числе незначительных строительных дефектов и анализа теплового режима помещений.

Невидимые глазу скопления воды в кровле плоских крыш производственных зданий являются серьезным дефектом, приводящим к преждевременному разрушению кровли и протечками внутрь помещений. Аномальная поверхностная влажность может быть обнаружена в стационарном режиме за счет испарения воды и соответствующего понижения температуры, однако вода, скрытая внутри многослойной крыши, может быть обнаружена, как правило, только в динамическом режиме: за счет высокой теплоемкости воды дефектные участки видны холодными – в дневное время и теплыми – ночью. Обследование крыш можно проводить путем обхода крыши с тепловизором, однако в этом случае производительность осмотра низка и затруднено получение общей картины.

Таким образом, метод ИК-контроля и определения пространственного распределения тепловых потоков позволяет значительно сократить трудоемкость и значительно повысить оперативность работ по тепловому укрытию зданий и сооружений без нарушения целостности ограждающих конструкций, сооружений.

Литература

1. Шарганов К.А., Мосолков Г.Ю., Талалай И.А. Применение измерительных тепловизоров в системе материально-технического обеспечения ВС РФ // Журнал МТО. – 2021. – № 5. – С. 86–93;
2. Осина А.А., Воейко О.А., Шарганов К.А. Метод комплексной передачи единиц фотометрических величин оптико-электронным системам // Вестник метролога. – 2/2023. – С. 27–30;
3. Шарганов К.А., Воейко А.А., Кааль С.В., Чудотворов А.В. Совершенствование системы метрологического обеспечения фотометрических величин (тезисы доклада) // XIV Всероссийская научно-техническая конференция «Метрологическое обеспечение обороны и безопасности в РФ». – С. 303–305.

50-АЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ ВОЕННЫХ МЕТРОЛОГОВ «АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ВОЕННОЙ МЕТРОЛОГИИ»



Организационный комитет 50-ой Научно-технической конференции молодых ученых и специалистов военных метрологов «**Актуальные задачи военной метрологии**» приглашает вас принять участие в конференции, которая состоится **24 апреля 2025 года в ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России, г. Мытищи Московской области.**

50-ая научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов военных метрологов «Актуальные задачи военной метрологии» в очередной раз предоставит возможность обсудить полученные молодыми учеными и специалистами научные результаты, направленные на решение большого спектра актуальных задач метрологического обеспечения в области обороны и безопасности Российской Федерации.

Формы участия в конференции

- ⇒ выступление с пленарным докладом;
- ⇒ выступление с секционным докладом;
- ⇒ участие в конференции (без доклада);
- ⇒ заочное участие в конференции.

Заявки на участие, тезисы докладов, экспертные заключения о возможности опубликования в открытой печати принимаются до **28 февраля 2025 г.**

Заявки на участие, тезисы докладов и другие материалы высылать:

✉ **по адресу:** 141006, Московская область, г. Мытищи, ул. Комарова, д. 13 ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России;

✉ **e-mail:** 32gnii@mil.ru

Контактное лицо: председатель Совета молодых ученых ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России Новиков Егор Олегович

☎ **телефон:** 8-999-243-94-72

✉ **e-mail:** 32gnii@mil.ru



Одним из основных видов деятельности в любой научной организации является преемственность поколений, воспитание и качественная подготовка научных кадров. Практически с начала существования ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России в нем создан и успешно функционирует Совет молодых ученых под общим руководством командования Главного центра и в тесном взаимодействии с диссертационным советом.

Совет молодых ученых ежегодно организует научно-техническую конференцию молодых ученых и специалистов военных метрологов «Актуальные задачи военной метрологии», в которой участвуют

молодые ученые и специалисты научно-исследовательских организаций Минобороны России, высших военно-учебных заведений, войсковых частей, государственных научных метрологических институтов Росстандарта, организаций сферы обороны и безопасности Российской Федерации, предприятий промышленности. Целью конференции является ознакомление, обсуждение работ молодых ученых, обобщение опыта работы, интеграция и систематизация наработок молодых ученых и специалистов военных метрологов, их участие в решении актуальных проблем метрологического обеспечения войск (сил) и обеспечения единства измерений.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ 50 НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ ВОЕННЫХ МЕТРОЛОГОВ

«Актуальные задачи военной метрологии» приглашает Вас принять участие в конференции, которая состоится 24 апреля 2025 года в ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России, г. Мытищи Московской области. (начало в 10 ч. 00 мин).

НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ КОНФЕРЕНЦИИ

□ совершенствование системы обеспечения единства измерений при осуществлении деятельности в области обороны и безопасности Российской Федерации;

□ основные направления развития и принципы построения средств измерений военного назначения;

□ развитие эталонной базы сферы обороны, безопасности и оборонно-промышленного комплекса;

□ состояние и перспективы развития организационных и методических основ военно-метрологического сопровождения и метрологической экспертизы ВВТ;

□ организационные и методические аспекты аттестации методик (методов) измерений;

□ проблемы метрологического обеспечения действующей испытательной базы и ее развитие в соответствии с задачами испытаний новых поколений вооружений, организационные и методические аспекты аттестации испытательного оборудования;

□ проблемы аттестации программного обеспечения автоматизированных систем контроля и диагностирования;

□ проблемы метрологического обеспечения испытаний оружия на новых физических принципах;

□ актуальные вопросы метрологического обеспечения средств обнаружения, опознавания, целеуказания и наведения систем и комплексов высокоточного оружия;

□ метрологическое обеспечение средств координатно-временного и навигационного обеспечения;

□ состояние и перспективы развития средств метрологического обеспечения ионизирующих излучений и испытаний ВВТ на радиационную стойкость;

□ актуальные вопросы метрологического обеспечения средств измерений параметров антенн и характеристик радиолокационной и оптической заметности объектов ВВТ;

□ проблемы метрологического обеспечения испытаний ВВТ на стойкость и электромагнитную совместимость;

□ состояние и перспективы развития средств метрологического обеспечения оптико-физических измерений, измерений в ИК-диапазоне и миллиметровой области СВЧ диапазона;

□ состояние и перспективы развития средств метрологического обеспечения в области гидроакустических и гидрофизических измерений;

□ метрологическое обеспечение автоматизированных средств контроля горюче-смазочных материалов.

ФОРМЫ УЧАСТИЯ В КОНФЕРЕНЦИИ

- ⇒ выступление с пленарным докладом;
- ⇒ выступление с секционным докладом;
- ⇒ участие в конференции (без доклада);
- ⇒ заочное участие в конференции.

Формы демонстрации иллюстрационных материалов пленарных и секционных докладов – мультимедиа-проектор (базовое разрешение 800x600).

Продолжительность выступлений:

- пленарный доклад – до 15 минут;
- секционный доклад – до 10 минут.

Тезисы докладов должны содержать краткое изложение цели исследований, методики их проведения и анализ полученных результатов. Объем Тезисов доклада – от одной до четырех страниц, последняя страница должна быть заполнена не менее чем на три четверти. Текст доклада представляется в **печатной и электронной** форме (по электронной почте 32gnii@mil.ru (с пометкой в теме КМУ-2025), либо на CD-диске в текстовом редакторе Word).

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДОКЛАДОВ

Перед набором текста настройте параметры текстового редактора следующим образом:

- ☒ размер бумаги – А4 (210×297);
- ☒ ориентация – книжная;
- ☒ поля: верхнее, нижнее, правое, левое – 2 см;
- ☒ колонтитулы: верхний и нижний – 1 см;
- ☒ красная строка – 1 см;
- ☒ шрифт – Times New Roman;

- ☑ высота шрифта: название, УДК, авторы, аннотация, текст, литература – 12;
- ☑ межстрочный интервал – одинарный;
- ☑ выравнивание – по ширине.

По центру ЗАГЛАВНЫМИ (ПРОПИСНЫМИ) БУКВАМИ печатаются фамилия(и) и инициалы автора(ов). После ФИО автора(ов), указывается организация, которую он представляет. Перед фамилией указывается ученая степень (строчными буквами, при наличии). Первой указывается ФИО докладчика.

НИЖЕ, через одну строку, с выравниванием по ширине курсивом указывается наименование организации и населенный пункт ее дислокации.

НИЖЕ, через одну строку, курсивом печатается аннотация (не более 6 строк).

НИЖЕ, через одну строку, курсивом печатаются ключевые слова (3–15 ключевых слов)

Затем, через одну строку, печатается текст доклада. Каждому рисунку и таблице присваивается порядковый номер. Рисунки и таблицы сопровождаются обязательными названиями.

Ниже, через одну строку, по центру печатается слово «Литература» и далее перечень литературы.

Принятые оргкомитетом тезисы докладов будут опубликованы в сборнике трудов конференции.

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ КОНФЕРЕНЦИИ

**24 апреля 2025 года
в ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России
(начало в 10 ч. 00 мин)**

Московская область, г. Мытищи,
ул. Комарова, д. 13

**ЗАЯВКА
на участие в конференции**

Наименование тезисов доклада	
Фамилия, имя и отчество	
Должность и место работы	
Ученая степень, ученой звание	
Воинское (специальное) звание	
Форма участия (выступление с пленарным докладом; выступление с секционным докладом; участие в конференции (без доклада); заочное участие)	
Контактный телефон	
Электронная почта	

Заявка оформляется на каждого участника **отдельно**.

К научной статье прилагается заключение о возможности открытого опубликования (на предмет отсутствия в них сведений, составляющих государственную тайну, и служебной информации ограниченного распространения) в целях определения возможности их открытого опубликования.

В случае отсутствия экспертного заключения или отклонения от требований к оформлению в публикации может быть отказано.

Участникам конференции необходимо иметь при себе:

- документ, удостоверяющий личность;
- цифровые носители информации для демонстрации слайдов.

ТРЕБОВАНИЕ К УЧАСТНИКАМ КОНФЕРЕНЦИИ

СОТРУДНИК(И) ОРГАНИЗАЦИИ МОЛОЖЕ 36 ЛЕТ.

РЕГИСТРАЦИОННЫЕ ВЗНОСЫ ЗА УЧАСТИЕ
В КОНФЕРЕНЦИИ И СБОРНИК ТРУДОВ КОНФЕРЕНЦИИ
НЕ ТРЕБУЮТСЯ

**24 апреля 2025 года
в ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России
(начало в 10 ч. 00 мин)**

КОНТРОЛЬНЫЕ ДАТЫ

Сроки представления материалов для конференции:

- ☑ заявки на участие – до **28 февраля 2025 г.**;
- ☑ тезисы докладов – до **28 февраля 2025 г.**

Заявки на участие, тезисы докладов и другие материалы высылать:

✉ **по адресу:** 141006, Московская область, г. Мытищи, ул. Комарова, д. 13 ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России;

☎ **телефон:** 8-(495)-586-97-56, факс – 8-(495)-583-99-48;

✉ **e-mail:** 32gnii@mil.ru

Контактное лицо:
председатель Совета молодых ученых ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России Новиков Егор Олегович

☎ **телефоны:** 8-999-243-94-72

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

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

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

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

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

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

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

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

Авторам, гражданам России, следует представить экспертное заключение о том, что работа может быть опубликована в открытой печати. Экспертное заключение

может быть прислано в печатном виде или по электронной почте в сканированном виде.

Публикация статей в журнале осуществляется бесплатно.

Оттиски опубликованных статей авторам не высылаются.

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

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

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

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

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

Статья должна содержать УДК.

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

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

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

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

Все условные обозначения, приведенные на рисунках, необходимо пояснить в основном или подрису-

ночных текстах. Размер рисунка не должен превышать 14×20 см.

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

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

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

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

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

Единицы измерений и буквенные обозначения физических величин должны отвечать требованиям

ГОСТ 8.417–2002 «ГСИ. Единицы величин», а термины – требованиям соответствующих государственных стандартов.

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

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

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

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

NOTE AUTHORS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

of letter symbols shall correspond to the sequence of layout of these designations in a formula.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Прейскурант на 2025 год

Наименование	Периодичность издания	Цена за 1 номер (руб.) с НДС
Журнал «Вестник метролога»	4 раза в год	1 200,00
«Вестник метролога» по подписке	4 раза в год	1 200,00
Журнал «Альманах современной метрологии»	4 раза в год	1 500,00

Расценки на размещение рекламы в журнале «Вестник метролога»

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

ПОДПИСКА

Принимается подписка на ежеквартальный журнал
«Вестник метролога»

Читатели могут оформить подписку
nikiforova@vniiftri.ru

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

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

