

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ**

РОССТАНДАРТ



**Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии
им. Д.И. Менделеева»**

**ROSSTANDART
D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM)**

**Международная научно-практическая конференция
«175 лет ВНИИМ им. Д.И. Менделеева
и Национальной системе обеспечения единства измерений»**

**International Scientific and Practical Conference
«175 years of the D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM)
and National Measurement System»**

СБОРНИК АННОТАЦИЙ ДОКЛАДОВ

BOOK OF ABSTRACTS

**Санкт-Петербург
St. Petersburg**

**14-15 июня 2017
June 14-15, 2017**

УДК 006.9
ББК 30.10

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева», Санкт-Петербург.

D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM), St. Petersburg.

Международная научно-практическая конференция «175 лет ВНИИМ им. Д.И. Менделеева и Национальной системе обеспечения единства измерений». Сборник аннотаций докладов. International Scientific and Practical Conference «175 years of the D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM) and National Measurement System». Book of abstracts. – СПб: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2017. - 253 с.

В сборнике опубликованы аннотации докладов, которые были представлены на международной научно-практической конференции «175 лет ВНИИМ им.Д.И. Менделеева и Национальной системе обеспечения единства измерений», Санкт-Петербург, 14-15 июня 2017 г.

In the edition abstracts that have been presented at the international scientific-practical conference «175 years of the D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM) and National Measurement System», St. Petersburg, June 14-15, 2017 are published.

ISBN 978-5-91155-041-7

© ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И.Менделеева», 2017

© Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2017

«От фундаментальной метрологии к инновационному прорыву»

В 2017 году ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», г. Санкт-Петербург, отмечает юбилейную дату – 175 лет со дня своего основания. Наш институт был основан в 1842 году по указу российского императора Николая I, подписанному 16 (4) июня. Сейчас ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» является старейшим национальным метрологическим институтом в России и в мире и занимает лидирующее положение в нашей стране в области точных измерений. Важнейшая государственная задача, стоящая перед институтом, - обеспечение единства измерений в стране на международном уровне на основе использования государственных эталонов единиц физических величин, совершенствования существующих эталонов и создания новых путем проведения фундаментальных и прикладных научных исследований.

14-15 июня 2017 года состоялась международная научно-практическая конференция «175 лет ВНИИМ им. Д.И. Менделеева и Национальной системе обеспечения единства измерений». В конференции приняли участие ведущие метрологические организации России, Кореи, Франции, Германии, Великобритании, Беларуси, Казахстана, Боснии и Герцеговины, Болгарии, Турции, Словакии, Чехии, Египта, Нидерландов, Молдовы, Узбекистана Украины, Японии и Китая.

«From fundamental Metrology to innovation breakthrough»

In 2017 the D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM, St. Petersburg) is celebrating its CLXXV Anniversary. Founded in 1842 by the Decree of the Russian Emperor Nicholas the First signed on June 4 (old Russian calendar style), VNIIM is the oldest National Metrological Institution in Russia and in the world. Since long, it has been holding a leading position in this country in the field of metrology and is considered the largest center in Russia for the upkeep, development, and improvement of National Measurement Standards.

The international scientific and practical conference «175 years of the D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM) and National Measurement System» has been held on the 14-15th of June, 2017 in Saint-Petersburg. The conference was attended by leading metrological organizations from Russia, Korea, France, Germany, Great Britain, Belarus, Kazakhstan, Bosnia and Herzegovina, Bulgaria, Turkey, Slovakia, Czech Republic, Egypt, Netherlands, Moldova, Uzbekistan, Ukraine, Japan and China.

***Международный программный комитет
International programme committee***

Председатель комитета К.В. Гоголинский, k.v.gogolinsky@vniim.ru, +7 (812)327-58-35.

K.V.Gogolinsky - Chair,

T. Takatsuji, Japan – Co-Chair,

L. von der Wense, Germany;

R. Gunn, UK;

S. Khan, UK;

S. Patoray, France;

T. Janssen, UK;

Е.Б. Гинак, E.B. Ginak, E.B.Ginak@vniim.ru, +7 (812) 323-96-76;

А.Б. Дятлев, A.B. Dyatlev, a.b.diatlev@vniim.ru, +7 (812) 315-09-84;

Л.А. Конопелько, L.A. Konopelko, fhi@b10.vniim.ru, +7 (812) 315-11-45;

А.И. Походун, A.I. Pokhodun, A.I.Pokhodun@vniim.ru, +7 (812) 315-52-07;

P.E. Тайманов, R.E. Taymanov, r.e.taimanov@vniim.ru, +7 (812) 251-99-40;
Н.В. Теплова, N.V. Teplova, n.v.teplova@vniim.ru, +7 (812) 323-93-99;
С.Г. Трофимчук, S.G. Trofimchuk, S.G.Trofimchuk@vniim.ru, +7 (812) 323-96-17;
А.Г. Чуновкина, A.G. Chunovkina, A.G.Chunovkina@vniim.ru, +7 (812) 251-83-07;
К.В. Чекирда, K.V. Chekirda, K.V.Chekirda@vniim.ru, +7 (812) 323-96-86; E.З.
Шapiro, E.Z. Shapiro, ezshapiro@vniim.ru, +7 (812) 323-96-79;
В.И. Шевцов, V.I. Shevtsov, V.I.Shevtsov@vniim.ru, +7 (812) 315-14-21;

Организационный комитет
Organizing committee

Председатель комитета Н.В.Теплова, n.v.teplova@vniim.ru, +7 (812) 323-93-99).
Н.А.Бекетов, Ю.Е.Вахнина, Е.Б.Гинак, А.Б.Дятлев, А.А.Королева, А.А.Костюк,
Т.В.Крайнева, Н.Н.Крылова, Т.С.Куликова, Е.И.Лунева, К.В.Мальковский,
М.Е.Медведев, А.А.Пименова, А.Н.Поднебесная, Т.В.Семенова, Т.И.Созинова,
Е.С.Тихомирова, З.В.Фомкина, А.Ю.Харченко, Т.А.Эйхвальд, Ю.А.Яковлева.
N.V.Teplova - Chair,
N.A. Beketov, Yu.E. Vakhnina, E.B. Ginak, A.B. Diatlev, A.A. Koroleva, A.A. Kostyuk,
T.V. Kraineva, N.N. Krylova, T.S. Kulikova, E.I. Luneva, K.V. Malkovskiy, M.E. Medvedev, A.A.
Pimenova, A.N. Podnebesnaya, T.V. Semenova, T.I. Sozinova, E.S. Tikhomirova, Z.V. Fomkina,
A.Yu. Kharchenko, T.A. Eykhvald, Yu.A. Yakovleva

Контакты ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

Адрес: 190005, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 19
Телефон: +7 812 251-76-01
Факс: +7 812 713-01-14
E-mail: info@vniim.ru
www.vniim.ru

Contacts of the D.I.Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM)

Address: 190005, Russia, St. Petersburg Moskovsky pr., 19
Telephone: +7 812 251-76-01
fax: +7 812 713-01-14
E-mail: info@vniim.ru
www.vniim.ru

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ	7
СЕКЦИЯ 01 «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕТРОЛОГИЯ»	24
СЕКЦИЯ 02 «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ»	57
СЕКЦИЯ 03 «ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ»	78
СЕКЦИЯ 04 «ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ»	118
СЕКЦИЯ 05 «ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ»	138
СЕКЦИЯ 06 «ИЗМЕРЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ»	167
СЕКЦИЯ 07 «НОВЫЕ ЗАДАЧИ МЕТРОЛОГИИ В XXI ВЕКЕ»	201

CONTENTS

PLENARY SESSION	7
SECTIONAL MEETING 01 «THEORETICAL METROLOGY»	24
SECTIONAL MEETING 02 «ELECTRICAL MEASUREMENTS»	57
SECTIONAL MEETING 03 «PHYSICO-CHEMICAL MEASUREMENTS»	78
SECTIONAL MEETING 04 «THERMOPHYSICAL MEASUREMENTS»	118
SECTIONAL MEETING 05 «GEOMETRICAL AND MECHANICAL MEASUREMENTS»	138
SECTIONAL MEETING 06 «IONIZING RADIATION MEASUREMENTS»	167
SECTIONAL MEETING 07 «NEW METROLOGY CHALLENGES IN THE 21ST CENTURY»	201

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ PLENARY SESSION

РОЛЬ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Голубев С.С.

*Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии
golubev@gost.ru*

Россия была одной из 17 стран мира, подписавших в 1875 году Метрическую Конвенцию. Многие российские прогрессивные деятели науки и техники ясно сознавали пользу международной унификации единиц на основе десятичной метрической системы и понимали, что продолжение использования старой русской системы мер противоречит духу времени и может стать непреодолимым препятствием для научно-технического прогресса страны. Русские ученые академики О.В. Струве, Г.И. Вильд и Б.С. Якоби стали инициаторами создания единообразных метрических эталонов для всех заинтересованных государств, следствием чего и явилось заключение Метрической Конвенции. Особые заслуги в развитии мировой метрологии принадлежат великому русскому ученому Д.И. Менделееву – основоположнику отечественной научной метрологии и создателю первого в России, а возможно, и во всем мире, научного учреждения по метрологии – Главной палаты мер и весов (сегодня – Институту метрологии им. Д.И. Менделеева), 175-летию основания которого посвящена наша Международная конференция.

В последующие годы правительство России, учитывая все возрастающую роль измерений, принимали и принимают важные постановления по развитию метрологии, способствующие созданию глубоко продуманной государственной системы метрологического обеспечения народного хозяйства. Эта система получила международное признание, и по ее подобию строятся системы метрологического обеспечения во многих странах мира.

Роль России в международной системе обеспечения единства измерений, главным координатором которой на международном уровне является Международное бюро мер и весов (МБМВ), подчеркнута избранием в почетные члены МБМВ члена-корреспондента АН СССР М.А. Шателена (1949 г.) и проф. Г.Д. Бурдуна (1967 г.). В 1956 г. по инициативе ряда стран, в том числе СССР, была создана Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ), в которой наша страна представлена Госстандартом СССР (в настоящее время – Росстандартом). В ее деятельности Россия принимает активное участие, руководя секретариатами по многим направлениям работы.

Российские метрологические институты являются членами или активно участвуют в деятельности региональных метрологических организациях (РМО): АРМР, КООМЕТ, ЕВРАМЕТ и СИМ. Все российские метрологические институты являются коллективно членами РМО «Евро-азиатское сотрудничество государственных метрологических учреждений» (КООМЕТ), а интересы России в РМО «Азиатско-тихоокеанская метрологическая программа (АРМР)» представляет ВНИИМ. Кроме того, российские метрологические институты регулярно приглашаются к участию в сличениях государственных эталонов в рамках других РМО, членами которых они не

являются: «Европейская ассоциация Национальных метрологических институтов» (EURAMET) и «Межамериканская метрологическая система» (SIM). В докладе приведена информация и статистические данные о результатах участия России в деятельности международных организаций по метрологии.

THE ROLE OF THE RUSSIAN FEDERATION IN THE INTERNATIONAL MEASUREMENT SYSTEM

Golubev S.S.

Federal Agency for Technical Regulation and Metrology (Rosstandart)

golubev@gost.ru

Russia was one of those 17 countries who signed the Metre Convention in 1875. Many progressive Russian scholars and engineers were quite clear about the usefulness of the unification of the units of measurement on the basis on the decimal metric system and were aware of the fact that continuing to use the old Russian system of measures was contrary to the spirit of the times and could constitute an insurmountable obstacle for scientific advancement and technological progress of Russia. The Russian scholars and academicians O.V. Struve, G.I. Vild and B.S. Jacobi initiated the creation of uniform metric standards for all interested countries, which, along with the efforts of foreign scientists, finally led to the conclusion of the Metre Convention. Outstanding achievements in this respect were made due to the great Russian scientist Dmitry Mendeleev – founder of scientific metrology in this country and of a scientific metrological institution, the first in Russia, and probably, in the world, - Main Chamber of Measures and Weights, as it was called then, well known now as the D.I. Mendeleev Institute of Metrology (VNIIM), to the 175 anniversary of which is dedicated our International Conference.

In the subsequent years the government of Russia, taking into account the increasing role of measurements in the life of the society, has been adopting important decrees on developing metrology thus contributing to creation of a well-constructed state system of metrological provision for the national economy. This system has gained international recognition and on its basis similar systems of metrological assurance in many other countries have been founded.

The role of Russia in the international measurement system, of which the main coordinator at the international level is the International Bureau of Weights and Measures (BIPM), was accentuated by the election of Prof. M.A. Chatelin (1949), a corresponding member of the Russian Academy of Sciences, and Prof. G.D. Bourdoun (1967), to the honorary membership of the BIPM. In 1956, at the initiative of a number of countries, including the USSR, the International Organization of Legal Metrology (OIML) was created, where this country was initially represented by the Gosstandart of the USSR and, presently, by Rosstandart. Russia actively participates in its activities by heading Secretariats of Technical Committees and Subcommittees in many areas of measurements.

All seven Russian metrology institutes are members or active participants in the activities of regional metrology organizations (RMO): APMP, COOMET, EURAMET and SIM. All Russian NMIs are collective members of the COOMET, and in the APMP Russian is represented by VNIIM. The Russian NMIs are also invited to participate in comparisons organized by other RMOs, such as SIM and EURAMET.

The paper provides information and statistical data illustrating the results of Russia's participation in the work of the international metrology organizations.

175 ЛЕТ ИСТОРИИ ВНИИМ И НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Гоголинский К.В.

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

k.v.gogolinskiy@vniim.ru

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева – один из семи государственных национальных метрологических институтов. ВНИИМ по праву считается колыбелью Национальной системы обеспечения единства измерений. Институт является преемником одного из старейших в мире и первого в России государственного метрологического учреждения – Депо образцовых мер и весов, созданного в 1842 г. В 1892 году Депо возглавил великий русский ученый и общественный деятель Дмитрий Иванович Менделеев. При нем оно было преобразовано в Главную палату мер и весов. Заложенные Менделеевым принципы до сих пор являются основой системы обеспечения единства измерений Российской Федерации.

Развитие национальной эталонной базы – одно из основных направлений деятельности ВНИИМ. Ученые-метрологи были первыми, кто отвечал на вызов времени и открывал новые измерительные возможности, необходимые для экономического развития страны. Активное внедрение метрологических знаний в инженерно-техническую и научно-исследовательскую практику началось вместе с первыми советскими пятилетками. Большой личный вклад в развитие калибровочных методик и их внедрение в машиностроительную отрасль внес директор ВНИИМ Л.В. Залуцкий (1932-1933 гг.). Институт продолжал работать и во время Великой Отечественной войны. Под руководством директора Н.Ф. Гаркуши (1941-1945 гг.) ленинградские метрологи помогали фронту и жителям блокадного Ленинграда. В послевоенные годы институт возглавляли такие видные ученые, как П.М. Тиходеев (1945-1946 гг.), Б.М. Яновский (1946-1948 гг.), А.К. Колосов (1948-1950 гг.), М.Ф. Юдин (1953-1956 гг.). Без малого двадцать лет, с 1956 г по 1975 г., обязанности директора института исполнял лауреат Государственной премии доктор технических наук В.О. Арутюнов. В этот период традиционные направления работ института были существенно расширены и дополнены принципиально новыми для метрологии направлениями, начаты исследования по созданию новой системы эталонов единиц электрических величин. Эти работы были завершены его учениками и последователями под руководством доктора технических наук профессора Ю.В. Тарбеева (1975 – 1997 гг.). В 2000-х годах под руководством кандидата экономических наук, члена президиума Метрологической академии Н.И. Ханова (1997 - 2016 гг.) ВНИИМ активно включился в международный процесс по переопределению основных величин системы СИ.

На сегодняшний день в Российской Федерации существует 164 государственных первичных эталонов, 54 из них хранятся и совершенствуются во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева. Во ВНИИМ находятся 4 из 7 эталонов основных величин международной системы единиц СИ – метра, килограмма, ампера и кельвина. Институт обеспечивает 70 % подтвержденных на международном уровне измерительных возможностей РФ.

Коллективом института созданы новые государственные первичные эталоны электрических величин (вольта и ома) на квантовых эффектах, начаты и продолжаются работы по переопределению температурной шкалы кельвина и килограмма. Современные эталоны основных единиц СИ основаны на самых передовых достижениях фундаментальной науки. Практическая реализация прорывных научных

идей, стабильное развитие Национальной системы обеспечения единства измерений, международный авторитет России являются заслугой многих поколений ученых, работавших во ВНИИМ и создававших Национальную систему обеспечения единства измерений.

В докладе приведена информация об основных этапах развития ВНИИМ и его современном состоянии, эталонной базе, достижениях в области измерительных технологий.

175 YEARS OF HISTORY OF THE D.I. MENDELEYEV INSTITUTE FOR METROLOGY (VNIIM) AND NATIONAL MEASUREMENT SYSTEM

Kirill V. Gogolinskiy

D.I. Mendeleev Institute for Metrology

k.v.gogolinskiy@vniim.ru

D.I. Mendeleev Institute for Metrology is one of the seven National Metrology Institutes of Russia. VNIIM is rightfully considered the cradle of the Russian National Measurement System. The Institute is the successor of the Depot of Measures and Weights, which is one of the oldest in the world and the first State Metrological Institution in Russia created in 1842. In 1892, the Depot was headed by Dmitry I. Mendeleev, an outstanding Russian scientist and public figure. He transformed the Depot into the Main Chamber of Measures and Weights. The principles laid down by Mendeleev are the basis for the system for ensuring the uniformity of measurements in the Russian Federation to the present day.

One of the main activities of VNIIM is development of national measurement standards. Our metrologists were the first to face the challenge of time and to explore new measurement capabilities requisite for economic development of the country. Active introduction of the principles of metrology into engineering and research started with the first Soviet five-year plan. Great personal contribution to the development of calibration techniques and its implementation into machine-building industry was made by the Director of VNIIM L.V. Zalutskiy (1932 – 1933). The Institute continued to work during World War II. Under the direction of N.F. Garkusha (1941 – 1945) metrologists of Leningrad assisted the front lines and residents of the besieged Leningrad. Such prominent scientists as P.M. Tikhodeev (1945 – 1946), B.M. Yanovskiy (1946 – 1948), A.K. Kolosov (1948 – 1950 г), and M.F. Yudin (1953 – 1956) headed the Institute after the War. For nearly twenty years, from 1956 to 1975, duties of the Director of the Institute had been performed by the laureate of the State Prize, Dr. V.O. Arutyunov. During that time, traditional activities of the Institute were substantially expanded and updated to conform to fundamentally new trends in metrology; research on a new system of measurement standards for the units of electrical quantities was initiated. This work was completed by his students and followers under the guidance of Prof. Yu.V. Tarbeev (1975 – 1997). In 2000's, under the guidance of the then Director and a Member of the Presidium of the Academy of Metrology, Dr. N.I. Khanov (1997 – 2016), VNIIM joined in the international work on redefinition of SI base quantities.

Currently, there are 164 National Primary Measurement Standards in the Russian Federation, 54 of which are maintained and updated at the D.I. Mendeleev Institute for Metrology. VNIIM keeps 4 out of 7 standards for the base SI units: meter, kilogram, ampere, and kelvin. The Institute provides 70 % of internationally approved calibration and measurement capabilities (CMCs) of the Russian Federation.

Specialists of VNIIM developed new National Primary Measurement Standards of electrical quantities (volt and ohm) based on quantum effects, and have started working on the redefinition of the kelvin and the kilogram. Modern measurement standards of SI base units

are based on the cutting-edge fundamental research. Application of advanced scientific ideas, sustainable development of the National Measurement System, and the international prestige gained by Russia in science are also the merit of many generations of the VNIIM scientists, who had created and have been maintaining the National Measurement System.

The article provides information on the main stages of the development of the Institute and on its current status, measurement standards, and its remarkable achievements in measurement technologies.

ПЕРЕОПРЕДЕЛЕНИЕ СИ - К МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЕ ЕДИНИЦ НА ОСНОВЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ КОНСТАНТ

Михаэль Сток

Международное бюро мер и весов (МБМВ)

mstock@bipm.org

После многолетних интенсивных исследований, ведущих к значительному прогрессу в определении фундаментальных констант, в настоящее время ожидается, что Генеральная конференция по мерам и весам (ГКМВ) в ноябре 2018 года одобрит пересмотренные определения основных единиц СИ. Определения для килограмма, ампера, кельвина и моля будут основаны на новых физических понятиях, тогда как определения для секунды, метра и канделы будут только переформулированы.

В презентации представлены планируемые изменения и последствия реализации и распространения единиц в различных областях метрологии.

REDEFINITION OF THE SI – TOWARDS AN INTERNATIONAL SYSTEM OF UNITS BASED ON FUNDAMENTAL CONSTANT

Michael Stock

International Bureau of Weights and Measures (BIPM)

mstock@bipm.org

Following many years of intense investigations, leading to significant progress on the determination of fundamental constants, it is now expected that the General Conference for Weights and Measures (CGPM) will approve revised definitions for the SI base units in November 2018. The definitions for the kilogram, the ampere, the kelvin, and the mole will be based on new physical concepts, whereas the definitions for the second, the meter and the candela will only be reformulated.

The presentation will describe the planned changes and the consequences for the realization and dissemination of units in the different fields of metrology.

РОЛЬ АРМР В СОЗДАНИИ ИНФРАСТРУКТУРЫ В ОБЛАСТИ КАЧЕСТВА

Тошиюки Такацуджи

Национальный институт метрологии Японии (NMIJ)

toshiyuki.takatsuji@aist.go.jp

Азиатско-тихоокеанская метрологическая программа (АРМР) - это организация, созданная национальными метрологическими институтами Азиатско-тихоокеанского региона. С момента своего появления сорок лет назад АРМР действовала в области метрологии и способствовала сотрудничеству своих членов. В последние годы

инфраструктура в области качества стала неотъемлемой частью для промышленного и экономического развития, и метрология здесь играет ключевую роль. В докладе будут представлены история, роль и активность АРМР за последнее время.

APMP'S ROLE IN ESTABLISHING QUALITY INFRASTRUCTURE

Toshiyuki Takatsuji

National Metrology Institute of Japan (NMIJ)

toshiyuki.takatsuji@aist.go.jp

Asia Pacific Metrology Programme (APMP) is an organization formed by national metrology institutes in Asia-Pacific region. Since its establishment forty years ago, APMP has been acting in the area of metrology and promoting members' collaboration. In recent years, quality infrastructure becomes known as an essential environment for industrial and economic development and metrology is playing crucial role in it. The history, role, and recent activities of APMP will be presented.

ВЗГЛЯД НА ЗАКОНОДАТЕЛЬНУЮ МЕТРОЛОГИЮ XXI ВЕКА

Стивен Паторэй

Международное бюро законодательной метрологии (МБЗМ)

stephen.patoray@oiml.org

Каждый из нас охотно признает, что предсказать будущее невозможно. Однако, как говорил Стив Джобс, мы можем обернуться назад и увидеть, как ошибки, которые мы совершили, так и на наши успехи. Аналогичным образом, вероятно, можно заглянуть и в будущее, чтобы двигаться вперед в направлении, которое является более осозанным, более логичным, и исход которого более предсказуем.

За годы моей более чем сорокалетней карьеры в индустрии взвешивания, регулировании и разработки стандартов, я видел много изменений, некоторые из которых имеют большое значение для обмена информацией, для коммуникаций, глобальной торговли и т.д. На мой взгляд, за то время когда метрология играла важнейшую роль в каждой из этих областей и, практически, во всех аспектах нашей повседневной жизни, за то же время *законодательная* метрология изменилась очень мало. Поэтому, находясь на той точке развития, где мы находимся сейчас, сначала обернемся и посмотрим на недавнее прошлое, чтобы понять, можем ли мы определить маршрут движения в будущее законодательной метрологии.

A LOOK AT LEGAL METROLOGE IN THE 21st CENTURY

Stephen Patoray

Bureau International de Métrologie Légale (BIML)

stephen.patoray@oiml.org

Everyone will readily admit that it is not possible to predict the future. However, as Steve Jobs implied in one of his famous quotes, it is possible to turn around and look both at the mistakes we made and the progress we achieved in the past. From this insight, it then becomes possible to turn and look to the future, and move forward in a direction which is more informed, more logical and whose outcome is more predictable.

In my forty-plus-year career in the weighing industry, regulation and standards

development, I have seen many changes, some of which are significant in terms of information sharing, communications, global trade and others. Whilst metrology plays a critical role in each of these areas and indeed in almost every aspect of our daily lives, in my opinion *legal* metrology has changed very little during that same time period. So from where we stand today, let us first turn around and take a look at the recent past before turning back to see if we can begin to identify how to move into the future of legal metrology.

ГОРИЗОНТЫ СОВРЕМЕННОЙ МЕТРОЛОГИИ В KRISS

Sang-Ryoul Park, PhD, Yon-Kyu Park, Ph.D.

Корейский исследовательский институт стандартов и науки

srpark@kriss.re.kr

ykpark@kriss.re.kr

В характерной истории развития и приложений метрологии мы сталкиваемся в настоящее время, по существу, с разными областями современной метрологии, которые хотя и довольно сложны, но кажутся очень интересными.

В свете этого в докладе будут рассматриваться две тематические области, представленные в KRISS. Одной из них является развитие био-метрологии, а другая - квантовая метрология.

1) Метрология для биологии бросает нам вызов в связи с чрезвычайной сложностью измеряемых величин, таких как нуклеиновые кислоты, белки и клетки. Иногда просто возникают сомнения, что в этой области может быть возможна метрология, связанная с такими сложными измерительными задачами. Тем не менее, ученые KRISS настойчиво искали измерительные методы, которые позволили бы им точно измерять биологические объекты. Некоторые успешные результаты будут представлены в презентации.

2) Квантовая метрология рассматривается как будущее современной метрологии, но реализация ее потенциала чрезвычайно сложна. Несмотря на это, ученые KRISS упорно работают над реализацией квантового треугольника напряжения, сопротивления и тока. Эта работа требует достижения экстремальных условий эксперимента. В данной презентации будут показаны технические проблемы, возникшие в ходе исследований.

FRONTIERS OF MODERN METROLOGY AT KRISS

Sang-Ryoul Park, PhD, Yon-Kyu Park, Ph.D.

Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS), Daejeon, Republic of Korea

srpark@kriss.re.kr

ykpark@kriss.re.kr

In the significant history of development and applications of metrology, we are now facing substantially different domains in modernized metrology, which are quite challenging, however, seems very interesting.

In light of this, two subject areas would be considered as the representatives in KRISS. One is development of Bio-metrology and the other is Quantum metrology.

1) Metrology for biology challenges us with the extreme complexity of the measurands such as nucleic acids, proteins, and cells. Some just doubt if metrology can be ever possible with such complex measurement targets. However, KRISS scientists have consistently sought out measurement approaches that would enable them to measure biological entities precisely. Some successful results will be introduced.

2) Quantum metrology is regarded as the future of modern metrology, but realization of its potential is highly challenging. Even so, KRISS scientists are working hard to realize the quantum triangle of voltage, resistance, and current. This attempt requires achievement of extreme experimental conditions and settings combined together. The technical challenges involved will be introduced in this presentation.

НАУКА ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ – ДВИЖУЩАЯ СИЛА РАЗВИТИЯ

Теодор Янссен, Мартин Сене
National Physical Laboratory (NPL)
jt.janssen@npl.co.uk
martyn.sene@npl.co.uk

Метрология – это наука об измерениях, а измерения есть повсюду. Они явным или неявным образом присутствуют практически в любом виде человеческой деятельности. Мы часто даже не подозреваем, что вокруг нас постоянно идут измерительные процессы. На самом деле наша экономика, наше качество жизни и, зачастую, сама наша жизнь зависят от измерений, которые мы делаем сами, или которые выполняются по нашему поручению.

Международная система измерений и метрологи, обеспечивающие её функционирование, поддерживают нашу уверенность в надежности этих измерений. Поэтому их работа и услуги, которые они оказывают, имеют исключительное влияние на наше экономическое процветание и качество нашей жизни. В Великобритании на протяжении последних лет Национальная физическая лаборатория (NPL) и Назначенные Институты работают с правительством по созданию национальной стратегии измерений, которая позволит нам максимально повысить влияние метрологии, особенно в четырех важнейших сферах, таких как передовые производства; цифровые и квантовые технологии; энергетика и окружающая среда; науки о живой природе и здравоохранение.

CREATING IMPACT FROM THE SCIENCE OF MEASUREMENT

Theodorus Janssen, Martyn Sené
National Physical Laboratory (NPL)
jt.janssen@npl.co.uk
martyn.sene@npl.co.uk

Metrology is the science of measurement, and measurement is everywhere. It is the often invisible currency exchanged in just about every human activity; most of the time we are unaware of the measurements that are being made all around us. However, our economy, our quality of life and in many cases our very lives depend on measurements that we make or measurements that are made on our behalf. The international measurement system and the metrologists who maintain it enable us all to have confidence in these measurements. Hence the work that metrologists do and the services which metrologists create and deliver have an extraordinary impact on our prosperity and our quality of life. In the UK over the last year NPL and the UKs Designated Institutes have been working with government to develop a national measurement strategy which will enable us to maximize the impact of measurement science, particularly in four sectors; advanced manufacturing; digital and quantum technologies; energy and environment; and life sciences and health.

**ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ
ФУНДАМЕНТАЛЬНОГО И МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
СИСТЕМЫ ГЛОНАСС ВО ФГУП "ВНИИФТРИ"**

Донченко С.И.
ФГУП «ВНИИФТРИ»
director@vniiftri.ru

На сегодняшний день комплексные системы, основанные на использовании сигналов системы ГЛОНАСС, являются ключевым элементом для реализации многих федеральных и региональных программ, направленных на экономическое развитие Российской Федерации и удовлетворение требований потребителей в различных областях. При этом характеристики системы в значительной степени определяются характеристиками широкого круга координатно-временных, частотно-временных, радиотехнических, оптических и других видов средств измерений, входящих в её состав.

ФГУП «ВНИИФТРИ» является ведущей организацией Росстандарта в сфере метрологического обеспечения по основным видам средств измерений, применяемым в системе ГЛОНАСС. В рамках своей деятельности ФГУП «ВНИИФТРИ» проводит работы, направленные как на повышение точностных характеристик средств измерений из состава системы ГЛОНАСС и системы в целом, так и на обеспечение выполнения требований законодательства в сфере обеспечения единства измерений при функционировании системы. Одновременно, ФГУП «ВНИИФТРИ» является ключевым звеном для решения многих задач в рамках комплекса фундаментального обеспечения системы ГЛОНАСС, обеспечивая возможность достижения требуемых характеристик системы.

В 2016 году ФГУП «ВНИИФТРИ» в рамках ФЦП «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012-2020 годы» был завершён ряд работ, направленных на развитие средств фундаментального и метрологического обеспечения системы ГЛОНАСС, в том числе – разработан оптический репер частоты с погрешностью $6,9 \times 10^{-17}$, хранитель единиц времени и частоты на основе фонтана атомов рубидия с нестабильностью менее 2×10^{-16} , стационарные и мобильные комплексы метрологического обеспечения системы ГЛОНАСС в части радиотехнических измерений, в том числе – комплекс контроля энергетических, спектральных и временных параметров навигационных космических аппаратов и комплекс имитации пространственного навигационного поля ГНСС, комплекс средств калибровки навигационной частотно-временной аппаратуры потребителя с погрешностью 0,2-0,5 нс.

В настоящее время ФГУП «ВНИИФТРИ» продолжают работы, направленные на создание средств метрологического и фундаментального обеспечения системы ГЛОНАСС для обеспечения выполнения требований к системе на 2020 год, а также – ведётся подготовка предложений по основным направлениям развития вышеуказанных средств на период до 2030 года.

**CURRENT STATUS AND PERSPECTIVES OF DEVELOPMENT FOR THE
GLONASS SYSTEM FUNDAMENTAL AND METROLOGICAL COMPLEXES
MEANS IN FSUE "VNIIFTRI"**

Donchenko S.I.
FSUE «VNIIFTRI»
director@vniiftri.ru

Today, complex systems based on the use of GLONASS signals, became a key element for the implementation of various federal and regional programs aimed at the economic development of the Russian Federation and at meeting of user's requirements in various fields. At the same time, the characteristics of the system are largely determined by the characteristics of a wide range of coordinate-time, frequency-time, radio engineering, optical and other types of measuring instruments included in its composition.

FSUE "VNIIFTRI" is the leading organization of the Federal Agency on Technical Regulating and Metrology in the field of metrological assurance for the main types of measuring instruments used in the GLONASS system. As a part of its activities, VNIIFTRI carries out actions aimed both at improving the accuracy characteristics of measuring instruments used in the GLONASS system and the system as a whole and at ensuring the system's compliance with the requirements of legislation in the field of ensuring the uniformity of measurements. At the same time, FSUE "VNIIFTRI" is a key element for solving of many tasks within the GLONASS complex of fundamental assurance ensuring the opportunity to achieve the required system characteristics.

In 2016 within the federal program on GLONASS Sustainment, Development and Use for 2012-2020 FSUE "VNIIFTRI" finished several projects aimed on the development of GLONASS metrological assurance and fundamental assurance complexes, including the development of optical frequency standard with the error of $6,9 \times 10^{-17}$, time and frequency keeper on the basis of the fountain of rubidium atoms with the instability less than 2×10^{-16} , stationary and mobile complexes of GLONASS metrological assurance in the field of radiotechnical measurements, including the signal's energy, spectral and temporal characteristics measurement complex for GLONASS satellites and spatially distributed GNSS field imitation system, system of time and frequency navigation equipment calibration with the error of 0,2-0,5 ns.

At present, FSUE "VNIIFTRI" continues its work aimed at the development of the GLONASS fundamental and metrological complexes to achieve the system's requirements for 2020, as well as at preparing of proposals on the main directions for the development of the complexes mentioned above for the period up to 2030.

К ЯДЕРНЫМ ЧАСАМ НА ОСНОВЕ 229ТН

Ларс фон Дер Вензе¹, Бенедикт Сейферл¹, Питер Г. Тироль¹
¹*Университет Людвига-Максимилиана, Мюнхен, Германия*
L.Wense@physik.uni-muenchen.de

Измерение времени всегда было важной задачей для науки и общества. Современные наиболее точные измерения времени и частоты выполняются с помощью оптических атомных часов. Однако может оказаться перспективным другой подход - использование ядерного перехода, так как ядра значительно менее чувствительны к внешним возмущениям, чем атомная оболочка [1, 2]. Поскольку энергия возбуждения чрезвычайно низка, всего около 7,8 эВ [3,4], это позволяет осуществить возбуждение

лазера напрямую. Ядро $^{229\text{m}}\text{Th}$ является подходящим кандидатом на использование при разработке сверхточных ядерных часов, и соответствующая технология может оказаться более совершенной, чем современные технологии атомных часов. В течение 40 лет исследований так и не удалось непосредственно детектировать распад при этом состоянии ядра. Только совсем недавно были проведены измерения, которые позволили напрямую обнаружить распад $^{229\text{m}}\text{Th}$ в основном состоянии [5] и впервые определить параметры распада ядерного изомера [6].

В работе сделан обзор последних достижений в создании ядерных часов, при этом особое внимание уделено непосредственной детекции $^{229\text{m}}\text{Th}$ и определению параметров распада изомера. Также обсуждаются дальнейшие перспективы развития ядерных часов.

При поддержке гранта DFG TH956/3-1 и программы исследований и инноваций Horizon 2020 по соглашению о субсидировании 664732 «nuClock».

Литература

1. E. Peik & C. Tamm. *Eur. Phys. Lett.* 2003. Vol. 61. p. 181.
2. C.J. Campbell et al. *Phys. Rev. Lett.* 2012. Vol. 108. 120802.
3. B.R. Beck et al. *Phys. Rev. Lett.* 2007. Vol. 109. 142501.
4. B.R. Beck et al. *LLNL-PROC-415170*. 2009.
5. L. v.d.Wense et al. *Nature*. 2016. Vol. 533. p. 47-51.
6. B. Seiferle et al. *Phys. Rev. Lett.* 2017. Vol 118. 042501.

TOWARDS A $^{229\text{m}}\text{Th}$ -BASED NUCLEAR CLOCK

Lars von der Wense¹, Benedict Seiferle¹, Peter G. Thirolf^f

¹*Ludwig-Maximilians-University Munich, Germany*

L.Wense@physik.uni-muenchen.de

The measurement of time has always been an important tool in science and society. Today's most precise time and frequency measurements are performed with optical atomic clocks. However, it might be advantageous to use a nuclear transition instead, as the nucleus is significantly less sensitive to external perturbations than the atomic shell [1,2]. Due to its extremely low excitation energy of only about 7.8 eV [3,4], which allows for direct laser excitation, $^{229\text{m}}\text{Th}$ is a suitable candidate for the development of an ultra-precise nuclear clock that may outperform existing atomic clock technology. Within 40 years of past research, no direct decay detection of this nuclear state could be achieved. Only recently, measurements were performed that have led to the direct detection of the ground-state decay of $^{229\text{m}}\text{Th}$ [5] and a first characterization of the isomeric decay parameters [6].

A review of the recent progress towards the development of a nuclear clock will be given, providing a special focus on the direct detection of $^{229\text{m}}\text{Th}$ and the determination of the isomer's decay parameters. Future perspectives for nuclear clock development will be discussed.

Supported by DFG grant TH956/3-1 and Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement 664732 "nuClock".

References

1. E. Peik & C. Tamm. *Eur. Phys. Lett.* 2003. Vol. 61. p. 181.
2. C.J. Campbell et al. *Phys. Rev. Lett.* 2012. Vol. 108. 120802.
3. B.R. Beck et al. *Phys. Rev. Lett.* 2007. Vol. 109. 142501.
4. B.R. Beck et al. *LLNL-PROC-415170*. 2009.

5. L. v.d.Wense et al. *Nature*. 2016. Vol. 533. p. 47-51.
6. B. Seiferle et al. *Phys. Rev. Lett.* 2017. Vol 118. 042501.

НОРМАТИВНО-ПРАВОВАЯ БАЗА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Обысов Н.А.

Государственная корпорация по использованию атомной энергии «Росатом»

NAObysov@rosatom.ru

В докладе дана краткая информация о Госкорпорации «Росатом» и о системе метрологического обеспечения в области использования атомной энергии. Представлена система нормативно-правового регулирования от федерального законодательства до методических рекомендаций. Представлена информация о практической реализации нормативно-правового регулирования обеспечения единства измерений в области использования атомной энергии.

Дана краткая информация о взаимодействии с Росаккредитацией при аккредитации метрологических служб организаций Госкорпорации «Росатом».

Дана информация о Службе стандартных справочных данных в области использования атомной энергии.

REGULATORY FRAMEWORK FOR THE UNIFORMITY OF MEASUREMENTS ENSURING IN THE FIELD OF ATOMIC ENERGY UTILIZATION

Obysov N.A.

The State Corporation for Atomic Energy Utilization «Rosatom»

NAObysov@rosatom.ru

The report provides a summary of the State Corporation "Rosatom" and the system of metrological assurance in the field of atomic energy utilization. A system of legal regulation from the Federal legislation up to the guidelines is presented. Information about practical implementation of the legal regulation of ensuring the uniformity of measurements in the field of nuclear energy utilization is provided.

Brief information on cooperation with the Federal accreditation service for the accreditation of organizations of the State Corporation "Rosatom" metrological services is presented.

Information about the Service of standard reference data in the field of nuclear energy utilization is given.

**МОДЕЛЬ РЕФЕРЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КЛИНИКО-ДИАГНОСТИЧЕСКИХ
ЛАБОРАТОРИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ С ВКЛЮЧЕНИЕМ В
МЕЖДУНАРОДНУЮ СИСТЕМУ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА**

Эмануэль В.Л.¹, Гоголинский К.В.², Конопелько Л.А., Суворов В.И.², Кустова В.Н.²,
Черничук О.В.³

¹ГБОУ ВПО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский
университет им. И.П. Павлова» Минздрава России,

²ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева»,

³АУ «Югорский центр профессиональной патологии»

Принципиальная особенность измерений, используемых в клинической лабораторной диагностике, заключается в гетерогенности биоматериалов, содержащих наряду с измеряемым аналитом, «конкомитанты» и «растворители», которые составляют «матрицу» пробы. Кроме того, при химических исследованиях, к которым относится большая часть лабораторных исследований имеются технические средства, непосредственно осуществляющие измерения физического свойства пробы биологического материала, как правило, специально модифицированного различными компонентами химических реакций – реагентами. Такая аналитическая система основана на сравнении физических свойств конкретной биологической пробы, с аналогичными характеристиками специальной пробы, максимально приближенной по своим свойствам к исследуемой, прежде всего, по составу матрицы, но с заведомо известным содержанием искомого аналита.

Такой образец сравнения, «калибратор» аналитической системы, представляет собой «стандартный образец» и является носителем единицы измерения, обеспечивающим прослеживаемость измерений в лабораторной медицине.

Среди наиболее актуальных проблем лабораторной медицины является проблема гармонизации результатов лабораторных исследований. Процесс гармонизации может осуществляться с помощью различных методологических подходов межлабораторного сравнения с применением эталонов, стандартных референтных материалов и разнообразия программного обеспечения. Обеспечение метрологической корректности результатов лабораторных исследований – это комплексная задача, которая требует комплексного межведомственного решения. Наиболее результативным направлением обеспечения аналитического качества в отечественной лабораторной службе и, этим снижением рисков медико-экономической деятельности учреждений здравоохранения является метрологическая аттестация методик выполнения измерений.

Создание межведомственной референтной системы обеспечения прослеживаемости измерений в КДЛ с включением ее в международную систему сличений обуславливает и медико-экономическая эффективность принципов менеджмента качества в области лабораторной медицины.

Нами разработана комплексная модель обеспечения метрологической прослеживаемости результатов лабораторных исследований в медицинской лаборатории на примере ряда биохимических параметров.

Референтным методом явился хромато-масс-спектрометрический метод с изотопным разведением. Взаимодействие с международным Объединенным комитетом по метрологической прослеживаемости в лабораторной медицине (JCTLM) и Международной кооперацией по лабораторной аккредитации (ILAC) обеспечено участием ВНИИ метрологии им. Д.И. Менделеева. В качестве опорного стандартного образца использованы стандарты SRM (NIST).

Проведена валидация биохимических измерений на различных уровнях лабораторной диагностики, включая т.н. «диагностику в месте лечения».

Разработаны принципы системы управления факторами, влияющими на неопределенность измерений и обеспечения требуемого качества измерений на всех этапах работы лаборатории на основе стандартов ГОСТ Р ИСО.

Разработана и апробирована программа адаптации международных стандартов ISO и механизм внедрения требований ГОСТ Р ИСО в сфере лабораторной медицины для учреждений здравоохранения и производителей изделий медицинского назначения для диагностики ин-витро.

Разработанная комплексная модель обеспечения метрологической прослеживаемости результатов лабораторных исследований соответствует клиническим требованиям неопределенности измерений, основанных на предельно допустимых значениях смещения и общей аналитической вариации, рассчитанных из коэффициентов внутри- и межиндивидуальной биологической вариации аналита.

Обеспечение единства измерений при исследованиях в медицинских лабораториях выполнимо при сочетании применения продукции, выпускаемой в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 13485-2007 и деятельности лаборатории в соответствии с требованиями ГОСТ-Р ИСО 15189-2009.

MODEL REFERENCE SYSTEM FOR CLINICAL-DIAGNOSIS LABORATORIES OF THE RUSSIAN FEDERATION WITH INCLUSION OF THE INTERNATIONAL SYSTEM OF QUALITY MANAGEMENT

V.L. Emanuel¹, K.V.Gogolinsky², L.A. Konopelko², V.I. Suvorov², V.N. Kustova², O.V. Chernichuk³

A fundamental feature of measurements in the clinical diagnostics is the heterogeneousness of the biological material, which do not only contain the analyt, but “concomitants” and “solvents” as well, which form the “matrix” of the sample. Besides, at chemical analysis, which essentially comprises the majority of all the laboratory research, there are technical means involved, which accomplish the immediate measurements of the physical qualities of the biological sample, which, as a rule, is already premodified by different components of chemical reactions – reagents. Such analytical scheme is based on the comparison of physical qualities of a particular biological sample to the relevant characteristics of a specially prepared sample, whose qualities are as close to those of the studied sample, first of all, in terms of matrix composition, with the only difference being that the quantity of analyt is known beforehand.

Such reference sample, known as calibrator of the analytical system, is the “Standard Sample” and is a physical carrier of the unit of measurement, which ensures measurement traceability in clinical research.

Among some of the most relevant issues of laboratory medicine is the issue of consistency of the the result of clinical research. Consistency may be assured through different methodological approaches of interlaboratory comparisons against the standard samples, standard reference materials and a variety of software. Metrological correctness provision for the results of laboratory research is a complex task, which requires a complex interinstitutional solution.

Metrological certification of the methods of laboratory research is apparently the most effective way of ensuring the analytical quality in the national laboratory infrastructure, prospectively leading to a decrease in the risk involved in the healthcare industry.

Creating an inter-institutional system for ensurance of traceability of measurements taken within the national analytical-diagnostic laboratory infrastructure, with the aim of entering the international system of comparative interlaboratory cross-references is also

reasoned for by the medical-economical principles in the field of laboratory medicine/

A complex model has been developed by us for ensuring the metrological traceability against a number of samples of biochemical parameters.

As a reference method, a chromato-mass-spectrometric method with isotopic dilution was chosen. SRM (NIST) standards were chosen as the reference standard sample.

Participation in the project of Mendeleev VNIIM ensured the possibility cooperation with JCTLM and ILAC.

Validation of biochemical measurements was carried out at different levels of diagnostic, including so called "point-of-care diagnostics".

The principles for the control system for factors influencing the uncertainty of measurements and provision for the proper measurement quality at all stages of operation of the laboratory according to GOST R ISO.

An adaptation scheme was designed and tried for the adaptation of the international ISO standards and the framework for introducing of the GOST R ISO requirements in the sphere of laboratory medicine into the practice of healthcare facilities and manufacturers of equipment for the in-vitro diagnostics. The developed complex model of providing metrological traceability of the results of laboratory research meets the clinical demands for the uncertainty in the measurements, based on the maximum permissible values for deviation and total analytical variation, calculated from the inter- and inner-individual biological variation of analyt.

Unity of measurements is achievable on condition that equipment and materials used in a laboratory as well as the practices of a laboratory meet the GOST R ISO 13485-2007 and 15189-2009 requirements, respectively.

ИЗМЕРЕНИЯ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ НЕФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН. ОСОБЕННОСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ПОДХОДА К РАСКРЫТИЮ ТАЙН МУЗЫКИ

Р.Е.Тайманов

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

taymanov@vniim.ru

Массовая миграция населения и глобализация связей между научными, учебными, производственными и торговыми организациями вызвали потребность во взаимном признании диагнозов заболеваний, дипломов в области образования, оценок качества товаров (вкус, комфортность, красота) и т.д. Единые представления о нефизических, точнее, «нематериальных» (хотя и обусловленных материальными процессами) свойствах, характеризующих особенности человека (здоровья, знания, способности и т.п.), культуру, менталитет и другие особенности общества, стали необходимыми для совместной работы различных организаций. Наступающая технологическая революция «Индустрия 4.0» ситуацию обостряет.

Единственным языком, в котором обеспечивается единство представления о «нематериальных» свойствах и их значениях, является язык измерений. Применению измерений в сфере оценки «нематериальных» свойств способствуют сравнительно недавние изменения в метрологической терминологии. Переход от описательной трактовки таких свойств к определению величин, их характеризующих (как правило, многопараметрических), а затем и к измерению их значений, предполагает разработку соответствующих моделей измерений. Возможны различные подходы к их построению, например, выявление всех основных параметров, формирующих

измеряемую величину, с указанием их условного вклада в нее на различных участках диапазона измерения.

Однако наибольший интерес представляет подход, предполагающий разработку модели, отображающей «механизм» формирования многопараметрической величины, которую необходимо измерить. Такая модель должна описывать структуру совокупности операций, реализующих переход от ряда материальных величин, воздействующих на вход модели, к многопараметрической «нематериальной» величине на выходе модели. Эффективность подобной модели обусловлена тем, что такая модель позволяет:

1. выявить значимость каждого из непосредственно измеряемых параметров, что дает возможность объективно оценить вклад неопределенности его измерения в конечный результат;

 ↙ минимизировать затраты при проведении измерений с большим количеством участников;

 ↙ найти новые способы воздействия на многопараметрическую «нематериальную» величину.

Разработка модели измерения «нематериальной» многопараметрической величины сложна и ответственна, как правило, должна выполняться метрологами на основании теоретического анализа и с привлечением специалистов из других областей науки. Первоначально предложенная модель должна последовательно уточняться по результатам экспериментальных исследований. Но большая трудоемкость оправдана перспективами использования таких разработок в медицине и робототехнике, в производстве товаров и в обучении, в технике связи и даже для формирования способностей человека.

В качестве примера рассмотрен процесс разработки модели измерения ожидаемых эмоций, вызванных определенным акустическим, в частности, музыкальным воздействием. Отмечено, что первоначально модель создавалась в инициативном порядке во ВНИИМ, позднее разработка была поддержана грантом РФФИ, выполняется коллективом с участием метрологов, математика-программиста, нейрофизиологов, психологов, композитора, арт-терапевта. Рассмотрены гипотезы и известные данные, положенные в основу модели, приведены определения базовой эмоции и эмоциональных образов, показана структура разработанной модели, результаты ее экспериментальной проверки. Показаны возможности использования модели для применения в музыковедении и филологии (для обучения иностранным языкам и автоматического перевода речи), а также в медицинской диагностике, в частности, в младенческий период, наконец, в технике связи.

MEASUREMENTS OF MULTIDIMENSIONAL NON-PHYSICAL QUANTITIES. CHARACTERISTIC FEATURES AND POSSIBILITIES WITH THE APPROACH TO UNCOVERING MUSIC MYSTERIES AS AN EXAMPLE

Roald Taymanov

D.I. Mendeleev Institute for Metrology

taymanov@vniim.ru

Mass population migrating and globalization of connections between scientific, educational, industrial, and trade organizations, have resulted in the need for mutual recognition of medical diagnosis, professional education diploma, product quality estimation,

etc. Identical ideas of non-physical, more accurately, “non-material”, properties characterizing man’s features (actually, they are specified by material processes) such as health, knowledge, talents, and so on as well as culture, mentality and other society features became an integral part for providing joint work of various organizations. The coming technological revolution “Industry 4.0” aggravates this situation.

The measurement language is the only one that ensures the identical concept of “non-material” properties and their values. Recent changes in the metrology terminology contribute to measurement application within the sphere of “non-material” property estimation. Moving from a descriptive interpretation of such properties to definition of quantities (as a rule they are multidimensional) characterizing these “non-material” properties and then to measurement of their values, it is necessary to develop corresponding measurement models. In the course of the model constructing, various approaches are acceptable, e.g., identification of all the basic parameters forming a measurand with indication of their hypothetical contribution in it within various the parts of a measurement range.

However, the approach associated with the “mechanism” of multidimensional measurand formation is of special interest. Such a model should describe a structure of operation set realizing a transition from a number of material quantities influencing the input of the model to a multidimensional “non-material” quantity at its output.

The efficiency of such a model lies in the ability:

- to determine the importance of each parameter being measured providing the possibility to objectively evaluate how its uncertainty influences the final measurement result;
- to minimize the cost if measurements involve the great number of participants;
- to find new effective methods to influence the multidimensional “non-material” quantity.

The development of a model for measuring “non-material” quantity is complicated and responsible. As a rule, it should be based on theoretical analysis and fulfilled by metrologists alongside the experts in other science fields. An initially proposed model should be refined gradually according to the results of experimental investigations. This high workload is justified by the possible future applications of such developments in medicine, robotics, manufacture, education, communication techniques, and even for formation of man’s talents.

The process of model development is illustrated by the case of measuring expected emotions caused by acoustic impacts, in particular, music. At first, it was a VNIIM proactive work, supported later by the RFBR. The team being involved includes metrologists, neurophysiologists, psychologists, a mathematician-programmer, composer, and art-therapist. The paper considers hypotheses and well-known data being the basis of the model, definitions of basic emotions and emotional images, a structure of the developed model, and results of its experimental investigations.

The model can be applied in musicology, philology (for teaching foreign languages alongside contributing to computer interpretation of speech), medical diagnostics (in particular, in early childhood) as well as telecommunications.

СЕКЦИЯ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕТРОЛОГИЯ» SECTIONAL MEETING 01 «THEORETICAL METROLOGY»

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕТРОЛОГИЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВА

В.А. Грановский

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»

vgranovsky@eprib.ru

Доклад посвящен анализу проблем и перспектив развития теоретической метрологии (ТМ), исходя из ее структуры.

I Фундаментальное противоречие ТМ, а возможно, и метрологии в целом, служащее источником ее развития, состоит в следующем:

ТМ, как любая теория, представляет собой внутренне согласованную систему, которая должна развиваться в соответствии со своей внутренней логикой и определять развитие национальной системы измерений (НСИ), или метрологической практики, посредством системы стандартизации.

В то же время, развитие ТМ зависит от человеческой воли и может быть ускорено, замедлено и остановлено.

Со своей стороны, НСИ развивается в силу запросов экономики, предъявляемых субъектами техники и производства. Иными словами, развитие НСИ происходит спонтанно и хаотично, если не предприняты меры по его организации.

Система стандартизации как раз может упорядочить развитие НСИ. Однако если стандартизация осуществляется не на фундаменте ТМ, она становится «пустым» инструментом, создающим лишь иллюзию упорядоченности.

Указанные выше запросы на развитие НСИ адресуются, в том числе, ТМ. Если ТМ, обобщая запросы, принимает их к исполнению, то теоретические результаты приобретают практическую направленность и могут становиться базой для стандартизации. В противном случае, реализуется формальная стандартизация, не имеющая практической ценности.

Таким образом, фундаментальное противоречие ТМ состоит в том, что ее внутренняя логика, если она оторвана от метрологической практики, может затормозить развитие или направить его в сторону отличную от направления вектора развития НСИ.

II Структура ТМ задается ее определением:

Метрология- это наука об

1 измерениях,

2 способах достижения требуемой точности измерений,

3 методах и средствах обеспечения единства измерений.

Соответственно, имея в виду перспективу, следует говорить о наблюдаемых и предполагаемых трансформациях указанных целевых элементов метрологии.

Что касается **измерений**, то представляется, что реальная проблематика, которая диктуется потребностями НСИ, должна быть связана со следующими видами измерений:

1.1 Измерения нефизических величин

1.2 Измерения сверхмалых величин

1.3 Измерения сверхбольших величин

1.4 Измерения сверхточных величин,

Также, спектр задач ТМ должен включать в себя верификацию модели измеряемой величины.

Анализируя **способы достижения требуемой точности**, следует начать с констатации того, что этот раздел ТМ не принадлежит ей полностью. Более того, ТМ здесь выступает заемным инструментом для конкретной прикладной области, в которой только могут, и должны быть разработаны указанные способы.

Следовательно, общая методологическая проблема состоит в организации взаимодействия метрологии с прикладной областью.

Если вести речь о том, что может метрология сама по себе, то нужно отметить следующее:

2.1 Выявление, путем анализа физики конкретного вида измерений, сути метода измерений как сравнения величины с единицей.

Примерами такого рода могут служить:

1) Угловые измерения, где на основе фиксации естественной единицы – полного угла – выявляется суть метода измерений как приема использования конкретного способа деления полного угла.

2) Измерения концентрации, где, аналогично предыдущему, фиксируется естественная единица – 100 %-ная доля - и матрица вещества разделяется, как минимум, на две части – контролируемый компонент и примеси.

Рассматривая **методы и средства обеспечения единства измерений**, следует выделить две внутренне связанные проблемы:

3.1 Децентрализация как переход к национальному эталону единицы величины, формируемой, аналогично международным единицам, с помощью комплекса эталонов.

3.2 Методология сравнения методов (методик) измерений величины – на основе результатов 2.1.

В докладе последовательно рассматривается содержание проблем, сформулированных в разделах 1.1-1.5; 2.1; 3.1, 3.2. Оценивается перспектива, связанная с решением проблем.

THEORETICAL METROLOGY: PROBLEMS AND PROSPECTS

Valerii A. Granovskii

Concern CSRI Elektropribor,

St. Petersburg, Russia

vgranovsky@eprib.ru

The presentation offers analysis of problems and future developments in theoretical metrology (TM) reasoning from its structure.

I The fundamental self-contradiction of the TM, and perhaps of metrology as a whole, which is the force behind its development is as follows:

TM, as any theory, represents an inwardly coordinated system that is developed in accordance with its own intrinsic logics, and which affects national measurement system (NMS), or metrological practice, through the system of standardization.

At the same time, TM development is driven by the man, and can be accelerated, slowed, or stopped.

On the other hand, NMS develops in response to the economy demands which originate from the subjects of technology and production. In other words, NMS development is spontaneous and chaotic unless it gets organized.

It is a standardization system that can shape the NMS development. However, if it does not root in TM, the latter becomes a non-applicable tool which only creates an illusion of order and logics.

The above-mentioned demands for the development of NMS also affect TM. If TM

aims at meeting the demands, theoretical results can find practical applications, and become a basement for standardization. Otherwise, standardization turns into a formal operation without valuable practical outcomes.

Therefore, the fundamental inner contradiction of TM is that its intrinsic logic, if separated from metrological practice, can impede the development or diverge it from NMS development vector.

If TM structure is predefined by its definition:

Metrology is the science of

1. measurement,
2. methods for achieving a required measurement accuracy,
3. methods and means for measurements uniformity assurance.

Accordingly, bearing prospects in mind, we should speak about transformations, both current and anticipated of the stated target metrological elements.

As to measurement, it seems that the actual set of problems posed by NMS demands must be connected with the measurements of -

- 1.1 Non-physical values
 - 1.2 Extra-small values
 - 1.3 Extra-large values
 - 1.4 Extra-precise values
- and include the problem of
- 1.5 verification of a model of a measured value, as well.

Starting the analysis of methods for a required measurement accuracy, it first has to be recognized that the relative branch of TM don't fully pertain to TM. Moreover, here, TM acts as a borrowed tool for the area of applied science, in which only the mentioned methods can and should be developed.

Therefore, the general metrological problem lies within linking theoretical metrology to the field of applied science.

Speaking about what metrology can do by itself, we will arrive at this:

2.1 Revealing, by analysis of the physical nature of a kind of measurement, the essence of a measurement method as a comparison of the value with a measurement unit.

For instance:

- 1) Angle measurement, in which, on the basis of determining a natural unit, which is a complete angle, the essence of the measurement method is defined as a usage of a particular way to divide the complete angle.
- 2) Concentration measurement, in which, as well, the natural unit is fixed, which is 100 percent part, and matrix of the matter is divided into two parts at the least, which are the measured component and admixtures.

Considering methods and means for measurement uniformity, one should focus on two interrelated problems:

3.1 Decentralization, understood as the transition to the national reference standard of the quantity unit, which, like international units, is formed by means of a set of reference standards.

3.2 Methodology of comparison methods and procedures implied in 2.1.

In the presentation, the problems posed in the sections 1.1-1.5; 2.1; 3.1, 3.2 are discussed consequently. The prospects for the solution of the problems are evaluated, as well.

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Т.Н. Сирая

*АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 197046, С.-Петербург, Малая
Посадская 30.
tnsiraya@gmail.com*

1 Методы обработки данных при измерениях составляют важный раздел теоретической метрологии, который выделяется своим предметом, задачами и методологией. В докладе выделены отличительные черты этого раздела, в том числе, значимость анализа и оценивания погрешностей, принципиальная роль метрологических моделей. Одним из ключевых моментов является оценивание систематических погрешностей.

Развитие методов обработки данных при измерениях за последние полвека (прежде всего, в работах ВНИИМ им. Д. И. Менделеева) и формирование раздела теории измерений прослеживается на основе развития метрологических моделей данных. Выделяются два аспекта моделей данных, связанные с погрешностями и полезными сигналами.

2 Важнейшим этапом является разработка методов оценивания систематических и суммарных погрешностей на основе их рациональной рандомизации [1]. Разработанный для прямых измерений, этот подход далее был распространен на другие категории измерений, прежде всего, на косвенные измерения [1].

3 Значимость и разнообразие метрологических моделей еще более наглядно проявляются применительно к построению функциональных зависимостей по экспериментальным данным. Традиционно для этого используются регрессионные моделии метод наименьших квадратов (оптимальный, если аргументы известны точно). При наличии погрешностей аргументов следует использовать различные конфлюентные модели и соответствующие им разнообразные конфлюентные методы обработки данных [2, 3]. Другие направления расширения классической модели основаны на робастном и непараметрическом подходах [2].

В докладе рассмотрены отмеченные направления развития метрологических моделей данных, возможные для использования в теории измерений.

4 Ввиду многовариантности и сложной структуры множества моделей данных, для систематизации и сопоставления качества алгоритмов обработки данных полезен подход, основанный на аттестации алгоритмов обработки данных [4]. В этом подходе реализован множественный принцип, а именно - рассматривается множество моделей данных и набор показателей качества алгоритмов. Такой подход согласуется с идеологией современного прикладного анализа данных [5].

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект 16-08-00801).

Литература

- 1 Рабинович С. Г. Погрешности измерений. – Л.: Энергия, 1978.
- 2 Грановский В. А., Сирая Т. Н. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. – Л.: Энергоатомиздат, 1990.
- 3 Семенов Л. А., Сирая Т. Н. Методы построения градуировочных характеристик средств измерений. – М.: Изд. Стандартов, 1986.
- 4 Тарбеев Ю. В., Челпанов И. Б., Сирая Т. Н. // Измерения, контроль, автоматизация. – 1991 – № 3.

5 Мостеллер Ф., Тьюки Дж. Анализ данных и регрессия – М.: Финансы и статистика, 1982.

METHODS OF DATA PROCESSING IN MEASUREMENTS AND METROLOGICAL MODELS

T.N. Siraya

*Concern CSRI Elektropribor, JSC, 30, Malaya Posadskaya St., 197046, St. Petersburg,
Russia
tnsiraya@gmail.com*

1 Methods of data processing in measurements constitute an essential part of measurement theory, with its own subject matter, problems and methodology. In the paper distinctive features of this section are outlined, including primary importance of error investigation and fundamental significance of metrological models. One of the key points is the systematic errors evaluation.

Evolution of data processing in measurements in the past few decades (primarily, research in D.I. Mendeleev Institute for Metrology) is exposed through the expansion of metrological models for data. Thus, two main aspects of data models are used, these are error models and signal models.

2 Method for systematic errors evaluation was the crucial step in research [1]. It was initially devised for direct measurements, and later it was extended to other kinds of measurements, first of all – to indirect case [1].

3 Significance and diversity of metrological models become quite clear at the case of fitting of functions based on experimental data. Classic regression model and the least squares method are commonly employed in this case. But in practice several kinds of extended models are needed, such as confluent, robust and non-parametric models [2, 3]. In the paper similar extended models are considered, which are of metrological interest.

4 Since the manifold of metrological models is vast and varied, the certification scheme is useful as a basis for studying the quality of data processing algorithms [4]. This approach is in agreement with basic concepts of modern data analysis [5].

This work was supported by Russian Foundation for Basic Research, project 16-08-00801.

References

- 1 Rabinovich S.G. Measurement Errors. – Leningrad, 1978.
- 2 Granovsky V.A., Siraya T.N. Methods for Data Processing in Measurement - Leningrad, 1990.
- 3 Semenov L.A., Siraya T.N. Methods for Calibration Curves Fitting – Moscow, 1986.
- 4 Tarbeyev Yu.V., Chelpanov I.B., Siraya T. N. // Izmerenia, Control, Automatization –1991, № 3.
- 5 Mosteller F., Tukey J. Data Analysis and Regression – NY, 1980.

О ВЫРАЖЕНИИ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОЧНОСТИ

А.Г. Чуновкина

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева», Санкт-Петербург, Россия

A.G.Chunovkina@vniim.ru

Статья посвящена сравнительному анализу различных подходов и способов выражения точности измерений. Основной побудительной причиной написания данной статьи является актуальность вопроса о корректном (обоснованном) применении методов теории вероятности и математической статистики для оценивания точности измерений. Поводом послужила постановка Рабочей Группой 1 Объединенного Комитета по Руководствам в Метрологии (WG 1 JCGM) вопроса о пересмотре Руководства по выражению неопределенности в измерении» (GUM) [1]. Главной причиной пересмотра GUM названа недостаточная строгость изложения концепции неопределенности измерения на основе теоретико-вероятностных методов.

В конце 2014г на обсуждение метрологической общественности был предложен проект «нового» GUM. Проект вызвал широкое обсуждение и неоднозначную реакцию, и в данное время он находится на доработке. Поэтому на данном этапе представляется своевременным еще раз вернуться к обсуждению вопросов о соотношении понятий точность-погрешность-неопределенность, способах выражения и оценивания точности измерений.

При обсуждении важно в первую очередь учитывать два аспекта: выбор показателей точности измерений и обоснованные методы их оценивания. Эти два аспекта, конечно, взаимосвязаны. При выборе показателей точности необходимо ориентироваться на простые и универсальные методы оценивания, разработанные в теории вероятностей и математической статистике. Но также при выборе показателей точности необходимо учитывать дальнейшее применение результатов измерений. В частности, если вычисление неопределенности нашло гармоничное применение при калибровке, то в задачах оценивания точности методов/результатов и средств измерений сохраняется необходимость прояснения отношения количественных мер правильности, прецизионности и неопределенности измерений. Прояснение этих вопросов позволит четко обрисовать область применения неопределенности и ее место среди количественных мер (характеристик) точности измерений.

В докладе рассматриваются такие метрологические задачи, как валидация методик калибровок, аттестация методик измерений, применение результатов измерений при оценке соответствия.

ON EXPRESSION OF MEASUREMENT ACCURACY AND USING ACCURACY CHARACTERISTICS

A. Chunovkina

D.I. Mendeleev Institute for Metrology, St.Petersburg, Russia

A.G.Chunovkina@vniim.ru

The paper is dedicated to a comparative analysis of different approaches and ways for expressing the accuracy of measurement. The main motivation for writing this article is the relevance of the problem concerning the sound application of methods of the theory of probability and math statistics for evaluating measurement accuracy. The stimulus for this is the current revision of the Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM) [1] raised by Working Group 1 of the Joint Committee on Guidelines in Metrology (WG 1

JCGM). The GUM's internal inconsistency regarding the application of probabilistic methods for uncertainty calculation is claimed as the main reason for the revision.

At the end of 2014, a “new GUM” draft was proposed to the metrological community for discussion. The Draft caused a wide discussion and an ambiguous reaction. At present, it is being finalized. Therefore, it seems timely to revisit the issues of inter-relationship between the accuracy-error-uncertainty concepts, as well as of the ways of expressing and estimating the measurement accuracy. When discussing, it is important to take into account the choice of quantitative expressions for measurement accuracy and valid methods for their evaluation. Obviously, the two aspects are interrelated.

When choosing quantitative measures for measurement accuracy, it is necessary to focus on the simple and universal methods developed in the theory of probability and math statistics. Moreover, it is necessary to take into account further applications of the measurement results, too. In particular, while the calculation of uncertainty has found a harmonious application in the calibration, expression of the accuracy of measurement procedure / result and of measuring instruments needs further clarification on the relation between quantitative measures of the trueness, precision and measurement uncertainty. Clarification of these issues will make it possible to clearly describe the scope of applications of the uncertainty and its place among the quantitative measures (characteristics) for measurement accuracy.

In the report, consideration is given to such metrological tasks as validation of calibration procedures, certification of measurement methods, and application of measurement results in conformity assessment. In this context, the necessity of revision of the Guide to the expression of measurement uncertainty is discussed.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ В ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧАХ МЕТРОЛОГИИ

Ефремова Н.Ю.

Белорусский государственный институт метрологии
efremova@belgim.by

Концепция неопределенности измерений совершила настоящую революцию в современной метрологии. С момента первого издания GUM [1] совершенствование способов оценивания неопределенности стало одной из главных задач теоретической метрологии. Однако научный интерес к вопросам применения неопределенности для решения прикладных задач в метрологии проявился только в последнее время.

Сейчас широко признана важность принятия во внимание неопределенности как основополагающего элемента метрологической прослеживаемости результатов измерений как в области метрологии, так и в области аккредитации лабораторий. Благодаря требованиям ISO/IEC 17025 детальное оценивание и использование неопределенности превратилось в обычную практику для всех калибровочных и многих испытательных лабораторий. JCGM 106 [2] показал возможность и преимущества от применения в различных областях человеческой деятельности концепции неопределенности с целью оценки соответствия различных объектов заданным требованиям, в том числе и метрологических. Новое Руководство OIML [3] предоставляет детальные инструкции по внедрению положений концепции неопределенности измерений в способы решения прикладных задач для целей законодательной метрологии, таких как испытания типа, а также поверка СИ.

В докладе рассматриваются проблемы, связанные с правильным и эффективным использованием неопределенности измерений в различных видах метрологических

задач, таких как калибровка, испытания типа, поверка и метрологическая аттестация СИ. При калибровке СИ выполняются измерения метрологических характеристик с обязательным оцениванием и указанием в свидетельстве калибровки неопределенности измерений, величина которой зависит от многих факторов, главным из которых является требование заказчика. При оценке типа, а также при поверке СИ главной целью является принятие решения о соответствии СИ метрологическим требованиям на основании полученных результатов измерений. Такие требования, как правило, представлены в спецификации в виде максимальных допускаемых погрешностей (МРЕ). Очевидно, что такие решения не могут являться полностью однозначными, так как они гарантируют лишь некоторую степень уверенности в том, что СИ соответствует требованиям. При повсеместно используемом так называемом «классическом» подходе риски принятия неверных решений в явном виде не оцениваются, но считается, что они сводятся к минимуму за счет назначения МРЕ с запасом или использования эталона, имеющего точность в 3-5 раз превышающую точность поверяемого СИ. Использование концепции неопределенности измерений позволяет на научной основе точно рассчитать значения вероятностей и/или рисков принятия неверных решений при оценке типа и поверке СИ, что в итоге приведет к повышению достоверности выводов, осуществляемых в отношении проверяемых СИ.

Литература

1. Guide to Expression of Uncertainty in Measurement (GUM), Geneva, 1993.
2. JCGM 106:2012 Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment.
3. OIML G 19:2017 The role of measurement uncertainty in conformity assessment decisions in legal metrology.

USE OF MEASUREMENT UNCERTAINTY IN APPLIED PROBLEMS OF METROLOGY

Efremova N.Yu.

Belarusian State Institute of Metrology

efremova@belgim.by

The concept of measurement uncertainty has revolutionized modern metrology. Since the initial edition of GUM [1] the improvement of approaches to uncertainty evaluation has become one of the main problems for theoretical metrology. However, scientific interest in applying uncertainty to the practical tasks of metrology has only been shown recently.

Nowadays, the necessity to consider measurement uncertainty is widely recognized as being essential for insuring metrological traceability of measurement results in both the metrology and laboratory accreditation fields. Due to the requirements of ISO/IEC 17025 it has become common practice to perform a detailed evaluation and use of measurement uncertainty in all calibration and many testing laboratories. JCGM 106 [2] has demonstrated the possibility and benefits of the concept of measurement uncertainty in various areas of human activity to assess a conformity of many items including metrological objects with specified requirements. The new OIML Guide [3] provides detailed instructions on how to incorporate the concept of measurement uncertainty into the certain measurement scenarios used for legal metrology purposes, such as type evaluation, as well as verification of measuring instruments.

This report addresses the issues of correct and effective usage of measurement uncertainty in various types of metrological tasks, such as calibration, type evaluation,

verification and metrological certification of measuring instruments. While performing calibration of the measuring instrument, metrological characteristics are measured and measurement uncertainty must be evaluated and reported in the calibration certificate. The value of the measurement uncertainty depends on many factors, the main of which is the customer's requirement. During the type evaluation and for the verification of measuring instruments the main objective is to make a decision about conformity of the measuring instrument with the specified requirements, basing on the obtained measurement results. These requirements are usually presented in the specification in the form of maximum permissible errors (MPE). Obviously, these decisions cannot be treated as totally valid, as they only guarantee a certain possibility that the measuring instrument meets the MPE requirements. When the so-called «classical» approach is widely used, the risks of the incorrect decisions are not explicitly evaluated, but it is believed that they are minimized by either assigning conservative MPEs or by using a measurement standard whose accuracy is 3-5 times higher than the accuracy of the measuring instrument being verified. When type evaluation or verification is conducted, it is possible to accurately calculate the probabilities and/or risks of making incorrect conformity decisions on the scientific basis by using the concept of measurement uncertainty, so that validity of the decisions on conformity for the measuring instrument at test will increase significantly.

References

1. Guide to Expression of Uncertainty in Measurement (GUM), Geneva, 1993.
2. JCGM 106:2012 Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment.
3. OIML G 19:2017 The role of measurement uncertainty in conformity assessment decisions in legal metrology.

ВНУТРЕННИЕ ПРОТИВОРЕЧИЯ КОНЦЕПЦИИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ, ЗАТРУДНЯЮЩИЕ ЕЕ ПРЕПОДАВАНИЕ В ВУЗЕ

В.Ш. Сулаберидзе¹, Т.П. Мишура¹

*¹ Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (СПбГУАП)
sula_vlad@mail.ru*

В сообщении указываются несоответствия, содержащиеся в документах JCGM и касающиеся декларируемых преимуществ концепции неопределенности измерений над теорией погрешности результата измерений. Это относится, в основном, к проблемам «улучшения оценки» и трансформирования функции плотности вероятностей. Отмечается, что некоторые несоответствия и внутренние противоречия концепции затрудняют ее преподавание в вузах. Подчеркивается важность грамотного применения разработанных в Рекомендациях по метрологии Р 50.01.033 и Р 50.01.037 методов и правил проверки согласия выборочного распределения измеряемых значений величины с теоретическим, включая параметрические и непараметрические методы. В заключение авторами сообщения предложена логика освещения проблемы в соответствующих учебных дисциплинах.

INTERNAL CONTRADICTIONS OF THE UNCERTAINTY CONCEPT, IMPEDING TEACHING IT IN HIGH SCHOOL

Sulaberidze V.Sh.¹, Mishura T.P.¹

¹ Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
sula_vlad@mail.ru

In the paper given there are indicated inconsistencies contained in the JCGM documents, which concern the declared advantages of the concept of measurement uncertainty over the theory of measurement result error.

This relates, in the main, to the problems of "improving the accuracy evaluation" and transforming the probability density function. It is noted that some inconsistencies and internal contradictions of the concept make it more difficult to teach it in universities.

Подчеркивается важность грамотного применения разработанных в Рекомендациях по метрологии Р 50.01.033 и Р 50.01.037 методов и правил проверки согласия выборочного распределения измеряемых значений величины с теоретическим, включая параметрические и непараметрические методы. В заключение авторами сообщения предложена логика освещения проблемы в соответствующих учебных дисциплинах.

The authors emphasize the importance of competent application of the methods and rules for checking the agreement of a sample distribution of measurand values with theoretical, including parametric and nonparametric methods, developed and indicated in Recommendations on metrology Р 50.01.033 and Р 50.01.037, and propose, in conclusion, the logic of highlighting the problem in the relevant academic disciplines.

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЕРИФИКАЦИИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Цветков Э.И.¹, Сулоева Е.С.¹

¹ Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический Университет СПбГЭТУ «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
suloewa@list.ru

Решение о соответствии (не соответствии) верифицируемого измерительного средства требованиям носит вероятностный характер, обусловленный случайностью оценок $\hat{f}[\hat{e}^*]$ используемых при этом характеристик [1]. В общем случае правило принятия решения о соответствии (ИС_{tr}) или не соответствии (ИС_{fl}) верифицируемого измерительного средства требованиям может быть представлено следующим образом: $\hat{f}[\hat{e}^*] \geq \alpha_{tr} \Rightarrow$ ИС_{tr}, $\hat{f}[\hat{e}^*] < \alpha_{tr} \Rightarrow$ ИС_{fl} (ИС_{tr} - измерительное средство, соответствующее требованиям, ИС_{fl} - измерительное средство, не соответствующее требованиям, α_{tr} - область значений $\hat{f}[\hat{e}^*]$, соответствующая предъявленным требованиям [2].

Пусть $w(\alpha/\hat{e}^*)$ - условная плотность распределения вероятности определяемой вероятностной характеристики $\hat{f}[\hat{e}^*]$, установленная априори с помощью специальных исследований. Тогда вероятность принадлежности $P[\hat{f}[\hat{e}^*] \geq \alpha_{tr} / \hat{f}[\hat{e}^*]]$ равна $P[\hat{f}[\hat{e}^*] \geq \alpha_{tr} / \hat{f}[\hat{e}^*]] = \int_{\alpha_{tr}}^{\infty} w(\alpha/\hat{e}^*) d\alpha$.

Поскольку вероятность принадлежности может интерпретироваться как степень

достоверности (правильности) принимаемого решения о соответствии (не соответствии) верифицируемого средства требованиям, то ее зависимость от характеристик ошибок получаемых оценок $\Delta^{-1}[\Delta]$ ($M[\Delta^{-1}[\Delta]]$ и $D[\Delta^{-1}[\Delta]]$), может быть использована для обоснования достаточности метрологического уровня используемых для верификации средств измерений эталонов. Это вытекает из того, что ошибки оценивания $\Delta^{-1}[\Delta]$ зависят от характеристик эталонов. Так, при адекватности используемых при верификации условий и вида входного воздействия $M[\Delta^{-1}[\Delta]]$ определяется систематической погрешностью эталона (m_j), а $D[\Delta^{-1}[\Delta]]$ – дисперсиями погрешности эталона (σ_j) и погрешности из-за конечности объема выборки ($\sigma_{кг}$). Таким образом, установление зависимости вероятности принадлежности при фиксированном N от характеристик погрешностей эталона - $P(m_j, \sigma_j)$, позволяет установить их значения, обеспечивающие требуемую достоверность результатов верификации: $(m_j, \sigma_j) \in P[\Delta^{-1}[\Delta] \in \Delta_{tr} / \Delta^{-1}[\Delta] \in \Delta_{tr}] = P_{треб}$.

В общем случае, полагая $N \gg 1$ ($\Delta^{-1}[\Delta] = N^{-1} \sum_{j=1}^N g[\Delta_j]$) ($g[\Delta_j]$ - преобразование, лежащее в основе определения $\Delta^{-1}[\Delta]$) для условного распределения $w(\Delta^{-1}[\Delta] / \Delta^{-1}[\Delta])$ имеем: $w(\Delta^{-1}[\Delta] / \Delta^{-1}[\Delta]) = \exp(-(\Delta^{-1}[\Delta] - M[\Delta^{-1}[\Delta]])^2 / 2 \sigma_{\Delta^{-1}[\Delta]}^2) / \sigma_{\Delta^{-1}[\Delta]} \sqrt{2\pi}$, где $\Delta^{-1}[\Delta] = \sigma_j^{-1} \Delta_j + \sigma_{кг}^{-1} \Delta_{кг}$.

В докладе рассмотрены зависимости достоверности результатов верификации средств измерений от основных характеристик погрешностей эталонов, что позволяет обоснованно устанавливать требования к ним.

Литература

1. Suloeva; E. S. Tsvetkov; E. I. N. A. Nesterenko On the usage of the apriory knowledge cortege forming decision-making procedure by results of intercomparison of standards// 2016 XIX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM) 2016 pp 67-69).
 2. Suloeva E. S., Tsvetkov E. I., Rzieva M. T. Decisions Based on the Results of Comparisons of Standard // Measurement Techniques October 2014, Volume 57, № 7, pp 733-739.
- (Сулоева Е.С., Цветков Э.И., Рзиева М.Т. Особенности принятия решения по результатам сличений эталонов // Измерительная техника. –2014. – № 4. – С.3-7).

ANALYSIS OF PARAMETERS THAT DETERMINE THE RELIABILITY OF VERIFICATION RESULTS OF MEASURING INSTRUMENTS

E.I. Tsvetkov.¹, E. S. Suloeva.¹
¹ Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI"
 suloewa@list.ru

The decision on the conformity (not conformity) of the verifying measuring instrument means with the requirements is of a probabilistic nature, caused by the randomness of the estimates $\Delta^{-1}[\Delta]$ of the characteristics used [1]. In general, the rule for deciding on the conformity (M_{tr}) or not the (M_{fl}) conformity of the verifying measuring instrument means with the requirements can be represented as follows: $\Delta^{-1}[\Delta] \in \Delta_{tr} \Leftrightarrow$

MI_{tr} - measuring instrument conforming to requirements, MI_{fl} - measuring instrument means not meeting requirements, Δ - range of values, corresponding to the requirements[2].

Then the probability of belonging to $P[\Delta \in \Delta_{tr} / \Delta \in \Delta_{fl}]$ is $P[\Delta \in \Delta_{tr} / \Delta \in \Delta_{fl}] = \int_{\Delta_{tr}} w(\Delta / \Delta_{fl}) d\Delta$. Since the probability of belonging can be

interpreted as the degree of reliability (correctness) of the decision made about the conformity (not conformity) of the verified means to the requirements, then its dependence on the error characteristics of the estimates obtained Δ ($M[\Delta]$ and $D[\Delta]$), can be used to justify the sufficiency of the metrological level of standards used for verification of measurement standards. This follows from the fact that estimation errors Δ depend on the characteristics of the standards. Thus, with the adequacy of the conditions used for verification and the type of input action $M[\Delta]$, it is determined by the systematic error of the standard (m_s), and $D[\Delta]$ - by the variance of the standard error (σ_s^2) and the error due to the finite size of the sample (σ_{fs}^2). Thus, the establishment of the dependence of the probability of belonging for a fixed N from the characteristics of errors of the standard - $P(m_s, \sigma_s^2)$, allows to establish their values ensuring the required reliability of the verification results: $(m_s, \sigma_s^2) \Rightarrow P[\Delta \in \Delta_{tr} / \Delta \in \Delta_{fl}] = P_{req}$.

In the general case, setting $N \gg 1$ ($\Delta = N^{-1} \sum_{j=1}^N g_j$) (g_j - the transformation underlying the definition Δ) for the conditional distribution $w(\Delta / \Delta_{tr})$, we have: $w(\Delta / \Delta_{tr}) = \exp(-(\Delta - M[\Delta])^2 / 2\sigma_{\Delta}^2) / \sigma_{\Delta} \sqrt{2\pi}$, where $\sigma_{\Delta}^2 = \sigma_s^2 + \sigma_{fs}^2$.

The report considers the dependencies of the reliability of verification results of measuring instruments against the main characteristics of errors in measurement standards, which allows to establish the requirements to them reasonably.

References:

1. Suloeva; E. S. Tsvetkov; E. I. N. A. Nesterenko On the usage of the apriory knowledge cortege forming decision-making procedure by results of intercomparison of standards// 2016 XIX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM) 2016 pp 67-69).
2. Suloeva E. S., Tsvetkov E. I., Rzieva M. T. Decisions Based on the Results of Comparisons of Standard // Measurement Techniques October 2014, Volume 57, № 7, pp 733-739.

МЕТРОЛОГИЯ В БОЛЬШОЙ РОССИЙСКОЙ ЭНЦИКЛОПЕДИИ

Дойников А.С.
ФГУП «ВНИИФТРИ»
doynikov@vniiftri.ru

В 2017 г. завершается работа по изданию уникальной универсальной многотомной Большой Российской энциклопедии (БРЭ) в 35 томах. Издание БРЭ осуществлено согласно Указу Президента Российской Федерации от 14.10.2002 г. № 1156. Предварительный том «Россия» вышел в 2004 г. В БРЭ опубликовано более 250 статей, относящихся к метрологии. Формированием этих концептуально объединенных статей занимался автор настоящего доклада в качестве консультанта редакции «Физика» издательства «Большая Российская энциклопедия». Статьи взаимосвязаны ссылками и кратко описывают современную понятийную систему метрологии, опирающуюся на общую теорию шкал измерений. Ключевыми являются статьи с названиями: Метрология, Измеряемое свойство, Измеряемая величина, Измерение, Результат измерения, Шкала измерений, Единица измерения, Системы единиц измерений, Международная система единиц, Погрешности измерений, Неопределённость измерений, Средства измерений, Меры, Эталоны, Погрешности средств измерений, Поверка средств измерений, Калибровка средств измерений, Температурные шкалы, Фотометрия, Колориметрия, то есть измерения Цвета, Метрическая конвенция, Международные метрологические организации и др. В небольших статьях приведены определения и обозначения многих системных и внесистемных единиц измерений.

В Интернете на сайте www.bigenc.ru (поиск: Большая Российская энциклопедия) представлена электронная версия выборки статей, напечатанных в книжной версии БРЭ. Эта выборка статей постоянно пополняется и актуализируется. Некоторые из перечисленных выше статей по метрологии уже опубликованы в электронной версии. Таким образом обеспечена широкая доступность БРЭ для распространения знаний по метрологии. По Распоряжению Правительства Российской Федерации от 25.08.2016 г. № 1791 начаты мероприятия, связанные с созданием «Общенационального интерактивного энциклопедического портала».

METROLOGY IN BIG RUSSIAN ENCYCLOPEDIA

Doynikov A.S.
«VNIIFTRI»
doynikov@vniiftri.ru

In 2017 the work on edition of the universal multivolume Big Russian Encyclopedia (BRE) comprising 35 volumes is coming to an end. The BRE edition is being carried out according to the Decree of the President of the Russian Federation as of 14.10.2002 No. 1156. The pilot volume "Russia" was published in 2004. In BRE, there have been published over 250 articles related to metrology. The author of the present report as the consultant for the editorial office "Physics" of Big Russian Encyclopedia publishing house was engaged in developing of these conceptually integrated articles. The articles are interconnected by reference links and briefly describe the modern notion system of metrology which roots from the general theory of measurement scales. Some of the articles are of key importance: Metrology, Measured property, Measurand, Measurement, Result of measurement, Scale of

measurements, Unit of measurement, Systems of units of measurements, International System of Units, Errors of measurements, Uncertainty of measurements, Measuring instruments, Measures, Etalons, Errors of measuring instruments, Verification of measuring instruments, Calibration of measuring instruments, Temperature scales, Photometry, Colorimetry (measurement of Colour), Metric convention, International metrological organizations, etc. In small articles definitions and designations of many system and stand-alone units of measurements are given.

On the Internet at www.bigenc.ru (search: БольшаяРоссийскаяэнциклопедия) the electronic version of selection of articles also printed in the paper version of BRE is presented. This selection of articles is constantly replenished and refreshed. Some of the articles on metrology listed above have already been published in the e-version. Thus, wide availability of BRE to dissemination of knowledge on metrology is provided. According to the Order of the Government of the Russian Federation of 25.08.2016 No. 1791 work has begun on "The national interactive encyclopedic portal".

СОСТОЯНИЕ И РАЗВИТИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Кузнецов В.П.
ФГУП «ВНИИМС»
kvp-201@vniims.ru

Измерительные системы (ИС) - специфичная разновидность средств измерений (СИ). Их особенности не позволяют использовать в неизменном виде традиционные методы метрологического обслуживания СИ.

В докладе рассматриваются особенности метрологического обеспечения ИС и формулируются задачи, требующие своего решения.

1 Аккредитация организаций на право испытаний ИС с целью утверждения типа.

2 Испытания ИС с целью утверждения типа.

3 Поверка и межповерочный интервал ИС.

4 Использование результатов калибровки ИС при их поверке.

5 Учёт изменений ИС утвержденного типа в процессе их эксплуатации.

6 Методики расчёта метрологических характеристик измерительных каналов ИС.

7 Технические системы и устройства с измерительными функциями.

Вопросы развития метрологического обеспечения ИС.

1 Пересмотр с целью актуализации и учёта накопленного опыта основополагающих документов по метрологическому обеспечению ИС: ГОСТ 8.009-84, ГОСТ Р 8.596-2002 и др.

2 Разработка документа по расчёту метрологических характеристик измерительных каналов ИС по метрологическим характеристикам измерительных компонентов взамен МИ 222-80.

3 Разработка нормативных документов, устанавливающих общие требования к поверке и калибровке ИС, учитывающие их специфику.

4 Научная разработка методов метрологического обеспечения ИС, содержащих компоненты недоступные для метрологического обслуживания в процессе эксплуатации.

5 Научная разработка вопросов согласования требований к системам управления, регулирования, контроля, защиты, диагностирования с метрологическими требованиями к ИС, входящим в состав перечисленных систем.

THE STATE AND DEVELOPMENT OF MEASURING SYSTEMS' METROLOGICAL SUPPORT

V.P. Kuznetsov

VNIIMS

Kvp-201@vniims.ru

Measuring systems (MS) represent a specific type of measuring instruments (MI). Their features do not allow us to use traditional methods of metrological MIs maintenance in their original form.

Thereport considers the features of Measuring systems' metrological support and articulates the tasks to be solved:

1. Accreditation of organizations for testing MS for type approval. Unlike "conventional" MI, the qualification feature of accreditation is not the type of measurement, but the possession of methods for calculating the metrological characteristics of the measuring channels.

2. MS testing for type approval. The inability to dismantle a MS determines the characteristics of the experimental studies of MS at testing.

3. VerificationandMSVerificationInterval. The dispersal of MS in space makes it impossible to experimentally determine the metrological characteristics of the measuring channels as a whole. Due to the calendar dispersal of the verification intervals of the components, the dates for their verification and the MS are assigned independently.

4. Using the results of MS calibration during their verification. This possibility is provided by the Law [1]. However, the document [2] specifying this possibility contains shortcomings that prevent its implementation.

5. Accounting for changes in the MS of the approved type in the course of their operation. There is a list of changes needed, that do not require repeated testing of MS and re-issue of type-approval documents.

6. MethodsforcalculatingmetrologicalcharacteristicsofmeasuringMSchannels. Acting all-Russian documents, e.g. [3], can hardly be applied to the engineering practice and contain a number of restrictions, significantly narrowing the scope of their application.

7. Technicalsystemsanddeviceswithmeasuringfunctions. Acting documents regulating this issue, in particular [4], doubt the need for the introduction of such concept and contradict the requirements of ensuring the measurement uniformity.

Issuesof MS metrological support development.

1 Revisionofthebasicdocumentson MS metrologicalsupport inordertoupdateandconsidertheaccumulatedexperience: GOST 8.009-84, GOSTR 8.596-2002 andothers.

2 Development of a document for calculating the metrological characteristics of the MS measuring channels instead of MI 222-80.

3 Development of normative documents for MS verification and calibration considering their specificity.

4 Scientific development of methods for MS metrological support, containing components that are not available for metrological maintenance in the process of operation.

5 Scientific development of issues related to the harmonization of requirements for control, regulation, monitoring, protection, and diagnostic of systems with metrological requirements for MS included in the listed systems.

References

1. Federal Law № 102-FZ "On assurance of measurement uniformity."
2. "Provision on the recognition of the calibration results in the course of measuring

instruments' verification in the field of state regulation of measurement uniformity assurance", approved by the Russian Government's by-laws № 311 dated 02.04.2015.

3. MI 222-80 "GMS. Procedure of calculating the metrological characteristics of measuring channels of information-measuring systems by metrological characteristics of components. "

4. GOST R 8.674 "GMS. General requirements for measuring instruments and technical systems and devices with measuring functions".

ОЦЕНИВНИЕ РАСШИРЕННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ БАЙЕСОВСКОГО ПОДХОДА

Захаров И.П.¹, Боцюра О.А.¹

¹*Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина
newzip@ukr.net*

В настоящее время Рабочая группа WG-1 объединенного комитета по руководствам в метрологии (JCGM) решает задачу ревизии Руководства по выражению неопределенности измерений (GUM) [1]. В основу обновленного Руководства (NewGUM) будет положен байесовский подход к оцениванию неопределенности измерений [2]. Первый проект NewGUM был распространен к концу 2014 года среди Организаций-членов JCGM, Национальных метрологических институтов и других получателей, от которых поступило более 1000 комментариев и отзывов, в основном негативных [3]. Одной из основных претензий к этому документу был предложенный в нем способ вычисления расширенной неопределенности, который не зависит от законов распределения входных величин и приводит к чрезмерно завышенным оценкам расширенной неопределенности.

Указанный недостаток делает необходимым разработку методики оценивания расширенной неопределенности измерений. Важнейшее требование к этой методике – получение с помощью нее оценок расширенной неопределенности, согласованных с оценками, получаемыми методом Монте-Карло [4].

В докладе проводится сравнительный анализ известных и предлагаемых авторами подходов к оцениванию расширенной неопределенности, выполненных на основе: действующей версии GUM [2], ГОСТ Р 8.736-2011 [3], закона распространения расширенной неопределенности [4], метода эксцессов [5]. Показано, что комбинация перечисленных методик позволяет добиться хорошего совпадения оценок расширенной неопределенности с оценками, полученными методом Монте-Карло.

Литература

1. W. Bichetal. Revision of the «Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement»// Metrologia. – 2012, – Vol. 49, pp. 702–705.
2. I. Lira, W. Woger, Comparison between the conventional and Bayesian approaches to evaluate measurement data, Metrologia 43 (2006) S249.
3. W. Bich, M. Cox, C. Michotte. Towards a new GUM – an update. Metrologia 53 (2016) S149–S159.
4. JCGM 101:2008. Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” – Propagation of distributions using a Monte Carlo method.
5. JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. – JCGM, 2008. – 120 p.
6. ГОСТ Р 8.736 – 2011. ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2013 –

24 с.

7. Захаров И.П. Исследование и повышение достоверности интервальных оценок точности прямых многократных измерений // АСУ и приборы автоматики, вып. 132, 2005 г., с. 106-109.

8. Zakharov I., Botsyura O. Improved Method for the Calculation of Expanded Uncertainty // Mathematics and statistics for metrology (MATHMET-2016): Book of abstracts of international workshop, 7-9 November 2016, Germany, Berlin: PTB, p. 61.

EXPANDED MEASUREMENT UNCERTAINTY EVALUATION AT THE BAYESSIAN APPROACH IMPLEMENTATION

Zakharov I.P.¹, Botsyura O.A.¹

¹*Kharkov National University of Radioelectronics, Ukraine
newzip@ukr.net*

At present, the Working Group 1 of the Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM) is working on the revision of the Guide on the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM) [1]. The updated GUM (NewGUM) will be based on the Bayesian approach to measurement uncertainty evaluation [2]. The first NewGUM draft was circulated to the JCGM Member Organizations, National Metrology Institutes and other recipients at the end of the year 2014. More than 1000 comments and responses were received, and the feedback was mostly negative [3]. One of the main claims about this document was the proposed method for calculating the expanded uncertainty that did not depend on the laws of distribution of input quantities and lead to excessive estimates of the expanded uncertainty.

This drawback makes it necessary to develop a procedure for the expanded measurement uncertainty evaluation. The most important requirement to this procedure is that it should allow to obtain such estimates for the expanded uncertainty that will be consistent with estimates obtained by the Monte Carlo method [4].

In the report compares the well-known and proposed approaches to the assessment of expanded uncertainty, based on: the current version of GUM [2], GOST R 8.736-2011 [3], the law of expanded uncertainty propagation [4], the kurtosis method [5]. It is shown that a combination of the listed methods makes it possible to achieve good agreement between the obtained estimates of the expanded uncertainty and the estimates obtained by the Monte Carlo method.

References

1. W. Bich et al. Revision of the «Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement» // Metrologia. – 2012, – Vol. 49, pp. 702–705.
2. I. Lira, W. Woger, Comparison between the conventional and Bayesian approaches to evaluate measurement data, Metrologia 43 (2006) S249.
3. W. Bich, M. Cox, C. Michotte. Towards a new GUM – an update. Metrologia 53 (2016) S149–S159.
4. JCGM 101:2008. Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” – Propagation of distributions using a Monte Carlo method.
5. JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. – JCGM, 2008. – 120 p.
6. GOST R 8.736 – 2011. State system for ensuring the uniformity of measurements. Multiple direct measurements. Methods of measurement results processing. Main principles. Moscow: Standardinform, 2013 - 24 p.
7. Zakharov I.P. Research and increase of reliability of accuracy interval estimations of

direct multiple measurements// Management Information System and Devises, Vol. 132, 2005, p. 106-109.

8. Zakharov I., Botsyura O. Improved Method for the Calculation of Expanded Uncertainty// Mathematics and statistics for metrology (MATHMET-2016): Book of abstracts of international workshop, 7-9 November 2016, Germany, Berlin: PTB, p. 61.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛОВ РАНЖИРОВАНИЯМИ И НАХОЖДЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ КОНСЕНСУСА: ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ МЕТРОЛОГИИ

Муравьев С.В.

Томский политехнический университет

muravyov@tpu.ru

Роль интерпретации интервалов как в метрологии, так и в теории и практике измерений трудно переоценить. Достаточно вспомнить важность оценивания параметров доверительных интервалов при расчете метрологических характеристик (интервальные данные должны быть независимыми, полученными при одинаковых условиях одним и тем же средством измерения на одном и том же объекте). Можно ставить задачу обработки интервальных данных в широком смысле – когда средства и условия измерений могут быть разными, а объекты – не только разными, но даже распределенными в пространстве и/или во времени.

Известно, что *комплексирование (слияние) данных* – это процесс совместной обработки данных о некотором объекте, полученных из многих источников с целью получения более полного, объективного и точного знания исследуемой характеристики объекта, чем знание, полученное из единственного источника. *Комплексированием интервальных данных* назовем формирование такого интервала, который совместим с максимальным количеством исходных интервалов (не обязательно совместимых между собой) и с максимальной степенью достоверности содержит значение, которое может служить представителем всех этих интервалов [1].

Комплексирование проводится посредством представления интервалов на вещественной оси отношениями слабого порядка (ранжированиями) на множестве $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ принадлежащих этим интервалам дискретных значений. Для любого интервала $I_k, k = 1, \dots, m$, $A \supseteq A_k \wedge \bar{A}_k$, $A_k \equiv \bar{A}_k \supseteq \bar{A}_k$, где множество A_k включает все те элементы A , которые принадлежат интервалу I_k , а его дополнение \bar{A}_k включает все остальные элементы A . Ранжирование τ_k будем называть *наведенным интервалом I_k ранжированием* (или *инранжированием*), если оно удовлетворяет следующим четырем условиям при $i, j = 1, \dots, n$: (1) $a_i \in A_k \rightarrow a_j \in A_k \Leftrightarrow a_i \leq a_j$; (2) $a_i, a_j \in A_k \rightarrow a_i \sim a_j$; (3) $a_i \in A_k \rightarrow a_j \in A_k \Leftrightarrow a_i \leq a_j$; (4) $a_i, a_j \in A_k$ соседние натуральные числа $\Leftrightarrow |i - j| = 1$.

Таким образом, набор исходных интервалов $\{I_k\}$, $k = 1, \dots, m$, может быть представлен составленным из инранжирований λ_k профилем предпочтений $\lambda = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m\}$. Использование в качестве результата комплексирования наилучшего значения в *отношении консенсуса*, найденного как результат агрегирования предпочтений для профиля λ , обеспечивает повышенные точность и робастность процедуры комплексирования [1, 2].

Комплексирование интервалов может найти применение в межлабораторных сличениях, при прогнозировании значений фундаментальных констант на основе измеренных значений, при повышении точности показаний мультисенсоров в сенсорных сетях и др.

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания "Наука" Министерства образования и науки РФ (проект № 4.1763.ГЗБ.2017).

Литература

1. Muravyov S.V. et al. J. Phys. Conf. Ser. 2016. V. 722. 012064.
2. Muravyov S.V. et al. Acta IMEKO. 2017. V. 6, N. 1. P. 5-11.

REPRESENTATION OF INTERVALS BY RANKINGS AND CONSENSUS RELATION DETERMINATION: PROSPECTS FOR METROLOGY

Muravyov S.V.
Tomsk Polytechnic University
muravyov@tpu.ru

The role of interval data interpretation both for metrology and for theory and practice of measurement can hardly be overestimated. Suffice it to recall importance of confidence interval parameters when determining metrological specifications (the interval data must be independent, obtained under the same conditions by the same instruments at the same object). One can put the problem of interval data processing in a wide sense where means and conditions of measurement can be different and not only may objects be different, but even distributed in space and/or time.

Data fusion is known to be a process of joint processing data on some object obtained from multiple sources with the aim of acquiring more complete, objective and accurate knowledge of a characteristic under investigation than knowledge received from a single source. Under the *interval data fusion* we will understand formation of such an interval that is consistent with maximum number of given initial intervals (not necessarily consistent with each other) and with maximum confidence including a value that can serve as representative of all the intervals given [1].

The interval fusion is carried out by means of representation of the input intervals on the real line by weak order relations (or rankings) over set $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ of the discrete values belonging to these intervals. For any interval $I_k, k = 1, \dots, m$, we have $A \supseteq A_k \cup \bar{A}_k$, $A_k \cap \bar{A}_k = \emptyset$, where the subset A_k includes all the elements of A belonging to the interval I_k , and its complement \bar{A}_k includes all the rest elements of A . The ranking τ_k will be called the *induced by interval I_k ranking* (or *inranking*), if it satisfies the following four conditions for $i, j = 1, \dots, n$: (1) $a_i \in A_k \rightarrow a_j \in A_k \rightarrow a_i \leq a_j$; (2) $a_i \in A_k \rightarrow a_j \in \bar{A}_k \rightarrow a_i \sim a_j$; (3) $a_i \in \bar{A}_k \rightarrow a_j \in \bar{A}_k \rightarrow a_i \leq a_j$; and (4) $a_i, a_j \in A_k$ are neighbor natural numbers $i = j \pm 1$.

Thus, the collection of input intervals $\{I_k\}, k = 1, \dots, m$, can be represented by composed of the inrankings λ_k preference profile $\tau = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m\}$. As the interval fusion result, a best value in the *binary consensus relation* being an outcome of the preference aggregating for the profile τ , provides increased accuracy and robustness of the interval data fusion procedure [1, 2].

The interval data fusion with preference aggregation could be applied in interlaboratory comparisons; when predicting values of fundamental constants on the base of measured values; when improving accuracy of multisensor readings in sensor networks, and so on.

The work is partly supported by the Ministry of Education and Science of Russian Federation, basic part of the state task "Science", project 4.1763.GZB.2017.

References

1. Muravyov S.V. et al. J. Phys. Conf. Ser. 2016. V. 722. 012064.
2. Muravyov S.V. et al. Acta IMEKO. 2017. V. 6, N. 1. P. 5-11.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ И ПРЕЦИЗИОННАЯ АТОМНАЯ ФИЗИКА

Е.Ю. Корзинин

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», Санкт-Петербург, Россия

korzinin@vniim.ru

Будущее переопределение единиц СИ, основанное на фиксации значений ряда фундаментальных физических констант (ФФК), существенно повышает интерес метрологического сообщества к точности и надежности их определения. Основным инструментом для нахождения наиболее точных значений ФФК является согласование [1] совокупности теоретических и экспериментальных прецизионных данных, проводимое рабочей группой по ФФК, входящей в международный комитет по данным науки и техники CODATA.

Существенной частью входных данных согласования являются результаты прецизионных исследований параметров простых атомных систем таких как атомные переходы в водороде, дейтерии, антипротоном гелии, позитронии, мюонии [1]. Новый блок данных, который, как ожидается, будет включен в процедуру согласования, связан с параметрами простых мюонных атомов [2] (мюонные водород, дейтерий, ионы гелия).

Сравнение теоретических расчетов, параметрами которых являются ФФК, с результатами высокоточных экспериментов позволяет определить значения ряда констант. На протяжении нескольких десятков лет сотрудники ВНИИМ эффективно участвуют в данных теоретических работах.

Литература

[1] Mohr, Peter J., Newell, David B., Taylor, Barry N. «CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2014», Rev. Mod. Phys. 88 (2016) 035009.

[2] Pohl R, et al., «The size of the proton» Nature. 466 (2010) 213–216; Pohl R, et al., «Laser spectroscopy of muonic deuterium», Science, 353 (2016) 669-673.

FUNDAMENTAL PHYSICAL CONSTANTS AND PRECISION ATOMIC PHYSICS

E. Korzinin

D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM)

St. Petersburg, Russia

korzinin@vniim.ru

Future redefinition of the SI units, based on fixed values of the fundamental physical constants (FPC), increases the interest of the metrological society to the consistency and uncertainty of the FPC. The main tool to provide a self-consistent set of fundamental constants values is the adjustment [1] of the theoretical and experimental precision data, which is being carried by the CODATA Task Group on Fundamental Physical Constants.

The important part of the input data for the adjustment are results of the theoretical and experimental research in the parameters of simple atomic systems such as atomic transitions in hydrogen, deuterium, antiprotonic helium, positronium, muonium [1]. A new data block, which is going be added to the adjustment, is a set of energy transitions in muonic atoms [2] (muonic hydrogen, muonic deuterium and muonic helium ions).

The comparison of the theoretical calculation, which includes fundamental constants as parameters, with the precision experimental results allows to define the precision values for an array of the constants. The VNIIM researchers have been effectively improving the theory

of simple atomic system during the last decades.

References

[1] Mohr, Peter J., Newell, David B., Taylor, Barry N. «CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2014», Rev. Mod. Phys. 88 (2016) 035009.

[2] Pohl R, et al., «The size of the proton» Nature. 466 (2010) 213–216; Pohl R, et al., «Laser spectroscopy of muonic deuterium», Science, 353 (2016) 669-673.

СТРУКТУРА И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОЗАРЯЖЕННЫХ ИОНОВ

А. Суржиков

Федеральный физико-технический институт

Брауншвейг, Германия

andrey.surzhykov@ptb.de

Высокозаряженные ионы представляют собой естественные «лаборатории» для исследования простых атомных систем в которых релятивистские и коррелированные электроны движутся в сильных ядерных полях. Такие ионы зарекомендовали себя как универсальный инструмент для исследования ряда фундаментальных, всё ещё нерешенных проблем современной физики. В частности, ионы с небольшим количеством электронов идеально подходят для поиска новой физики за пределами Стандартной Модели, для проверки фундаментальных симметрий природы и для изучения возможных вариаций физических констант.

В докладе мы представим короткий обзор последних теоретических работ в области физики высокозаряженных ионов, выполненных в федеральном физико-техническом институте. Особое внимание будет уделено прецизионным расчетам электронной структуры ионов и их взаимодействию с электромагнитным излучением. Мы обсудим применение этих расчётов для нужд метрологии, для разработки новых атомных (и ядерных) часов, и для более точного определения фундаментальных физических констант.

STRUCTURE AND INTERACTIONS OF HIGHLY-CHARGED IONS

A. Surzhykov

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)

Braunschweig, Germany

andrey.surzhykov@ptb.de

Highly-charged ions provide natural «laboratories» to explore simple atomic systems in which electrons are relativistic, correlated, and experience strong nuclear fields. These ions are proven to be a versatile tool for investigating a number of fundamental, yet unresolved problems in modern physics. In particular, ions with few electrons are ideally suited to search for a new physics beyond the Standard Model, to test the fundamental symmetries of Nature, and to study a possible variation of physical constants.

In this contribution, we will briefly review theoretical studies in the physics of highly-charged ions that were performed recently at the PTB. Special attention will be paid to the high-precision calculations of ionic shell structure and of the coupling to electromagnetic radiation. We will show how these theoretical studies provide atomic data for metrology applications, development of novel atomic (and nuclear) clocks, and determination of fundamental physical constants.

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРЕЦИЗИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ.

Ю.И. Неронов

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева», Санкт-Петербург, Россия

uineronov@mail.ru

Для прецизионного определения индукции магнитного B в средних и высоких полях наиболее широко используют ампулу с водой, от которой регистрируют частоту протонного резонанса: $\nu(H_2O) \approx \nu_0[1 - \sigma(H_2O)] \times B$. Гиромантическое отношение протона, по данным таблиц CODATA-2016, равно: $\gamma_H = 42\,577\,478.92(29)$ Hz/T и имеет погрешность 6.9×10^{-9} . Однако использовать малую неопределенность для γ_H не удастся из-за экранирования протона в воде, которое определено с большей погрешностью: $\sigma(H_2O) = 25\,691(11) \times 10^{-6}$ при 25°C . Кроме этого, чтобы использовать такую зависимость требуется, чтобы вода в образце имела шарообразную форму, при которой исключается влияние поверхностных искажений на однородность тестируемого поля, связанную с объемной магнитной восприимчивостью воды.

Практически изготовить образец, в котором вода имеет шаровую форму, не возможно. Если изготовить стеклянный шаровой образец, то при его наполнении водой, внутри образуется мениск, с которым будет связано искажение формы ЯМР сигнала. В этой связи, в нашей работе [1] предложено использовать образцы цилиндрической формы. Но при этом требуется использовать более сложную зависимость частоты ЯМР сигнала от поля: $\nu(H_2O) \approx \nu_0[1 - \sigma(H_2O) - \mu(H_2O)/6] \times B$, если образец ориентирован перпендикулярно линиям магнитного поля. Обе эти поправки имеют температурную зависимость, которая, в частности, оценивалась в нашей работе [2].

Объемная магнитная восприимчивость воды равна: $\mu(H_2O) = -9053 \times 10^{-6}$ при 25°C , если использовать известные данные, которые были получены в 19 веке методом взвешивания. Но если использовать метод ЯМР регистрации сигналов воды в магнитных полях перпендикулярных и параллельных цилиндрической ампуле, то есть возможность вычислить разность объемных магнитных восприимчивостей воды и образца сравнения. В [1] для сравнения использовали дейтериевый водород HD при давлении около 90 атмосфер. Причем, разность оказывается равной: $\mu(H_2O) - \mu(HD) = -9062 \times 10^{-6}$. Оценки для $\mu(HD)$ показывают, что имеющиеся расхождения данных для $\mu(H_2O)$, полученных из разных работ, могут быть на уровне единиц седьмого знака. Требуется провести новые исследования для более строгой оценки $\mu(H_2O)$. И далее, можно будет рекомендовать комитету CODATA внести в таблицы кроме $\nu(H_2O)$ еще и $\mu(H_2O)$ при 25°C . Это позволит использовать цилиндрические ампулы, которые серийно производятся и широко распространены. Наполненные водой цилиндрические образцы могут обеспечивать прецизионную оценку индукции магнитного поля на уровне погрешности фундаментальной физической константы - γ_H .

Литература

1. Yu. I. Neronov and N. N. Seregin; «Precision determination of the difference in shielding by protons in water and hydrogen and an estimate of the absolute shielding by protons in water», Metrologia 51, 54-60 (2014).
2. Yu. I. Neronov; «Determination of the temperature dependence of the shielding protons of water and a method for estimating the temperature of living tissues»; Izmeritel'naya Tekhnika, No. 1, pp. 67-71, (2017).

SOME PROBLEMS OF PRECISE DETERMINATION OF THE VALUE OF MAGNETIC FIELD INDUCTION

Yu. I. Neronov

D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM)

St. Petersburg, Russia

yineronov@mail.ru

For the precise measurement of the induction of magnetic field B , in medium-high and high fields, the ampoule with water is most commonly used, from which the proton resonant frequency is identified and recorded: $\nu(H_2O) = \gamma [1 - \sigma(H_2O)] \times B$. The gyromagnetic ratio of the proton, according to the tables of CODATA-2016, is $\gamma = 42\,577\,478.92$ (29) Hz/T and has an error of 6.9×10^{-9} . However, a small uncertainty for σ is impossible due to the screening of the proton in water, whose parameters are known with greater uncertainty: $\sigma(H_2O) = 25.691$ (11) ppm at 25 °C. In addition, such dependence would only be reliable, provided the spherical shape of the water sample. In this case, there would be no distortion of the homogeneity of the magnetic field, associated with the water's volume magnetic susceptibility.

Practically, making a spherical water sample is an impossible task. If the water is poured into a spherical glass bowl, there will always be a meniscus inside which will result in the distortion of the NMR signal. In relation to this problem, it has been proposed in our work [1] to use cylindrical samples. However, it requires a more complex dependence of the NMR signal frequency on the field: $\nu(H_2O) = \gamma [1 - \sigma(H_2O) - \chi(H_2O)/6] \times B$, if the sample is perpendicular to the lines of the magnetic field. Both these corrections are temperature dependant, estimating which in particular was the subject matter of our work [2].

The volume magnetic susceptibility of water is: $\chi(H_2O) = -9053 \times 10^{-6}$ at 25 °C, if the known data is used which was obtained by weighing in the 19th century. However, if we use the NMR method for recording water signals in magnetic fields perpendicular and parallel to the axes of the cylindrical water sample, it is possible to calculate the difference between the volume magnetic susceptibilities of water and the reference sample. In [1], deuterated hydrogen HD was used as the reference sample. The difference for the volume magnetic susceptibility was determined: $\chi(H_2O) - \chi(HD) = -9062 \times 10^{-6}$. Estimates for $\chi(HD)$ show that the existing data discrepancies for $\chi(H_2O)$ could be at the level of units of the seventh decimal. New studies are required for a more rigorous evaluation of $\chi(H_2O)$. And further, it will be possible to recommend the CODATA committee to add $\chi(H_2O)$ at 25 °C to the tables except $\sigma(H_2O)$. This will allow the use of cylindrical ampoules, which are serially produced and widely distributed. Water-filled cylindrical samples can provide a precise estimation of the magnetic field induction at the level of error of the fundamental physical constant - μ_0 .

References

1. Yu. I. Neronov and N. N. Seregin; "Precision determination of the difference in shielding by protons in water and hydrogen and an estimate of the absolute shielding by protons in water", *Metrologia* 51, 54-60 (2014).

2. Yu. I. Neronov; "Determination of the temperature dependence of the shielding protons of water and a method for estimating the temperature of living tissues"; *Izmeritel'naya Tekhnika*, No. 1, pp. 67-71, (2017); Neronov Yu. I., *Measurement Techniques* (2017). doi:10.1007/s11018-017-1156-9.

ДВА МЕХАНИЗМА ВОЗБУЖДЕНИЯ ЯДРА ЛАЗЕРОМ КАК ПРОЛОГ К СОЗДАНИЮ ЯДЕРНО-ОПТИЧЕСКИХ ЧАСОВ

Ф.Ф. Карпешин¹, Л.Ф. Витушкин¹

¹ *ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»*

f.f.karpeshin@vniim.ru

Создание ядерно-оптических часов нового поколения является глубоко обсуждаемой проблемой современной физики. Решение этой задачи позволит снизить нестабильность частоты до 10^{-19} и менее и, соответственно, повысить воспроизводимость единицы времени. Физический процесс воспроизведения частоты в таких часах неизбежно включает в себя резонансное возбуждение ядра лазерным пучком для возбуждения необходимого ядерно-оптического перехода и получения репера частоты для системы автоматической подстройки частоты – необходимого элемента стабилизации частоты. В докладе рассматриваются два возможных, обсуждаемых в настоящее время, механизма возбуждения ядра лазерным пучком: безрадиационного возбуждения при электронном переходе и обратной резонансной конверсии [1].

Литература

F. F. Karpeshin, M. B. Trzhaskovskaya. Phys. Rev. C 95, 034310 (2017).

TWO METHODS OF A LASER NUCLEUS EXCITING AS A PREDISPOSITION TO CREATING A NUCLEAR-OPTICAL CLOCK

F.F. Karpeshin¹, L.F. Vitushkin¹,

¹VNIIM

f.f.karpeshin@vniim.ru

Creating the new generation nuclear-optical clock is a deeply discussed problem of modern physics. This problem solved, the frequency instability will be reduced to 10^{-19} , and the time unit will become more reproduceable and consistent. The physical process insuring the frequency consistency will inevitably include resonance excitement of the nucleus by a laser beam in order to excite the necessary nuclear-optical transitions, as well as obtaining the etalon frequency for the system of automatic frequency adjustment, which is a necessary element for frequency stabilizing. The report deals with the two currently possible methods of exciting the nucleus with the laser beam: radiation-free excitement with the electronic transition and the reverse resonance conversion [1].

Reference

F. F. Karpeshin, M. B. Trzhaskovskaya. Phys. Rev. C 95, 034310 (2017).

РАЗВИТИЕ ПРИНЦИПА МИНИМАЛЬНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ПЕРЕСЕКАЮЩИХСЯ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИХ ПИКОВ

Семенов К.К.¹, Солопченко Г.Н.¹, Крейнович В.Я.²

¹ *Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия*

² *Университет Техаса в Эль-Пасо, США*

semenov.k.k@iit.icc.spbstu.ru

Любая зарегистрированная хроматограмма или спектрограмма $y(\nu)$ представляет

собой свертку действительной хроматограммы сложного вещества или его спектра $x(v)$ и аппаратной функции используемого прибора $a(v)$: $y(u) = \int_{-\infty}^{\infty} a(\tilde{v}) x(v) dv$. В результате зарегистрированные пики всегда расширяются и в ряде случаев пересекаются, что затрудняет определение площади каждого пика в отдельности.

Преобразование Фурье приводит данное уравнение к виду $y(j^\omega) = a(j^\omega)x(j^\omega)$. Его решение относительно $x(v)$ должно приводить к сужению пиков и их разделению, что очень важно при количественном анализе хроматограмм и спектрограмм. Эта задача относится к классу обратных задач и названа Рэлеем «редукцией к идеальному прибору» [1]. Обратная задача является некорректной. Условия и методы получения устойчивых решений подобных задач были разработаны А.Н. Тихоновым, приведены в работе [2] и получили общее название «регуляризация». В работе [3] предложен принцип минимального модуля (ПММ), который является одним из регуляризирующих методов и удобно реализуется в области Фурье-образов. Однако его точная реализация по [3] приводит к эффекту Гиббса [4], который частично искажает решение.

В данной работе предлагается исключить эффект Гиббса следующим образом.

Пусть известны или оценены пределы погрешности регистрации хроматограммы ϵ_y и погрешности ϵ_a , с которой известна аппаратная функция $a(v)$. Эти погрешности представляются как нечеткие интервалы. Далее вычисляются косинус-преобразование Фурье F_{\cos} функций $y(u)$ и $a(v)$ по правилам действий с нечеткими интервалами [5]. Тогда при каждом значении ω получим одномерные области значений $\hat{y}(\omega)$ и $\hat{a}(\omega)$, порожденные погрешностями Δy и Δa . Пусть нижняя граница области $\hat{y}(\omega)$ есть $y_{\min}(\omega)$ и верхняя граница области $\hat{a}(\omega)$ есть $a_{\max}(\omega)$. Тогда обратное косинус-преобразование $x(v) = F_{\cos}^{-1}[y_{\min}(\omega) / a_{\max}(\omega)]$ является регуляризованным решением уравнения (1) и обеспечивает минимум модуля решения $x(v)$, в котором пики должны быть разделены с учетом наложенных ограничений. Может оказаться, что линии восстановленных пиков будут пересекать ось абсцисс и заходить в отрицательную область. Чтобы избежать этого, предлагается применить модификацию алгоритма Говарда [6], которая приводит к минимизации отрицательных значений $x(v)$. Предлагаемые процедуры сохраняют площади пиков неизменными. Приводятся численные примеры разделения пиков.

Литература

1. Lord Rayleigh. Scientific Papers. 1871. Vol. 1. P. 135.
2. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. - М.: Наука, 1974. – 222 с.
3. Серегина Н.И., Солопченко Г.Н. Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1984. № 2. С.166-172.
4. Semenov K.K., Solopchenko G.N., Kreinovich V.Ya. Advanced Mathematical and Computational Tools in Metrology and Testing X. 2015. P. 330-339.
5. Семенов К.К., Солопченко Г.Н. Измерительная техника. 2011. № 4. С. 14-19.
6. Howard S.J. Journal of Optical Society of America. 1981. Vol.71, No 7. P. 819-824.

THE DEVELOPMENT OF THE MINIMUM MODULE PRINCIPLE FOR THE OVERLAPPED CHROMATOGRAPHIC PEAKS SEPARATION

Semenov K.K.¹, Solopchenko G.N.¹, Kreinovich V.Ya.²

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia

² University of Texas at El Paso, USA

semenov.k.k@iit.icc.spbstu.ru

Any registered chromatogram or spectrogram $y(v)$ represents the convolution of the real chromatogram of the complex substance or its spectrum $x(v)$ with the instrument function $a(v)$ of the used device: $y(v) = \int_{-\infty}^{\infty} a(v-u)x(u) du$. As a result, the recorded peaks always widen and overlap in a number of cases which makes the area estimating difficult for each peak taken separately.

The Fourier transform reduces the mentioned equation to the form $y(j\omega) = a(j\omega)x(j\omega)$. Its solution relatively to $x(v)$ should result in the narrower separate peaks, which is very important for the quantitative analysis of chromatograms and spectrograms. This problem belongs to the inverse problems class and was called “the reduction to the ideal device” by Lord Rayleigh [1]. Any inverse problem is incorrect in the general. The conditions and methods of obtaining the stable solutions of such problems were developed by A.N. Tikhonov, first presented in work [2] and were named as “regularization”. In paper [3], the minimum module principle is proposed, which is one of the regularizing methods and can be conveniently realized in Fourier transform domain. However, its accurate implementation accordingly to [3] causes the Gibbs effect [4], which partly distorts the solution.

In this work, it is proposed to eliminate the Gibbs phenomenon in the following way.

Let the following values be known or estimated: the limit error ϵ_y of the chromatogram recording and the limit error ϵ_a of the instrument function $a(v)$. These errors are represented as fuzzy intervals. Then the Fourier cosine transform F_{\cos} is calculated for the functions $y(u)$ and $a(v)$ using the operations with fuzzy intervals [5]. Then for the each value ω , we will obtain the one-dimensional domains $\hat{y}(\omega)$ and $\hat{a}(\omega)$ that are caused by the errors Δy and Δa . Let the lower bound of the domain $\hat{y}(\omega)$ be $y_{\min}(\omega)$ and the upper bound of the domain $\hat{a}(\omega)$ be $a_{\max}(\omega)$. Then the inverse cosine transform $x(v) = [y_{\min}(\omega) / a_{\max}(\omega)]$ will be the regularized solution of the convolution equation and will provide the minimum module of the solution $x(v)$ that will contain all the peaks being separated under the imposed constraints. It can turn out that the curves of the restored peaks will cross the abscissa axis and will get to the negative values area. To prevent this circumstance, the modification of Howard algorithm [6] is developed that minimizes the negative values of $x(v)$. The proposed approaches keep the peaks areas permanent. The numeric examples of the peaks separation are presented.

References

1. Lord Rayleigh. Scientific Papers. 1871. Vol. 1. P. 135.
2. Tikhonov A., Arsenin V., Solutions of Ill-Posed Problems. 1977.
3. Seregina N., Solopchenko G., Izvestiya AN SSSR. Technical cybernetics. 1984. Vol. 2, P. 166-172.
4. Semenov K.K., Solopchenko G.N., Kreinovich V.Ya. Advanced Mathematical and Computational Tools in Metrology and Testing X. 2015. P. 330-339.
5. Semenov K.K., Solopchenko G.N. Measurement techniques. 2011. Vol. 54, Issue 4. P. 378-386.
6. Howard S.J. Journal of Optical Society of America. 1981. Vol.71, Issue 7. P. 819-824.

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ОПИСАНИЯ НЕСТАБИЛЬНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Данилов А.А.¹, Спутнова Д.В.²

¹ *ФБУ «Пензенский ЦСМ»*

² *ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»*

aa-dan@mail.ru

Рассматриваются вопросы оценки неустойчивости средств измерений, применяемых при калибровке. Проводится анализ пригодности математических моделей для введения поправок на неустойчивость средств измерений на протяжении интервала времени до наступления момента очередной калибровки.

Сопоставительный анализ проводится для следующих моделей: средняя скорость дрейфа, усредненная по нескольким отсчетам, средняя скорость дрейфа, оцененная регрессионным методом, а также скорость дрейфа, оцененная методами простой, линейно-взвешенной или экспоненциальной скользящей средней. Сопоставление проводится не только моделированием, но и на основе обработки результатов экспериментальных исследований.

ANALYSIS OF MODELS FOR DESCRIPTION OF INSTABILITY IN MEASURING INSTRUMENTS

Danilov A.A.¹, Sputnova D.V.²

¹ *FBU "Penza TsSM"*

² *FGBOU VO "The Penza state university"*

aa-dan@mail.ru

Issues related to assessing instability of the measuring instruments used under the calibration are considered. The analysis of suitability of mathematical models for introduction of corrections on instability of measuring instruments throughout the following interval of time yes of approach of the moment of its next calibration is carried out.

The comparative analysis is carried out for the following models: the average rate of drift averaged on multiple readings, the average rate of drift estimated by a regression method, and also the drift speed evaluated by methods of simple, the linear-weighted or exponential moving average. Comparison is carried out not only through modelling, but also on the basis of experimental results.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛОВ ОХВАТА ПРИ МНОГОКРАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

А. Степанов¹, А. Чуновкина¹

¹ *ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», Санкт-Петербург, Россия*

A.G.Chunovkina@vniim.ru

В 2014 г. Рабочая Группа по развитию Руководства по выражению неопределенности измерений (GUM) представила проект актуализированного GUM, который вызвал широкое обсуждение метрологической общественности. Среди метрологов-практиков возражения и опасения вызвали изменения в формулах расчета неопределенности по типу А и расширенной неопределенности. Разработчики GUM столкнулись с извечной неразрешимой задачей, а именно, с одной стороны, необходимостью предложить простые и универсальные формулы для расчета, а с

другой стороны, обеспечить строгий математический вывод этих формул. Авторы доклада разделяют мнение, что задача может быть решена в результате рассмотрения типичных частных случаев вычисления неопределенности, при которых четко оговариваются все используемые допущения.

В докладе рассматривается задача вычисления интервалов охвата для линейной модели измерения и двух доминирующих источников неопределенности измерения. Первым источником неопределенности является разброс повторных показаний средства измерений, а второй источник неопределенности обусловлен неисключенными систематическими погрешностями. Предполагается, что повторные показания распределены по нормальному закону, а для моделирования неисключенных систематических погрешностей рассмотрено семейство экспоненциальных распределений. В зависимости от соотношения параметров экспоненциального распределения и наблюдаемого разброса данных при разном числе измерений получены значения коэффициентов охвата и интервалов охвата с применением теоремы Байеса.

CALCULATION OF COVERAGE INTERVALS FOR MULTIPLE MEASUREMENTS

A. Stepanov¹, A. Chunovkina¹

¹*D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM)*

St. Petersburg, Russia

A.G.Chunovkina@vniim.ru

In 2014, the Working Group 1 on the development of the Guide on the expression of Uncertainty in Measurement (GUM) presented a draft of an updated GUM, which caused a wide discussion of the metrological community. Among metrologists-practitioners, objections and apprehensions were caused by changes in the formulae for calculating the uncertainty by type A and expanded uncertainty. The GUM developers have faced an eternal unsolvable problem, namely, on the one hand, the need to offer simple and universal formulae for calculation, and on the other hand, to provide a rigorous mathematical derivation of those formulae. The authors of the paper share the view that the problem can be solved by considering typical particular cases of uncertainty calculation, in which all the assumptions used are clearly specified.

The paper considers the problem of calculating coverage intervals for a linear measurement model and two dominating sources of measurement uncertainty. The first source of uncertainty is the dispersion of repeated readings of the measuring instrument, and the second source of uncertainty is due to non-excluded systematic errors. It is assumed that the repeated readings are distributed according to the normal law, and in order to model the non-excluded systematic errors, a family of exponential distributions is considered. Depending on the ratio of the exponential distribution parameters to the observed scatter of data at different measurement counts, with the use of the Bayes theorem, there were obtained coverage coefficients and coverage intervals.

АЛГОРИТМ ПОЛУЧЕНИЯ СОВМЕСТИМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ АНАЛИЗЕ ДАННЫХ КЛЮЧЕВЫХ СЛИЧЕНИЙ

Бурмистрова Н.А.
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева»
N.A.Burmisrova@vniim.ru

Ключевые сличения национальных эталонов являются объективным подтверждением измерительных и калибровочных возможностей метрологических институтов и основой для установления степени эквивалентности национальных эталонов. Как показывает анализ отчетов о сличениях в базе данных ВІРМ, около половины сличений ведут к несогласованным результатам измерений, полученных участниками. В работе рассматривается оригинальный подход к анализу несогласованных данных сличений с целью установления степени их эквивалентности. Подход основан на трактовке эквивалентности эталонов как совместимости результатов измерений, полученных участниками сличений. Соответственно, предлагаемый алгоритм оценивания данных предполагает расширение неопределенности измерений для ряда участников для получения совместимости полученных результатов измерений. Предлагаемый алгоритм исследован и сопоставлен с другими подходами оценивания несогласованных данных на примере сличений ССQM К-5. Достоинством предлагаемого алгоритма является: индивидуальное расширение неопределенности измерений для ряда участников по итогам сличений до уровня, обеспечивающего совместимость результатов измерений всех участников, и обоснованное установление опорного значения и соответствующей неопределенности измерений. Предлагаемый подход может быть применен при оценивании данных ключевых сличений, а также при подтверждении калибровочных и измерительных возможностей НМИ по результатам сличений.

THE ALGORITHM FOR OBTAINING METROLOGICAL COMPATIBILITY OF MEASUREMENT RESULTS WHILE ANALYSING KEY COMPARISON DATA

Burmistrova N.
D.I. Mendeleev Institute for Metrology
N.A.Burmisrova@vniim.ru

Key comparisons of national measurement standards are the objective confirmation of measurement and calibration capabilities of metrological institutes and the basis for determination of degree of equivalence for national measurement standards. The analysis of comparison reports in BIPM database shows that about one half of comparisons leads to inconsistent comparison data obtained by participants. Novel approach to the analysis of inconsistent comparison data with the aim of determining the degree of equivalence of national measurement standards is considered in the paper. The approach is based on the interpretation of equivalence of measurement standards as the metrological compatibility of measurement results obtained by comparison participants. So the suggested algorithm of data evaluation implies the enlargement of measurement uncertainty for the group of participants in order to obtain the metrological compatibility of obtained measurement results. The suggested algorithm is examined and compared with other approaches on estimating inconsistent data by the example of CCQM K-5 comparison. The suggested algorithm has following advantages:

individual enlargement on the basis of comparison of the measurement uncertainty for the group of participants up to the level that provides metrological compatibility of

measurements results for all participants;

meaningful adjudgement of the key comparison value and associated measurement uncertainty. The suggested approach can be used during the evaluation of key comparison data and confirmation of calibration and measurement capabilities of NMI on the basis of comparison results.

КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ ЛАБОРАТОРИЙ. ОБЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Дворкин В.И.

ИНХС им. А.В. Топчиева РАН, Москва

dvorkin@ips.ac.ru

Использование компьютеров в лабораториях стало обыденным явлением. Программы для лабораторий постоянно совершенствуются и становятся все доступнее.

Продолжает действовать закон Мура: число транзисторов на кристалле удваивается каждые 2 года. Это приводит к экспоненциальному росту быстродействия и объема памяти компьютеров, а также к их удешевлению.

В результате компьютеры стали рядовым инструментом в лабораториях любого профиля, а программисты перестали думать о повышении их быстродействия и об экономии памяти. Практически все операции совершаются мгновенно, а вся лабораторная информация за многие годы легко умещается на одном жестком диске.

Помимо программ общего назначения типа Word или Excel (ф. Microsoft) широко используются программы, специально разработанные для лабораторий. Их можно разделить на LIMS (LaboratoryInformationManagementSystem, ЛИС) и специализированные компьютерные программы. Каждая LIMS представляет собой единую программу, а специализированных программ в лаборатории может быть несколько, причем каждая из них ориентирована на определенный вид деятельности («компьютеризация блоками»). Последние получили более широкое распространение в силу их простоты, удобства и низкой стоимости. Такая тенденция сохранится и в будущем.

Компьютеризация затрагивает и метрологические аспекты деятельности лабораторий, включая современные методы обеспечения качества измерений. Расчет результатов, включая градуировку и проверку приемлемости результатов, валидация и верификация, контроль стабильности и другие способы контроля качества измерений намного упрощаются при использовании компьютерных программ.

При этом происходит качественный скачок. Грамотно написанная программа позволяет лабораториям использовать современные подходы, включая сложные статистические расчеты, ведение контрольных карт, и т. д., без существенных затрат времени и, что еще важнее, не имея в штате квалифицированных метрологов и статистиков. Так, просто вводя в компьютер результаты измерений и нажав клавишу, лаборант автоматически выполняет расчет результатов, включая градуировку и проверку приемлемости, и контроль стабильности измерений. То же относится к верификации методик.

Не все виды метрологической деятельности легко компьютеризировать. Так, оценка неопределенности измерений с использованием «бюджета неопределенностей» практически не поддается компьютеризации – определяющими при этом являются не сложные расчеты и работа с изображениями, а квалификация и знания специалиста.

В обозримом будущем компьютеризация охватит практически все лаборатории, а широкое внедрение метрологических новаций будет происходить через их включение в компьютерные программы.

Основные положения доклада иллюстрируются на примере компьютерных программ QControl и DControl.

COMPUTERISATION OF LABORATORIES. GENERAL SITUATION AND METROLOGICAL ASPECTS

Dvorkin V.
TIPS RAS, Moscow
dvorkin@ips.ac.ru

The use of computers in laboratories has become commonplace. Programs for laboratories are constantly evolving and becoming more affordable.

Moore's law is still in effect: the number of transistors on a chip doubles every 2 years. This leads to an exponential growth in the speed and memory capacity of computers, as well as to their reduction in price.

As a result, computers have become an ordinary tool in laboratories of any profile, and programmers do not think about improving their performance and memory limitations. Almost all operations are performed instantly, and all laboratory information from many years easily fits on a single hard disk.

In addition to programs for general purposes, like Word or Excel by Microsoft, programs particularly designed for laboratories are widely used, as well. This large group can be divided into LIMS (Laboratory Information Management System) and specialized computer programs. Each LIMS is a single program, but there may be a variety of specialized programs in a single laboratory, each of which programs will focus on a specific type of activity. This is called "computerization by blocks". The latter are more widespread due to their simplicity, convenience and low price. This trend will continue in the future.

Metrological aspects of laboratory activities, including contemporary methods to insure quality of measurements, are affected by computerization. Processing the results, including calibration and verifying of acceptability of the results, validation and verification, control of stability and other ways to control the quality of measurements, become much easier with related software.

All of these lead to a qualitative leap. A correctly written program allows laboratories to use modern approaches, including complex statistical calculations, keeping check lists, etc., without any significant investment of time and, more importantly, without skilled metrologists and statisticians in staff. So, just by typing in the measurement results into a computer and pushing a button, a laboratory assistant automatically has the results processed, including calibration, check acceptability, performs verification and stability control of measurements. The same applies to the methods verification.

However, not all types of metrological activities may be computerized easily. For instance, estimation of measurement uncertainty with "budget of uncertainties" defies computerization - success here does not depend on complex calculations or processing images, but on the expert's skills and knowledge.

Computerization in the foreseeable future will cover almost all the laboratories, and the widespread introduction of metrology innovations will occur through their inclusion in the software.

The main provisions of the report are illustrated with QControl and DControl software, as an example.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАЛИБРОВОЧНЫХ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РФ В МЕЖДУНАРОДНОЙ БАЗЕ ДАНЫХ

¹Кустиков Ю.А., Дятлев А.Б., Лунева Е.И.

¹ ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева»

y.a.kustikov@vniim.ru

Во всех глобальных аналитических докладах и обзорах, посвященных анализу значения и развития метрологии в мире, красной нитью проводится мысль о растущей роли метрологии в современном обществе. Роль метрологии выражается в том, что более точные, прослеживаемые и надёжные измерения в большей мере способствуют и содействуют улучшению качества жизни людей. В настоящее время существует множество критериев качества жизни, но на первый план выдвигается такой важный статистический рейтинговый показатель, как количество и качество измерительных возможностей (СМС), которые может продемонстрировать та или иная страна. Критерий количества СМС высшей точности, зарегистрированных в Международной базе данных (KCDB), в современном мире служит фактором оценки состояния развития метрологии в той или иной стране.

Так как с 2006 года на общедоступной странице сайта KCDB запущена новая поисковая система, простота использования которой привлекает многих пользователей, статистические рейтинги развития стран в области метрологии являются самыми общедоступными, честными и легко проверяемыми любым человеком, умеющим пользоваться интернетом.

В данной работе приведен анализ статистических данных по калибровочным и измерительным возможностям Российской Федерации, зарегистрированных в KCDB и обеспечиваемых её метрологическими институтами, в сравнении со странами, лидирующими по соответствующим показателям.

Литература:

1. Blevin, WR (March 1998). National and international needs relating to metrology: International collaborations and the role of the BIPM. Sèvres, France.
2. Kovalevsky, J; Kaarls, R (April 2003). Evolving Needs for Metrology in Trade, Industry and Society and the Role of the BIPM (PDF). Sèvres, France.
3. Kaarls R 2007 Evolving needs for metrology in trade, industry and society and the role of BIPM publication (Sèvres, BIPM).

STATISTICAL ANALYSIS OF THE CALIBRATION AND MEASURING CAPABILITIES OF THE RUSSIAN FEDERATION IN KCDB

¹Kustikov Yu.A., Diatlev A.B., Luneva E.I.

¹D.I. Mendeleev Institute for Metrology

y.a.kustikov@vniim.ru

All global analytical reports and reviews on the importance of and developments in metrology in the world persistently point out the idea of a growing role of metrology in the contemporary society, meaning that traceable and reliable measurements are of particular relevance to improving the facet of human life which is commonly referred to as “the quality of life”. Currently, there is a variety of criteria to assess the “quality of life”, and among those the one related to quantity and quality of measuring capabilities (CMC) is gradually becoming a meaningful indicator. Therefore, such criterium as an amount of highest accuracy CMCs

registered in the International Key Comparison Database (KCDB) could be considered, to a certain degree, a factor that helps to assess the development of metrology in a particular country.

It is more so, as, since 2006, the public KCDB webpage has been featuring a new search engine, the simplicity of which attracts users and enables them to check the statistical ratings of the level of metrology in any country in the most publicly available way and to obtain the reliable information on the country's measurement capabilities that is easily verifiable by anyone with the Internet access.

The report demonstrates the statistical data on the Calibration and Measuring Capabilities of the Russian Federation registered in the KCDB in comparison with the relative figures for the 12 leading countries from the list.

References:

1. Blevin, WR (March 1998). National and international needs relating to metrology: International collaborations and the role of the BIPM. Sèvres, France
2. Kovalevsky, J; Kaarls, R (April 2003). Evolving Needs for Metrology in Trade, Industry and Society and the Role of the BIPM (PDF). Sèvres, France
3. Kaarls R 2007 Evolving needs for metrology in trade, industry and society and the role of BIPM

**СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ»
SECTIONAL MEETING «ELECTRICAL MEASUREMENTS»**

**ЭТАЛОННАЯ БАЗА ФГУП «ВНИИМ ИМ. Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА» В
ОБЛАСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

А.С. Катков, В.В. Крестовский, Г.П. Телитченко, Д.В. Шавалдин, В.И. Шевцов,
Е.А. Юрченко
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

Рассмотрены вопросы состояния эталонной базы ВНИИМ в области измерений постоянного и переменного электрического напряжения в диапазоне до 1000 В, при частотах от 0 до 2 ГГц.

Приведены структуры построения и метрологические характеристики Государственных первичных эталонов ГЭТ 13, ГЭТ 27 и ГЭТ 89.

Приведены данные об измерительных и калибровочных возможностях ВНИИМ, представленных в базе данных МБМВ, подтвержденных участием ВНИИМ в международных ключевых сличениях.

**THE VNIIM REFERENCE BASE IN THE FIELD OF ELECTRICAL
VOLTAGE MEASUREMENTS**

A.S. Katkov, V.V. Krestovsky, G.P. Telitchenko, D.V. Shavaldin, V.I. Shevtsov,
E.A. Yurchenko

Present state and condition of the VNIIM reference base in the field of DC and AC voltage measurements in the range of up to 1000 V at frequencies from 0 to 2 GHz is considered in the report.

Structures and metrological characteristics of the State primary standards GET 13, GET 27 and GET 89 are given.

Data on the measurement and calibration capabilities of VNIIM, as represented in the BIPM database, confirmed by VNIIM participation in international key comparisons, is presented.

**ЭТАЛОННАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ЕЕ РАЗВИТИЕ НА
ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

Е.З. Шапиро, Г.Б. Гублер, А.С. Никитин,
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»
lab2203@vniim.ru

В обзорном докладе отражены основные этапы становления эталонной базы страны в области электроэнергетики, ее современное состояние с точек зрения соответствия потребностям промышленности и уровню международных работ в этой области.

Показано, что в части метрологического обеспечения средств измерений и систем коммерческого учета количества электрической энергии в классических электрических сетях состояние эталонной базы достаточно удовлетворительно, и

высокий уровень точности воспроизведения единиц подтвержден ключевыми международными сличениями.

Вместе с тем, большое количество электроэнергетических величин (ЭЭВ), насчитывающих более 30 наименований, результаты измерений которых необходимы для контроля качества электрической энергии, обеспечения безопасности энергообъектов, устойчивости и бесперебойности работы электрических сетей, в том числе интеллектуальных (Smart Grid), не имеют четкой прослеживаемости к эталонам базовых электрических величин.

Работы по совершенствованию эталонной базы отечественной электроэнергетики проводятся сегодня в ВНИИМ им. Д.И. Менделеева в двух направлениях:

1 Обеспечение воспроизведения единиц измерений показателей качества электрической энергии (ПКЭ) и параметров электрических сетей (ПЭС), измерения которых не охвачены действующими поверочными схемами;

2 Обеспечение прослеживаемости результатов измерений электрических величин, характеризующих параметры интеллектуальных электрических сетей (Smart Grid).

Экономически целесообразная реализация этих направлений предусматривает максимально возможное использование аппаратуры и программного обеспечения государственного первичного эталона единиц электрической мощности ГЭТ 153-2012 и дополнение его структуры необходимыми блоками. По существу речь идет о создании в перспективе многофункционального первичного эталона ряда важнейших единиц ЭЭВ.

В заключении доклада показаны созданные совместно лабораторией электроэнергетики ВНИИМ и НПП «Марс-Энерго» вторичный эталон единицы электрической мощности и установка для калибровки и поверки электронных оптических трансформаторов напряжения и тока с выходными сигналами в формате протокола 61850-9-2, используемых в цифровых подстанциях интеллектуальных сетей.

MEASUREMENT STANDARDS USED IN THE ELECTRIC POWER ENGINEERING SECTOR AND THEIR FURTHER DEVELOPMENT ON THE BASIS OF DATA-COMPUTING MEASUREMENT TECHNOLOGIES

Shapiro, E.Z., Gubler, G.B., Nikitin, A.S.,

D.I. Mendeleev Institute of Metrology

lab2203@vniim.ru

This overview report shows some main stages in the development of national measurement standards in the field of electric power engineering and their present state from the point of view of their correspondence to the needs of industry and in comparison with the global advances in the field.

It is shown that in terms of metrological provision of measuring instruments and systems of commercial accounting for electric power consumption in conventional grids, the state of our standards is quite satisfactory and the high accuracy with which the electric power units are realized has been confirmed by international key comparisons.

It is also outlined that there is no well defined traceability to standards of the units of the basic electrical quantities. This concerns a large number of more than 30 electric power quantities playing a part in monitoring the quality of the electric power, enhancing the safety of power facilities, sustainability and service continuity of electricity grids including the Smart Grids.

The ongoing work aimed at improving the standards for the national electric power

sector is carried out at VNIIM at two levels:

1. Realization of the units of the electric power quality indicators and those of the parameters of electric grids, measuring which is not included in the existing verification charts (hierarchy schemes).

2. Provision of traceability of measurement results of electric quantities that characterize the parameters of Smart Grids.

Cost-effective work at both levels provides for the best possible use of the equipment and software of the State Primary Standard of the Electric Power Units (GET 153-2012), whose structure needs to be completed by additional necessary modules. Essentially, prospects of creating a multi-functional primary standard for a number of the most important electric power units are discussed.

In conclusion, the paper describes a secondary standard of the electric power unit and a setup for calibration and verification of electronic optical voltage and current transformers with output signal in the form of protocol 61850-9-2, such as used in digital substations of the Smart Grids.

РАЗВИТИЕ ЭТАЛОННОЙ БАЗЫ ДЛЯ ОБЛАСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ И МАГНИТНОГО ПОТОКА

Д.И. Беляков, В.Н. Хорев, А.Е. Шилов, В.Я. Шифрин

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

V.Ya.Shifrin@vniim.ru

Одной из основных целей исследований, обсуждаемых в докладе, является расширение области метрологического обеспечения измерений базовой единицы магнитных величин – магнитной индукции (МИ), непосредственно опирающейся на государственный первичный эталон ГЭТ 12-2011 [1], от пределов $1 \cdot 10^{-6}$ – $1 \cdot 10^{-3}$ Тл до $1 \cdot 10^{-8}$ – 1 Тл, что соответствует современным потребностям промышленности, оборонных отраслей и научных исследований

Существуют принципиальные ограничения, связанные с несогласованностью диапазонов измерений, реализованных на основе существующих квантовых методов измерений в пределах $1 \cdot 10^{-8}$ - $1 \cdot 10^{-3}$ Тл и $1 \cdot 10^{-3}$ - $2 \cdot 10^{-2}$ Тл. Это не давало возможность непосредственной передачи размера единицы от ГЭТ12-2011 ко всем областям измерений в диапазоне от $1 \cdot 10^{-8}$ до 1 Тл в прежние годы.

В предыдущие два года разработан порядок передачи размера единицы МИ рабочим тесламетрам в диапазоне от 1 мТл до 1 Тл от Государственного эталона ГЭТ12-2011. Он включает в себя передачу размера единицы от эталонного гелий-цезиевого магнитометра разработанному квантовому цезиевому компаратору (КЦМ) при магнитной индукции 1 мТл и от КЦМ эталонному ядерно-резонансному (ЯМР) тесламетру в диапазоне 15 – 25 мТл. Диапазон от 15 мТл до 1 Тл перекрывается созданным ЯМР тесламетром, опирающимся на экспериментально измеренную константу преобразования частоты ЯМР в единицы измеряемой МИ.

Реализация функции передачи размера единицы МИ в область величин много менее естественного фона магнитного поля Земли (20 – 100 мкТл) осуществляется посредством разработанной методики и программируемой техники точной компенсации и контроля «нуля» поля, с последующим воспроизведением нормированных величин МИ в пределах ± 1000 нТл [2].

Данная задача решается на базе расширения функциональных возможностей эталонной трехкомпонентной меры - компаратора средств измерений МИ постоянного поля ЭТМК и эталонного гелий-цезиевого магнитометра ЭГМ из состава

государственного первичного эталона единиц магнитных величин ГЭТ 12-2011.

Второй актуальной задачей является метрологическое обеспечение средств измерений магнитного потока для определения свойств магнитных материалов. Установлено, что в этой задаче методические погрешности значительно превышают инструментальные погрешности измерений. С целью изучения методических погрешностей изготовлен и исследован экспериментальный образец индукционного компаратора для передачи размера Вб средствам измерений параметров магнитомягких материалов. Выполнено экспериментальное определение коэффициентов преобразования и неопределенности результатов измерений базового элемента индукционного компаратора - двухканального USB-флюксметра.

Разработаны компьютерные программы, позволяющие повысить точность измерений магнитной индукции насыщения, остаточной магнитной индукции и коэрцитивной силы магнитомягких материалов.

Литература

1. В.Я.Шифрин, В.Н. Хорев, В.Н. Калабин, С.Л. Воронов, А.Е. Шилов, Измерительная техника, 2012, № 7, стр. 3-7.
2. В.Я. Шифрин, В.Н. Калабин, Д.И. Беляков, Измерительная техника, 2016, № 9, стр. 46 – 48.

DEVELOPMENT OF STANDARD BASE IN SPHERE OF A MAGNETIC FLUX DENSITY AND MAGNETIC FLUX MEASUREMENTS

Belyakov D.I, Khorev V.N., Shilov A. E., Shifrin V.Y.

D.I.Mendeleyev Institute for Metrology

V.Ya.Shifrin@vniim.ru

One of the main purposes of the research discussed in this report is the expansion of the range of Metrological assurance for the measurements of magnetic flux density (MFD) basing immediately on the state primary standard GET 12-2011 [1] from the existing limits of $1 \cdot 10^{-6}$ - $1 \cdot 10^{-3}$ T up to a range of $1 \cdot 10^{-8}$ - 1 T, which meets the new requirements of the industry, defense and scientific research.

Fundamental limitations exist, connected with the non-agreement of measurement ranges based on the existing methods of quantum measurements within the limits of $1 \cdot 10^{-8}$ - $1 \cdot 10^{-3}$ T and $1 \cdot 10^{-3}$ - $2 \cdot 10^{-2}$ T. It used to make impossible direct transfer of Tesla unit from GET12-2011 to all areas of measurements in the range from $1 \cdot 10^{-8}$ up to 1 T.

Methods and techniques of transfer of MFD unit in the range from 1 mT up to 1 T from the GET 12-2011 State standard to the operational teslameters have been developed in the last two years. They include transfer of the unit from the standard helium-cesium magnetometer to the AMR comparator at the MFD values of 1 - 1,5 mT and from AMRC to a developed nuclear magnetic resonance (NMR) teslameter within the range of 15 - 25 mT. The range from 15 mT up to 1 T is spanned by the NMR teslameter, built on the previously experimentally measured Hz/T constant for converting the NMR frequency into the units of MFD being measured.

MFD unit transfer within the range of 1000 to 10 nT is carried out by means of the developed method and programmed techniques of precision Earth magnetic field (20 – 100 μ T) compensation, "zero" MFD control and reproduction by a phase AMR-frequency comparator with normalized increment in the limits of ± 1000 nT [2]. This function is realized on the basis of DC MFD standard comparator and standard helium-cesium magnetometer included in the state primary standard GET 12-2011.

The second urgent task is metrological assurance of magnetic flux measurements in order to determine the properties of magnetic materials.

It has been established that methodological errors considerably exceed instrumental measurement errors in this task. With the aim of exploring methodological errors, an experimental model of induction comparator has been built and investigated, whose purpose is to transfer the unit of Wb to measurement instruments used for soft magnetic materials.

Conversion factors and uncertainty of measurement results for the dual USB-fluxmeter, which is the base element of induction comparator, were experimentally determined.

Software has been developed to provide for an increase in measurement accuracy of the magnetic saturation induction, residual magnetic induction and coercive force in soft magnetic materials.

References

1 Shifrin V.Y., V.N. Khorev, V.N. Kalabin, S.L. Voronov, A.E. Shilov, "State standards: state primary standard for the units of magnetic induction, magnetic flux, magnetic moment, and magnetic induction gradient" // Measurement Techniques, Издательство: Springer New York Consultants Bureau ISSN: 0543-1972. - 2012. - №7. - С. 739-744.

3. Shifrin V. Ya, Kalabin V. N, Belyakov D.I. "Development of a Reference Framework for the Measurement of Magnetic Induction of a Constant Field in the Range of Geomagnetic and the Hypo-Geomagnetic Values", Measurement Techniques, 59(9), 975-978, DOI 10.1007/s11018-016-1078-y, Springer 2016.

РАЗВИТИЕ ЭТАЛОНОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В РЕГИОНАЛЬНЫХ ЦЕНТРАХ МЕТРОЛОГИИ

Павлов Р.В.

ФБУ «Тест-С.-Петербург»

pavlov-ruslan@mail.ru

Региональные метрологические центры, как правило, в качестве исходных эталонов располагают вторичными эталонами или рабочими эталонами первого разряда. Традиционными задачами при этом являются:

1. автоматизация эталонов и измерительных процедур, повышение уровня интеллектуализации эталонных измерительно-вычислительных комплексов;

2. повышение точности эталонов;

3. расширение диапазонов при выполнении работ по поверке и калибровке.

К традиционным задачам необходимо добавить развитие системных подходов к развитию эталонов в области измерения электрических величин. Этот подход позволяет совершенствовать методики измерений, калибровки, поверки на основе передовых достижений в области измерительной техники, методов измерений, автоматизации и информатизации измерений. К этому необходимо добавить тот факт, что эталоны электрических величин связаны согласно закону Ома, что определяет их комплексный характер. Системный подход следует учитывать при развитии технических средств, обеспечивающих функционирование эталонов в области электрических измерений. Последние, согласно международным стандартам, относятся к измерительному оборудованию наряду со средствами измерений.

Комплексный подход при развитии эталонов в ФБУ «Тест-С.-Петербург» учитывал: расширение диапазона частот при совершенствовании Государственного вторичного эталона единицы электрического напряжения; повышение уровня

автоматизации всех эталонов в области электрических измерений; совершенствование термостатов устройств коммутации для подключения мер электрического сопротивления. На основе информационного отбора в состав эталонов были включены новые преобразователи, комплекты термостатированных мер электрического сопротивления с адаптированной для целей автоматизации системой коммутации, разработано новое программное обеспечение, решены вопросы автономной работы измерительных преобразователей. Проведенные работы содействовали повышению уровня обеспечения единства измерений, качества и метрологической надежности применяемых эталонов.

DEVELOPMENT OF ELECTRICAL QUANTITY MEASUREMENT STANDARDS IN REGIONAL METROLOGICAL CENTRES

Pavlov R.V.

State Centre "Test-St.Petersburg"

pavlov-ruslan@mail.ru

Regional metrological centers, as a rule, deal with secondary or first class working measurement standards as reference standards. Traditional tasks in their activities are:

1. Automatisaton of measurement standards and measurement procedures, improvement of intellectualization levels of standard measuring and computing complexes.
2. Improving the accuracy of measurement standards.
3. Expansion of verification and calibration ranges.

Development of systematic approaches in the field of electrical measurement should be added to those traditional tasks. These approaches allow to improve procedures for measurement, calibration and verification on the basis of actual advances in measuring devices, procedures automatisaton and informatisation of measurements. Moreover, electrical measurement standards are inter-linked according to the Ohm's law, which defines their complex nature. Systematic approach should be considered in development of technical means providing for the functionality of measurement standards in the field of electrical measurements.

Complex approach to development of measurement standards in the State Centre "Test-Saint-Petersburg" takes the following into account: expansion of frequency ranges as a result of the improvements in the State secondary standard of electrical voltage; an increase in automatisaton levels for all standards in the field of electrical measurements; improvements in thermostats of commutative devices for connection of electrical resistance measures. On the grounds of informational selection, new converters, sets of thermostatic measures of electrical resistance with commutation system adapted for the purposes of automatisaton were included into the standards; also, new software was developed, and the tasks of autonomous work of measurement converters were solved. These works helped to improve the level of measurement aurance, quality and metrological reliability of standards used.

**МНОГОЗНАЧНАЯ МЕРА НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ
ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ КОНТАКТОВ ИЗ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
СВЕРХПРОВОДНИКОВ**

Клушин А.М.¹, Хоршев С.К.²

¹ *Институт физики микроструктур РАН, г. Нижний Новгород*

² *АО «ФНПЦ «ННИПИ «Кварц» имени А.П. Горикова», г. Нижний Новгород*

a_klushin@ipmras.ru

Разработана многозначная мера напряжения N4-21 [1], в которой используются прецизионные свойства стабилитронов и квантовые свойства джозефсоновских контактов из высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП), работающих при температуре 74-77 К. В докладе обсуждаются параметры джозефсоновских контактов из ВТСП, принципы построения меры напряжения на их основе, а также метрологические характеристики нового прибора. Проведенные сличения с микросхемой из ниобия, охлаждаемой до температуры 4.2 К, показали, что типичное значение относительной неопределенности выходного напряжения меры не превышает 5×10^{-8} [2], и по своим параметрам новый прибор удовлетворяет требованиям, предъявляемым к эталонным средствам измерения.

Литература

1. Мера напряжения N4-21, <http://www.kvarz.com/general/N4-21.html>
2. Khorshev S.K., Pashkovsky A.I., Rogozhkina N.V., Levichev M.Yu., Pestov E.E., Katkov A.S, Behr R., Kohlmann J., Klushin A.M. Conference Digest, art. no. 7540701, DOI: 10.1109/СРЕМ.2016.7540701, Conference on Precision Electromagnetic Measurements (СРЕМ 2016).

**MULTIVALUE VOLTAGE STANDARD BASED ON HIGH TEMPERATURE
SUPERCONDUCTOR JOSEPHSON JUNCTIONS**

Klushin A.M.¹, Khorshev S.K.²

¹ *Institute for Physics of Microstructures of the Russian Academy of Sciences (IPM RAS),*

Nizhny Novgorod, Russia

² *Institute of Electronic Measurements (IEM) KVARZ, Nizhny Novgorod, Russia*

a_klushin@ipmras.ru

We have developed a multivalued voltage reference standard N4-21 [1] in which the precision properties of the Zener diodes and quantum properties of high-temperature superconductor (HTS) Josephson junctions, working at the temperatures of 74-77 K are used. The report describes the parameters of the HTS Josephson junctions, the construction principles of the voltage standard, as well as metrological properties of the new device. The direct comparison against an array of niobium Josephson junctions cooled to 4.2 K reveals that the typical value of the relative uncertainty of the output voltage of our standard does not exceed 5×10^{-8} [2], and thus, the new device meets the requirements for the reference standard measuring instruments.

Reference

1. Voltage standard N4-21, <http://www.kvarz.com/general/N4-21.html>
2. Khorshev S.K., Pashkovsky A.I., Rogozhkina N.V., Levichev M.Yu., Pestov E.E., Katkov A.S, Behr R., Kohlmann J., Klushin A.M. Conference Digest, art. no. 7540701, DOI:

10.1109/СРЕМ.2016.7540701, Conference on Precision Electromagnetic Measurements (СРЕМ 2016).

РОССИЙСКИЕ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВЫЕ И ДИОДНО-ДЕТЕКТОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ВЫСШЕЙ ТОЧНОСТИ

Гуревич М.Л.¹, Шевцов В.И.²

¹АО «ФНПЦ «НИИПИ «Кварц», г. Нижний Новгород,

²ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», г. Санкт-Петербург

MLGurevich@mail.ru

V.I.Schevtsov@vniim.ru

В рабочих эталонах 1-го и 2-го разрядов по ГОСТ Р 8.848-2015 предусматривается использование первичных преобразователей переменного напряжения в постоянное напряжение. В диапазоне частот до 30 МГц такие преобразователи строятся на основе электротепловых, а в диапазоне до 2000 МГц – на основе диодно-детекторных устройств. Однако многие из этих преобразователей разработаны более 30 лет назад, выработали свой ресурс и не удовлетворяют современным метрологическим и эксплуатационным требованиям.

Теоретические и экспериментальные исследования, выполненные учеными приборостроительного института «Кварц» (г. Нижний Новгород) и «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», завершились созданием новых прецизионных преобразователей, основанных на сочетании специализированных элементов микроэлектроники и оригинальных схемно-технических и конструктивных решений: В9-14, В9-25, ПНТЭ-35, ПНТЭ-36, В7-83, которые прошли испытания, внесены в «Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений» и успешно применяются во вторичных эталонах, а также в эталонах 1-го и 2-го разряда региональных центров метрологии РФ.

В докладе приводятся основные характеристики, и оценивается опыт применения новых приборов.

RUSSIAN ELECTROTHERMAL AND DIODE-DETECTOR TECHNOLOGIES FOR MEASURING AC VOLTAGES ON THE HIGHEST LEVEL OF ACCURACY

Gurevich M.L.¹, Schevtsov V.I.²

¹Scientifics Institute of electronic measurements «KVARZ» (Nizhny Novgorod)

²D.I. Mendeleev Institute for Metrology «VNIIM» (Saint Petersburg)

MLGurevich@mail.ru

V.I.Schevtsov@vniim.ru

Working measurement standards of the 1st and 2nd class in accordance with the GOST R 8.848-2015 suppose that primary AC-DC converters are used. In the frequency range of up to 30 MHz; such converters are constructed on the basis of electrothermal devices, and in the range of up to 2000 MHz – on the basis of diode-detector ones. However, many of these converters were designed more than 30 years ago and have reached the end of their service life, so they do not meet modern metrological and operational requirements anymore.

Theoretical and experimental investigations carried out by scientists of the Institute of electronic measurements "KVARZ" (Nizhny Novgorod) and D.I. Mendeleev Institute for

metrology resulted in the creation of new precision converters based on a combination of specific elements of microelectronics and original circuit-engineering and structural solutions: V9-14, V9-25, PNTE-35, PNTE-36, B7-83 converters, that have been certified and included in the Federal information fund for metrological assurance, and are now successfully used in secondary measurement standards, as well as in standards of the 1st and 2nd class of the Russian regional centers for metrology.

The report describes main characteristics of the new devices, analyses and evaluates the experience of their use.

ПРИБОРЫ ВЫСШЕЙ ТОЧНОСТИ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Заславский В.А.

ООО предприятие «ЗИП-Научприбор»

zslv@znp.ru

«ЗИП-Научприбор» образован на базе СКБ завода «ЗИП» г. Краснодар (с 1949 г.) Разрабатывает и изготавливает эталонные и высокоточные приборы и устройства. Получателей продукции более 3000: все институты и метрологические центры Госстандарта, метрологические службы силовых Министерств, ведущие научные и производственные центры ракетно-космической, атомной отраслей, предприятия ТЭК и т.д.

Основная номенклатура метрологических приборов:

- Однозначные, многозначные и термостатированные меры сопротивления, такие как: МС3050М, МС3050Т, МС3070М. Все эти приборы входят в Национальные и Специальные эталоны сопротивления, температуры, напряжения и тока;
- Имитаторы термопреобразователей сопротивления МК3002;
- Компараторы-калибраторы универсальные КМ300;
- Новое поколение цифровых многозначных мер электрического сопротивления МС3071 в диапазоне 0,01 Ом – 100 МОм, шагом от 0,001 Ом, классом точности до 0,001, с автоматической компенсацией начального сопротивления и отклонения от номинала.

Высокие метрологические характеристики приборов обеспечивается в первую очередь за счет особостабильных резисторов собственной разработки и производства и термостабилизацией метрологически важных узлов и схем.

В разработке находятся:

- Новое поколение цифровых омметров СО 3001, диапазон 1 Ом – 1ГОм с основной погрешностью до 0,002.
- Прецизионный воздушный термостат для крупногабаритных эталонных приборов с объемом камеры 225 литров (630x590x610 мм), диапазоном воспроизводимых температур от 5 до 50 °С и точностью поддержания до ±0,02 °С.

Основные объекты термостатирования:

Меры электрического сопротивления многозначные:

- МС 3071 – 1 шт.
- МС 3070 (МС 3070М-2) – 1 шт.
- Р3026 – 1 шт.

Меры электрического сопротивления однозначные:

- Р3030, Р3031, МС3050 - 20 шт.
- Р310, Р321 - 12 шт.
- Р4015-Р4018 - 9 шт.

Нормальные элементы:

- МЭ4700, МВ4700, Х4810, Х480, Х485/1, Х485/3 – 20 шт.
- Х488/1.../3 - 3 шт.
- Термостатированные комплекты однозначных мер в диапазоне сопротивления от 0,001 Ом до 10 МОм в стоечном (19'') и настольном вариантах, с точностью поддержания температуры до $\pm 0,005$ °С.

Многие из наших приборов созданы в сотрудничестве со специалистами ВНИИМ, начиная с создания и исследования катушек сопротивления номиналом 1 Ом в 50-е годы по руководством к.т.н. В.П. Шигорина. Это сотрудничество продолжает активно развиваться и в настоящее время, в том числе в области совершенствования эталонов электрического сопротивления, напряжения, тока и мощности.

HIGH PRECISION DEVICES IN ELECTRICAL AND THERMAL MEASUREMENTS

Zaslavsky V.A.

The company "ZIP-Nauchpribor", Ltd

zslv@znp.ru

"ZIP-Nauchpribor" was formed in 1992 on the basis of a special design office at "ZIP" factory in Krasnodar (est. 1949). It develops and produces standard and high-precision instruments and devices. There are more than 3000 consumers of our products: institutions and metrological centers of the state Committee for standardization, the metrological service of the Ministry of defence, leading scientific and production centers of space and nuclear industries, fuel and energy complex enterprises, etc.

The main range of metrological devices is as follows:

- standard resistor MC3050M, resistance box MC3070M, thermostable set of standard resistors MC3050T. All of these devices are included in National and Special standards for resistance, temperature, voltage and current;
- resistive temperature transducer simulator RTDs MK3002;
- universal comparator, calibrator KM300;
- a new generation Precision Programmable Resistance Box MC3071 in the range of 0.01 Ohm – 100 MOhm, increments of 0.001 Ohm, accuracy class up to 0.001, with automatic compensation of the initial resistance and of the deviation from the nominal value.

High metrological characteristics of devices are achieved primarily through highly stable resistors of the company's own design and production and thermostabilization of metrologically important parts and circuits.

Design and development of the following devices is still in progress:

- New generation of digital ohmmeters CO 3001 from 1 Ohm to 1GOhm with basic accuracy of up to 0,002.
- Precision air thermostat for large standard devices with a chamber volume of 225 liters (630x590x610 mm), 5 to 50 C temperature range, and control accuracy of up to ± 0.02 C.

The main objects of temperature control:

Resistance Box:

- MC 3071 – 1 unit.
- MC 3070 (MC 3070M-2) – 1unit.
- P3026 – 1 unit.

Standard Resistors:

- P3030, P3031, MC3050, MC3080 - 20 units.

- P310, P321, P331 -12 units

- P4015-P4018 - 9 units.

Normal elements:

- МЭ4700, МВ4700, Х4810, Х480, Х485/1, Х485/3 – 20 units.

- Х488/1.../3 - 3 units.

- Temperature-controlled set of Standard Resistors from 0.001 Ω to 10 M Ω in a rackmount (19") and board versions, with temperature accuracy of up to $\pm 0,005$ C.

Many of our devices have been created in cooperation with VNIIM experts, which started as long ago as in 1950, with the creation and study of 1 Ohm coil Standard Resistors under guidance of Ph. D. V. P. Shigorin. This cooperation continues at present in the field of improvement of reference standards of electrical resistance, voltage, current and power.

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ОПИСАНИЯ НЕСТАБИЛЬНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Данилов А.А.¹, Спутнова Д.В.²

¹ ФБУ «Пензенский ЦСМ»

² ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»

aa-dan@mail.ru

Рассматриваются вопросы оценки нестабильности средств измерений, применяемых при калибровке. Проводится анализ пригодности математических моделей для введения поправок на нестабильность средств измерений на протяжении интервала времени до наступления момента очередной калибровки.

Сопоставительный анализ проводится для следующих моделей: средняя скорость дрейфа, усредненная по нескольким отсчетам, средняя скорость дрейфа, оцененная регрессионным методом, а также скорость дрейфа, оцененная методами простой, линейно-взвешенной или экспоненциальной скользящей средней. Сопоставление проводится не только моделированием, но и на основе обработки результатов экспериментальных исследований.

ANALYSIS OF MODELS FOR DESCRIPTION OF INSTABILITY IN MEASURING INSTRUMENTS

Danilov A.A.¹, Sputnova D.V.²

¹ FBU "Penza TsSM"

² FGBOU VO "The Penza state university"

aa-dan@mail.ru

Issues related to assessing instability of the measuring instruments used for calibration are considered. The report also analyses how suitable the existing mathematical models are for corrections for instability of measuring instruments throughout the interval of time between calibrations.

The comparative analysis is carried out for the following models: the average rate of drift averaged on multiple readings, the average rate of drift estimated by a regression method, and also the drift rate evaluated by methods of simple, linear-weighted or exponential moving average. Comparison is not only carried out through modelling, but also on the basis of experimental results.

КАЛИБРОВКА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Баталов Л.А.¹, Нестеров В.В.²

¹ ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова»

² ООО «Магнитные приборы»

zlokor88@gmail.com

В работе рассматривается проблема калибровки многодатчиковых магнитоизмерительных систем при отсутствии возможности применения общепринятых методик калибровки на основе использования меры магнитной индукции [1]. Предлагается методика калибровки, основанная на анализе сигналов датчиков, индуцированных источниками магнитного момента, входящими в состав калибровочной установки. Данная методика включает в себя два этапа: на первом этапе определяются магнитные параметры всех излучающих катушек по сигналу с опорного датчика с известным набором параметров. На втором этапе, используя значения этих параметров, с помощью вычислительных процедур определяется набор геометрических и магнитных параметров калибруемых датчиков многодатчиковой системы.

Путем измерения выходного сигнала опорного датчика при его перемещении на стенде, формируется массив данных, пригодный для использования методов нелинейной оптимизации [2] с линейными ограничениями, в которых искомыми параметрами являются геометрические и магнитные параметры источников магнитного момента и датчиков многодатчиковой системы. В основе численного алгоритма определения параметров лежит метод Левенберга-Марквардта для целевой функции, построенной по теоретическим представлениям источников магнитного момента.

Рассматриваются условия, необходимые для реализации предлагаемой методики калибровки, различные модели излучающих катушек; проводится сравнение с экспериментальными данными, полученными при создании стенда для калибровки датчиков магнитного блока хирургической навигационной системы [3]. Анализируется погрешность метода.

Литература

1. Афанасьев Ю.В., Студенцов Н.В., Хорев В.Н., Чечурина Е.Н., Щелкин А.П. Средства измерений параметров магнитного поля. Л.: Энергия. Ленинградское отделение, 1979., глава 2
2. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. М.: Мир, 1985. — 509 с.
3. Alfred M. Franz, Tamás Haidegger, Wolfgang Birkfellner, Kevin Cleary, Terry M. Peters and Lena Maier-Hein. Electromagnetic Tracking in Medicine – a Review of Technology, Validation and Applications. IEEE Transactions on Medical Imaging, May 2014, doi: 10.1109/TMI.2014.2321777

CALIBRATION OF THE MAGNETIC INDUCTION SENSORS USING NONLINEAR OPTIMISATION TECHNIQUE

Batalov L.A.¹, Nesterov V.V.²

¹ Petersburg nuclear physics institute of National Research Centre "Kurchatov Institute"

² "Magnetic devices" ltd.

zlokor88@gmail.com

Presently, we are considering the problem of multisensory magnetometric systems calibration under conditions of unavailability of conventional calibration techniques based on

operations with magnetic induction reference coil [1]. We propose a technique based on analyzing signals induced by magnetic moment sources included in the calibration equipment. This method is two-stepped. At first, the magnetic parameters of all emitting coils are to be determined relying on the reference sensor signal. The reference sensor has predetermined characteristics. At the second step these characteristics are numerically converted into a set of geometric and magnetic parameters of sensors being calibrating.

The data array suitable for nonlinear optimization [2] technique application is formed by collecting data on the output signal from the reference sensor being moved on the bench. The sought parameters are the magnetic and geometric parameters of both magnetic moment sources and sensors of multisensory system. Necessary linear constrains are applied in order to narrow the area of search. Levenberg–Marquardt algorithm for the goal function built on theoretical equation describing magnetic moment sources is used for parameter determination.

The conditions of proposed calibration layout implementation are considered, including different emitting coils. The comparison with experimental evidence is carried out. The experimental data is drawn from operations with magnetic module of surgical navigation station. Tolerance of the method is being analysed.

Литература

1. Afanasev Yu.V., Studentsov N.V., Horev V.N., Chechurina E.N., Schelkin A.P. Sredstva izmereniy parametrov magnitnogo polya. L.: Energiya. Leningradskoe otdelenie, 1979, chapter
2. Nocedal, Jorge; Wright, Stephen J. (2006). Numerical Optimization (2nd ed.). Springer.
3. Alfred M. Franz, Tam'as Haidegger, Wolfgang Birkfellner, Kevin Cleary, Terry M. Peters and Lena Maier-Hein. Electromagnetic Tracking in Medicine – a Review of Technology, Validation and Applications. IEEE Transactions on Medical Imaging, May 2014, doi: 10.1109/TMI.2014.2321777.

ВЫСОКОТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА СВЧ С ПОМОЩЬЮ КОМБИНИРОВАННЫХ МНОГОПОЛЮСНЫХ РЕФЛЕКТОМЕТРОВ

Львов А.А.¹, Николаенко А.Ю.¹, Львов П.А.²

¹ *Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.*

² *Энгельское ОКБ «Сигнал» имени А.И. Глухарева (Энгельс, Саратовская обл.)
alvova@mail.ru*

Для высокоточных векторных измерений на СВЧ в настоящее время используются два широко известных метода: векторного вольтметра (ВВ) и многополюсного рефлектометра (МР) [1]. Метод ВВ заключается в переносе измерений в диапазон звуковых частот с помощью гетеродина, что требует наличия большого количества сложной прецизионной аппаратуры. Из-за этого измерители на основе ВВ, производимые серийно за рубежом, являются очень дорогостоящими приборами, недоступными для большинства отечественных метрологов.

Чисто теоретически, измерители на основе МР существенно проще в изготовлении. Они используют скалярные измерители мощности на выходах измерительных плеч. Однако достижение высокой точности измерений с помощью многополюсника возможно только при наличии набора прецизионных калибровочных стандартов отражения, что резко ограничивает возможности применения МР на практике.

В работах [2,3] была предложена новая конструкция МР, названная комбинированным многополюсным рефлектометром (КМР), который состоит из собственно МР и многозондовой измерительной линии (МИЛ). В работе [3] показано, что МИЛ может быть точно откалибрована по набору нагрузок, параметры отражения которых известны неточно. При этом параллельно можно оценить комплексные коэффициенты отражения самих используемых при калибровке нагрузок, а потом, зная эти параметры, откалибровать и ту часть КМР, которая является многополюсником. Поэтому, на основе КМР можно изготовить относительно недорогой и достаточно точный измеритель на СВЧ.

В работе подробно описаны методики оценивания комплексного коэффициента отражения СВЧ нагрузок с помощью КМР и его калибровки по набору нагрузок с неизвестными параметрами отражения, основанные на оптимальной обработке сигналов с выходов измерительных плеч многополюсника и МИЛ по методу максимального правдоподобия.

Далее предлагается новый измеритель, сочетающий достоинства ВВ и МР (высокая точность измерения при относительно низкой себестоимости) и максимально устраняющий недостатки обоих указанных методов. Предлагаемый измеритель использует КМР вместе со схемой понижения частоты. При этом обработка сигналов с выходов измерителей мощности многополюсника по методу максимального правдоподобия позволяет существенно упростить состав аппаратуры измерителя за счет отказа от использования направленных ответвителей и отсутствия требования идентичности каналов аналоговой обработки, что дает возможность устранить высокоточные схемы автоматической регулировки усиления и фазовой автоподстройки частоты.

Литература:

1. L'vov, A.A., Nikolaenko A.Yu., L'vov P.A. A Novel Vector Network Analyzer Using Combined Multi-port Reflectometer // Proceed. of 14th Conf. on Microwave Techniques (COMITE 2015), Pardubice, Czech Republic, 2015, P. 183-187.

2. Львов, А.А. Автоматический измеритель параметров СВЧ двухполюсников на основе многополюсника // Измерительная техника, 1996, № 2, С.10-12.

3. Львов А.А., Семёнов К.В. Метод калибровки автоматической многозондовой измерительной линии // Измерительная техника, 1999, №4. – С. 34-39.

HIGH ACCURACY MEASUREMENTS IN MICROWAVES USING COMBINED MULTI-PORT REFLECTOMETERS

A.A. L'vov¹, A.Yu. Nikolaenko¹, P.A. L'vov²

¹ *Yuri Gagarin State Technical University of Saratov*

² *OJSC "Signal" Engels Design Bureau named after A.I. Glukharev
(Engels, Saratov region)*

alvova@mail.ru

At present two techniques are mainly used for automatic measurements in microwaves, namely, vector voltmeter (VV) and multi-port reflectometer (MPR) [1]. The VV technique includes frequency down conversion to the audio range with the use of heterodyning technology, which requires a large amount of sophisticated precision equipment. Therefore, the meters based on the VV, manufactured overseas, are very expensive devices inaccessible to most Russian metrologists.

Theoretically, MR-based meters are much simpler to manufacture. They use scalar

power meters at the outputs of the measuring ports. However, it is only possible to achieve high accuracy of measurements with a multi-port if a set of precision calibration reflection standards is at hand, which sharply limits the scope of MR practical use.

In [2, 3], a new MR design was proposed, called a combined multi-port reflectometer (CMR), which consists of MR itself and multi-probe transmission line reflectometer (MTLR). The work [3] showed that MTLR can be precisely calibrated using a set of loads, whose reflection parameters are not exactly known. Moreover, at the same time, it is possible to estimate the complex reflection coefficients of all loads used in the calibration. After that, knowing these parameters, one can calibrate the part of CMR which is a conventional multi-port. For this reason, it is possible to create a relatively inexpensive and sufficiently accurate microwave meter based on CMR.

The techniques for estimating complex reflection coefficient for the device under test using CMR as well as CMR calibration with the set of unknown reflection parameters loads, based on an optimal digital signal processing of MPR and MTLR measuring ports' responses by the maximum likelihood method are discussed in the paper in detail.

Further, a new network analyzer is proposed that combines the advantages of both VV and MPR (high measurement accuracy and relatively low cost) with maximum possible elimination of their shortcomings. The proposed meter uses the CMR with frequency down conversion circuit.

In this case, the processing of signals from the power meter outputs of the CMR using the maximum likelihood method makes it possible to simplify the meter's measuring equipment significantly: the directional couplers are eliminated and the requirement for the identity of analog processing channels becomes void, which makes high-precision automatic gain controls and phase-locked loop circuits unnecessary.

On the basis of the results obtained, a conclusion is made about the prospects of the proposed microwave meters.

References

1. L'vov, A.A., Nikolaenko A.Yu., L'vov P.A. A Novel Vector Network Analyzer Using Combined Multi-port Reflectometer // *Proceed. of 14th Conf. on Microwave Techniques (COMITE 2015)*, Pardubice, Czech Republic, 2015, P. 183-187.
2. L'vov, A.A. Automatic network analyzer for microwave loads based on a multi-port // *Izmeritel'naya tekhnika*, 1996, No. 2, P.10-12.
3. L'vov, A.A., Semenov K.V. Calibration technique for automatic multi-probe transmission line reflectometer // *Izmeritel'naya tekhnika*, 1999, No. 4. – P. 34-39. multi-port // *Izmeritel'naya tekhnika*, 1996, No. 2, P.10-12.
3. L'vov, A.A., Semenov K.V. Calibration technique for automatic multi-probe transmission line reflectometer // *Izmeritel'naya tekhnika*, 1999, No. 4. – P. 34-39.

НОВЫЙ ФОРМИРОВАТЕЛЬ СИГНАЛА «ПЕТЛЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА» ДЛЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

ЛЬВОВ А.А.¹, Кузин С.А.², Львов П.А.²

¹ *Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.*

² *Энгельское ОКБ «Сигнал» имени А.И. Глухарева (Энгельс, Саратовская обл.)
alvova@mail.ru*

Мостовые схемы очень широко используются в различных измерительных системах и системах управления в качестве формирователей сигнала. Их основными

преимуществами являются простота конструкции и высокая точность измерений. Однако мостовым схемам присущи и некоторые существенные недостатки [1], а именно: 1) нелинейность передаточной функции моста; 2) зависимость достигаемой точности измерений от длины соединительных проводов (например, при дистанционных измерениях); 3) зависимость от помех, наводимых в этих проводах; 4) недостаточная линейность выходной характеристики мостовой схемы. Этих недостатков лишены формирователи сигнала, основанные на «токовой петле», впервые предложенной К.Ф. Андерсоном [2] для резистивных датчиков температуры.

Авторы предложили использовать универсальный формирователь сигнала, использующий петлевую схему, питаемую переменным током, для любых типов параметрических датчиков: чисто резистивных, емкостных, индуктивных, имеющих смешанные импедансы. В работе рассматривается предлагаемая топология формирователя «петля переменного тока» и подробно описана методика решения его уравнений для указанных выше параметрических датчиков различных физических величин. Получающиеся уравнения решаются по методу максимального правдоподобия, который, как известно, дает асимптотически несмещенные, состоятельные и асимптотически эффективные оценки параметров.

Применение оптимальной цифровой обработки сигналов, снимаемых с чувствительных элементов датчиков разной физической природы, позволяет не только существенно снизить требования к точности используемых в составе формирователя операционных усилителей и точности частоты генератора переменного тока, питающего петлю, но и значительно упростить процедуру решения системы получающихся уравнений за счет оптимального планирования эксперимента.

В работе подробно описаны процедуры уточнения частоты генератора переменного тока, основанного на решении уравнений максимального правдоподобия формирователя итерационным методом. Кроме того, описана методика оптимального планирования проводимого эксперимента по измерению исследуемой физической величины путем подбора частоты дискретизации применяемых аналого-цифровых преобразователей. В результате, матрица плана эксперимента получается с ортогональными столбцами, что существенно упрощает решение получающихся уравнений.

В конце приведены примеры использования предлагаемого формирователя сигналов для измерения давления пьезорезистивными и емкостными датчиками. Приведены результаты имитационного моделирования работы предлагаемого формирователя в сравнении с мостовыми схемами. Показано, что точность измерения давления с помощью емкостных датчиков повышается в несколько раз, при этом чувствительность датчика повышается в 2 раза по сравнению с мостовым формирователем сигналов, как для пьезорезистивного датчика давления, так и для емкостного.

На основании полученных результатов делается вывод о перспективности предлагаемого формирователя для использования в составе параметрических датчиков различных физических величин.

Литература

1. G. Asch, Les Capteurs en Instrumentation Industrielle, Bordas, Paris, 1991.
2. K.F. Anderson, IEEE I&M Magazine, Vol.1, No.1, March 1998. pp. 5-15.

**A NEW SIGNAL CONDITIONER “ALTERNATING CURRENT LOOP”
FOR MODULATING TRANSDUCERS**

A.A. L'vov¹, S.A. Kuzin², P.A. L'vov²

¹ *Yuri Gagarin State Technical University of Saratov*

² *OJSC "Signal" Engels Design Bureau named after A.I. Glukharev (Engels, Saratov region)*

alvova@mail.ru

Bridge circuits are widely used in various measuring and control systems for signal conditioning of various transducers. Main advantages of bridge circuits are well-known: the design simplicity and high accuracy of measurements. However, in some engineering applications these circuits are not capable of providing the required precision as well as versatility of measuring processes. This is due to the existence of several inherent drawbacks of the bridge circuits [1], namely: 1) nonlinearity of transfer characteristic, 2) dependence of achieved accuracy on the length of connecting cables (in distant measurements), 3) sensitivity to interferences induced in the connecting cables, 4) insufficient versatility for use in automatic measuring systems. These disadvantages of bridge circuits are not inherent to signal conditioners basing on the “current loop circuit” proposed by K.F. Anderson [2] for the resistive temperature sensors.

The authors have developed an improved general-purpose version of the current loop signal conditioner. Its main distinctive feature is the use of an AC source for loop powering. This allows for measurement taking with modulating transducers of arbitrary impedance nature (pure resistive, capacitive, inductive, combined). The proposed topology of the "alternating-current loop" is considered and the method of solving its equations for the above-mentioned parametric sensors of various physical quantities is described in detail. The resulting equations are solved using the maximum likelihood method, which is known to yield asymptotically unbiased, consistent and asymptotically efficient estimates of the parameters.

The use of optimal digital processing of signal taken from the transducers of different physical nature allows for a significant reduction in the accuracy requirements for operational amplifiers used in the conditioner and frequency of the alternator supplying the loop, but also for relative simplicity of the solution of the system of resulting equations, owing to the optimal experiment design.

The technique for alternator frequency specification based on the solution by the maximum likelihood method of the signal conditioner equations using iteration procedure is described in the paper in detail. Besides, a technique is described for optimal design of the experiment conducted to measure a physical quantity through appropriate selection of sampling frequency in the applied analog-to-digital converters. As a result, the experimental design matrix is obtained with orthogonal columns, which greatly simplifies the solution of estimating equations for the conditioner.

Finally, examples of the proposed signal conditioner use for pressure measurements by piezoresistive and capacitive transducers are given. Simulation results of the proposed signal conditioner in comparison with bridge circuits are presented. It is shown that the accuracy of pressure measurements with capacitive transducers is several times higher, while the sensitivity of the transducer is twice as high as of the bridge signal conditioner, both for a piezoresistive and for a capacitive pressure transducer.

Based on the results obtained, a conclusion is made about the promising use of the proposed conditioner in the modulating transducers of various physical quantities.

References

1. G. Asch, *Les Capteurs en Instrumentation Industrielle*, Bordas, Paris, 1991.

2. K.F. Anderson, IEEE I&M Magazine, Vol.1, No.1, March 1998. pp. 5-15.

ОБОБЩЁННАЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Мазин В.Д.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
masin@list.ru

Предлагается геометрический образ измерительного преобразования. Последовательно устанавливаются эквиваленты его главных составляющих: входного воздействия, аналогового и аналого-цифрового преобразований. Входное воздействие выражается вектором всех возмущений, определяющим мерность моделирующего векторного пространства. Координатами входного вектора являются измеряемая величина, конструктивные параметры устройства измерений и влияющие факторы окружающей среды, включая неинформативные параметры объекта измерения. В этом пространстве задаётся аффино́р – тензор чувствительностей к возмущениям, который выражает аналоговую часть преобразования, связывая входной вектор с вектором соответствующих изменений выходной величины, строго говоря, бесконечно малых. Рассматриваются структура аффино́ра и разновидности его координат. Аналого-цифровое преобразование представляется операцией вычитания двух векторов – выходной величины и её единицы, результатом которого является числовое значение. Моделирующее пространство может быть представлено как в собственно евклидовом, так и в псевдоевклидовом варианте, обладающим особыми свойствами. Выделяются важные стороны измерительного преобразования – сохранение информации об объекте и аналогия с перемещением. Первое в основном осуществляется путём использования инвариантов, второе связано с проективным отображением. Сложение изменений выходной величины, вызванных различными причинами, производится как сложение векторов, для чего на пространстве задаётся метрический тензор. Такое сложение необходимо для расчётного метрологического анализа. Кратко и строго геометрический смысл измерительного преобразования может быть сформулирован как действие аффино́рного поля средства измерений и окружающей среды на каждый бесконечно малый вектор входного воздействия с последующим вычитанием из вектора выходной величины вектора её единицы.

A GENERALIZED GEOMETRICAL MODEL OF MEASURING TRANSFORMATION

Mazin V.D.

The suggested method considers geometrical format of representing measurement conversions. The equivalent values of main components of this transformation such as input action, analog, and analog-digital conversions are preset accordingly. Input action is expressed via an all-disturbance vector that defines the dimensionality of the modelling vector space. The coordinates of this input vector are the measured value, design parameters of the measuring device itself, and environmental factors, including non-informative parameters of the object of study itself. In this space, an affinór is assigned – a tensor of sensitivities to disturbances, which represents the analog part of the conversion, linking the input vector to the vector of relevant infinitesimal variations of the output quantity. Also, the structure of such affinór and various types of its coordinates are considered. The analog-digital

conversion is represented as subtraction of two vectors: the output quantity and its unit of measurement. The result of such a conversion is a numerical value. Modelling space may be presented in both, Euclidian and pseudo-Euclidian versions; the latter having some special properties. Special consideration is given to two important aspects of measurement conversions – similarity to transposition and preservation of the information about the object. The latter is generally accomplished via employment of invariants while the former deals with projected imagery. Summation of output quantity variations caused by various reasons is accomplished as vector summations for which a metric tensor is assigned in the space. Such summation is necessary for metrological analysis calculations. A short and exact explanation the geometrical meaning of the measurement transformation can be put as follows: “Measurement transformation is defined as effect of an affiner field of both a measuring device as well as of the environment on each infinitesimal input vector, followed by the subtraction of the unit vector from the resultant output value vector.”

ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ВЫПУСКА КОМПОНЕНТНЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МАГНИТОМЕРОВ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЗОНЫ

Схоменко А.Н.¹, Степанов И.В.¹, Хасиев И.С.²

¹ АО «РПКБ»

² ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

Особенностью выпуска аэрокосмических магнитометров являются многократные проверки при настройке, регулировке и испытаниях, что при промышленном мелкосерийном выпуске (5 – 10 приборов в месяц) достаточно затратно.

В 80-е годы стал актуальным вопрос обеспечения выпуска магнитометров в условиях промышленной зоны на территории предприятия.

Рассматривалось несколько вариантов построения экранированных мер магнитной индукции:

- экран-комната со встроенной двух- или трехкомпонентной мерой;
- комплексное использование эффекта сверхпроводимости для экранирования внешних полей и создания образцовых полей;
- использование ферромагнитного многослойного экрана со встроенной безмоментной двух- или трехкомпонентной мерой.

Наиболее сложной в реализации и дорогой в эксплуатации является мера на основе эффекта сверхпроводимости.

В НПО «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» была разработана конструкция и изготовлен опытный образец сверхпроводящей экранированной меры магнитной индукции, который был реализован на базе Раменского приборостроительного конструкторского бюро (РПКБ).

Однако опытные запуски показали очевидные недостатки: сложность в эксплуатации и дороговизна хладагента. Установка данной конструкции не была запущена в эксплуатацию.

Наиболее дешёвым и удобным оказалось использование ферромагнитного экрана цилиндрической формы со встроенной мерой для размещения в обычном помещении. Такая разработка НПО «ВНИИМ» [1] была реализована в РПКБ, где эксплуатируется более 20 лет.

Установка «УПТМ-2» представляет собой конструкцию диаметром 910 мм и

длиной 2320 мм с внутренним доступным объёмом в виде сквозного цилиндра диаметром 150 мм. Трёхкомпонентная мера магнитной индукции, размещенная внутри ферромагнитного экрана и охватывающая внутренний доступный объём, выполнена безмоментной, в виде катушек, с так называемым обратным каналом. Рабочий объём меры представляет собой сферу диаметром 50 мм, где погрешность воспроизведения индукции по компонентам X, Z и Y составляет 0,02 %, 0,06 % и 0,9 % соответственно в диапазоне ± 70 мкТл и неортогональность магнитных осей составляет не более 2 угловых минут. Остаточное поле не превышает 2 нТл, а коэффициент экранирования от внешних магнитных полей превышает 500 раз в частотном диапазоне от 0 до 50 Гц.

УПТМ-2 за время эксплуатации показала свою высокую надежность и стабильность своих метрологических характеристик при минимальных эксплуатационных расходах.

По результатам эксплуатации можно сформулировать требования по совершенствованию данной установки, особенно в части увеличения рабочего объема с 50 до 100 мм. Анализ конструкции УПТМ-2 позволяет реализовать такую модернизацию путем разработки и изготовления новой безмоментной меры без изготовления нового ферромагнитного экрана и без увеличения размеров установки. Модернизации также должна подвергнуться система воспроизведения и измерения прецизионных токов меры.

Литература

1. А.Н. Схоменко, В.И. Шеремет, И.С. Хасиев. Рабочий эталон индукции постоянного магнитного поля для условий промышленной зоны. Авиакосмическое приборостроение – М. Научтехиздат. 2002 г. № 6.

EXPERIENCE IN IMPLEMENTATION OF METROLOGICAL SUPPORT OF MAGNETIC FIELD INDUCTION FOR MANUFACTURING OF AEROSPACE COMPONENT MAGNETOMETERS IN CONDITIONS OF COMMERCIAL AREA

Skhomenko A.N.¹, Stepanov I.V.¹, Khasiev I.S.²

¹ JSC “Ramenskoye Design Company”

² FSUE “D.I. Mendeleev VNIIM”

A special feature of aerospace magnetometer manufacturing is multiple checks during setting, adjustments and tests, which make commercial low-volume production of 5 – 10 units per month rather costly.

In 1980s a question arose about possibility of manufacturing magnetometers on the premises of a factory in an industrial area.

Several options for shielded measures of magnetic induction had been considered:

A screened-room with a built-in two-or-three-component measure;

Complex use of superconductivity effect for screening off of external fields and creating standard fields;

Use of ferromagnetic multilayer screen with a built-in zero-momentum two-or-three-component measure.

The measure on the basis of superconductivity effect proved the most complex in implementation and most expensive in operation.

The design and the prototype of a superconductive measure of magnetic induction were developed and manufactured in VNIIM scientific and manufacturing centre. This prototype was implemented on the base of JSC “Ramenskoye Design Company” (RDC).

However, trial runs showed evident shortcomings – excessive complexity in operation

and high cost of cooling agent. A system of this design was not put into operation.

Use of a cylindrical ferromagnetic screen with a built-in measure for placement in standard rooms proved to be the cheapest and most convenient solution. This development by scientific and research centre “VNIIM” [1] was implemented and has been used at RDC for 20 years .

“UPTM-2” is a structure of 910 mm in diameter and 2320 mm in length with the accessible internal volume in the shape of a through cylinder of 150 mm in diameter. A zero-momentum coil return channel three-component measure for magnetic induction is located inside the ferromagnetic screen and occupies the available internal volume. Operating volume of the measure is a sphere of 50 mm in diameter, with the induction reproduction error by components X, Z and Y of 0.02%, 0.06% and 0.9%, respectively, in the range $\pm 70 \mu\text{T}$ and nonorthogonality of magnetic axes of no more than 2 angular minutes. Residual field does not exceed 2 nT, and the screening coefficient from external magnetic fields exceeds 500 times in the frequency range from 0 to 50 Hz.

UPTM-2 has shown its high reliability and stability of its metrological characteristics at minimal operating costs.

The operational experience gained with the facility shows the need for some improvements in the system: most important is that the operational volume should be increased from 50 to 100 mm. The UPTM-2 design allows for implementing such an upgrade via the development and manufacturing of a new zero-momentum measure without manufacturing of a new ferromagnetic screen and without an increase in the system dimensions. The system for formation and measurement of precision measure's currents should be upgraded as well.

References

1. A.N. Skhomenko, V.I. Sheremet, I.S. Khasiev. Rabochiy etalon induktsii postoyannogo magnitnogo polya dlya usloviy promyshlennoy zony. [Working standard of constant magnetic field induction for conditions of commercial area] // Aerospace Instrument-Making – M. Nauchtekhizdat. 2002 No. 6.

СЕКЦИЯ «ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ» SECTIONAL MEETING «PHYSICO-CHEMICAL MEASUREMENTS

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ПРОБООТБОРА И ПРОБОПОДГОТОВКИ ДИСПЕРСНЫХ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ В АНАЛИТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Медведевских С.В.,

*ФГУП «Уральский научно-исследовательский институт метрологии», ул.
Красноармейская, 4, 620075, Екатеринбург*

msv@uniim.ru

Пробоотбор и пробоподготовка (ПиП) анализируемого вещества являются неотъемлемой частью большинства методик аналитических измерений и процессов производства стандартных образцов. Качество разработки и реализации в измерительных процессах методик ПиП влияет на величину соответствующих вкладов в неопределённость измерений. Для случая дисперсных твердых веществ ПиП в основном направлены на обеспечение представительности отбора и получение однородных по физико-химическим показателям проб вещества для анализа. Актуальной является задача оптимизации параметров и контроля качества методик ПиП, оценки их влияния на неопределённость измерений, особенно при применении ПиП в автоматизированных измерительных системах мониторинга, учета и контроля веществ и материалов по показателям химического состава. Обычно в основу решений этих задач положены различные модели дисперсионного анализа, не позволяющие в явном аналитическом виде математически описать процессы ПиП и требующие для своей реализации проведения большого количества экспериментов. Предлагается другой подход к описанию ПиП, связанный с разбиением заданных объема и массы вещества - и в момент времени - на доступные для измерений, базовые полностью перекрывающиеся (возможно пересекающиеся), подвергаемые ПиП и измерению объемы - массой - и с массовой долей анализируемого компонента состава вещества -, где, , ;, - радиус-вектор геометрического центра базового i -объема в объеме - . Величины рассматриваются, как некоторая совокупность случайных функций, описывающих распределение массовой доли анализируемого компонента состава по базовым объемам - и образующих конечномерный вектор состояния - . По аналогии с вектором состояния можно ввести вектор , описывающий вещество после процедур ПиП. Соотношение между этими векторами можно представить в виде , где, некоторый оператор преобразований, описывающий ПиП, - время проведения ПиП, . Для случая линейной зависимости от оператор не будет зависеть от и будет определяться с помощью матричных операторов пробоотбора и пробоподготовки, описывающих элементарные чередующиеся во времени этапы пробоотбора и пробоподготовки. Оператор пробоотбора - прямоугольная матрица размера с элементами , являющимися в общем случае случайными функциями времени и параметров пробоотбора. В идеальном случае , . Оператор пробоподготовки – квадратная матрица размера с элементами являющимися в общем случае случайными функциями времени и параметров пробоподготовки. В идеальном случае , . Данный подход был частично опробован при разработке стандартных образцов массовой доли воды некоторых твердых веществ на ГЭТ 173-2013. Его применение, позволяет использовать метод Монте-Карло, что сокращает количество экспериментов при разработке и оценке качества ПиП.

**STATISTICAL MODELS OF SAMPLING AND SAMPLE PREPARATION
PROCESSES FOR DISPERSED SOLIDS IN ANALYTICAL
MEASUREMENTS**

Medvedevskikh S.V.

URAL RESEARCH INSTITUTE FOR METROLOGY (UNIIM)

4, KRASNOARMEYSKAYA STR., EKATERINBURG, 620075

msv@uniim.ru

Sampling and sample preparation (S&SP) of a substance to be analyzed are an integral part of most analytical measurement methods and processes, when producing reference material. The quality of the development and implementation of the S&SP methods for measurements affect the value of corresponding contributions to the measurement uncertainty.

In the case of dispersed solids, S&SP are mainly aimed at ensuring the representativeness of a selection and obtaining for analysis samples of substances, which are homogeneous in terms of physical and chemical qualities. There exists a presently relevant task to optimize parameters and methods for S&SP quality control, to evaluate their influence on measurement uncertainty, especially when using S&SP in automated measuring systems for monitoring, recording and controlling substances and materials on the grounds of their chemical composition. Usually, solutions of these problems are based on various models of variance analysis, which do not allow for mathematical description of S&SP processes in explicit analytical form and require a large number of experiments for their implementation. A different approach to the description of S&SP is proposed, which involves the partition of the given volume and mass of a substance - and at the time - into available for measurement, base, overlapping completely (possibly intersecting), subject to S&SP and measurement, volumes - with the mass - and mass fraction of the analyzed component of the substance composition -, where \mathbf{r}_i , \mathbf{r}_j , \mathbf{r}_k is radius-vector of the geometric center of the base i -volume in the volume -. The values are considered as a set of random functions, describing the distribution of the mass fraction of the analyzed component of the composition by base volumes - and forming a finite-dimensional state vector -. By analogy with the state vector, the vector, describing the substance after the procedures S&SP, may be introduced. The relationship between these vectors can be presented in the form, where is a certain transformation operator, describing S&SP, is the time of conducting S&SP, . In the case of a linear dependence an operator will not depend on and will be determined by means of matrix sampling and sample preparation operators, describing elementary altering stages of sampling and sample preparation. The sampling operator is a rectangular matrix of size, with elements, which in the general case are random functions of time and sampling parameters. Ideally, . The sample preparation operator is a square matrix of size, with elements which in the general case are random functions of time and parameters of sample preparation. Ideally, . This approach was tried in the development of reference materials for mass fraction of water in certain solids on National Measurement Standard GET 173-2013. Its application makes it possible to use Monte Carlo method, which reduces the number of experiments in development and evaluation of S&SP quality.

ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ПЕРВИЧНЫЕ ЭТАЛОНЫ ВНИИФТРИ В ОБЛАСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Добровольский В.И., Оганян Н.Г., Прокунин С.В., Балаханов Д.М., Стахеев А.А.
ФГУП «ВНИИФТРИ»
vid@vniiftri.ru

Для обеспечения единства измерений во ВНИИФТРИ созданы, внедрены и успешно эксплуатируются следующие государственные первичные эталоны (ГЭТ):

1. Показателя рН активности ионов водорода и показателя активности рХ ионов в водных растворах.

Метрологические характеристики эталонов подтверждены результатами международных ключевых сличений под эгидой МБМВ.

В связи с возрастающими требованиями к рабочим эталонам рН, был разработан ГОСТ 8.135 «Стандарт-титры для приготовления буферных растворов – рабочих эталонов рН 2-го и 3-го разрядов. Технические и метрологические характеристики. Методы их определения».

В настоящее время ВНИИФТРИ выпускает эталонные вещества 1-го разряда, а также стандарт-титры и буферные растворы для приготовления рабочих эталонов рН 2-го разряда. Они прошли испытания с целью утверждения типа, внесены в Государственный реестр СИ, и являются допущенными к применению на территории России.

Допускаемые доверительные границы абсолютной погрешности (Δ) значений рН не превышают для рабочих эталонов рН:

1-го разряда - 0,004 рН (25 €); 0,006 рН (0 - 60 €); 0,010 рН (60 - 95 €);

2-го разряда - 0,01 рН;

Рабочие эталоны рН 1-го разряда, стандарт-титры 2-го разряда, цветные буферные растворы, разработанные в ВНИИФТРИ, широко используются в аналитических лабораториях, региональных и отраслевых метрологических службах, и по своим метрологическим характеристикам не уступают зарубежным аналогам.

2. ГЭТ единицы массовой концентрации кислорода и водорода, растворенных в жидких средах

Для воспроизведения единицы массовой концентрации растворенных в воде кислорода и водорода в рабочей камере используются растворы, получаемые на основе закона Генри-Дальтона насыщением раствора азотно-кислородными и азотно-водородными ПГС в замкнутом объеме в условиях постоянной температуры и заданном давлении (до 1200 кПа).

3. ГЭТ единиц дисперсных параметров аэрозолей, взвесей и порошкообразных материалов

ГЭТ используют для определения значений размера и счетной концентрации частиц, воспроизводящих единицы дисперсных параметров аэрозолей, взвесей и порошкообразных материалов, применяя методы оптической микроскопии, дифракции лазерного излучения, электрической дрейфовой подвижности, интерферометрии и счета частиц методом динамического рассеяния света, а также методом диффузионной спектроскопии. Реализация нескольких методов, позволила обеспечить измерение дисперсных характеристик аэрозолей и взвесей с метрологическими характеристиками, удовлетворяющими современные потребности промышленности, обороны и наукоемких отраслей экономики РФ. С 2015 года проводятся исследования по расширению динамического диапазона ГЭТ и его функциональных возможностей в области воспроизведения единицы дзета-потенциала.

В настоящее время ВНИИФТРИ продолжает разработку методов и средств

воспроизведения единиц дисперсных параметров аэрозолей и взвесей в нанометровом диапазоне размеров частиц, а также разрабатывается новый ГЭТ единиц массовой (молярной) концентрации неорганических компонентов в водных растворах на основе гравиметрического и спектральных методов.

VNIIFTRI STATE PRIMARY STANDARDS OF PHYSICO-CHEMICAL MEASUREMENTS

Dobrovolsky V.I, Oganyan N.G, Prokunin S.V, Balakhanov D.M, Staheev A.A.

FSUE VNIIFTRI

vid@vniiftri.ru

In order to ensure the uniformity of measurements, the following state primary standards (GET) were created, implemented and successfully used in VNIIFTRI:

1. GET of pH of hydrogen ions and GET of pX ions in buffer solutions.

The metrological characteristics of the standards were confirmed in the BIPM key comparisons.

GOST 8.135 "Standard titers for the preparation of buffer solutions - working standards for pH of 2^d and 3^d categories. Technical and metrological characteristics and methods for their identification." was developed as a response to increasing requirements to working standards of pH.

At present, VNIIFTRI produces the first category standard substances, as well as standard-titers and buffer solutions for the preparation of second category pH working standards.

The acceptance confidence limits of the absolute error () of pH values do not exceed for working standards:

1-st category - 0,004 pH (25 °C); 0,006 pH (0 - 60 °C); 0,08 pH (60 - 95 °C);

2-nd category - 0,01 pH;

2. GET of unit of oxygen and hydrogen mass concentration in liquid media.

To reproduce the mass concentration unit of oxygen and hydrogen dissolved in water, in the working chamber, solutions are used, prepared according to the Henry-Dalton law by saturation of the solution with nitrogen-oxygen and nitrogen-hydrogen gas standards in a closed volume, under conditions of constant temperature and specified pressure (up to 1200 kPa).

3. GET of disperse parameter units of aerosols, suspensions and powder materials.

GET is used to determine the amount and count concentrations of particles that reproduce units of disperse parameters of aerosols, suspensions and powder materials, using optical microscopy, laser diffraction, electric drift mobility, interferometry, and particle counting, using dynamic diffusion spectroscopy. The implementation of several methods has made it possible to measure the disperse parameters of aerosols and suspensions with metrological characteristics that satisfy the current needs of any industry, defense and science-intensive branches of economy of the Russian Federation. Since 2015, some research has been carried out to expand the dynamic range of the GET and its functionality in the area of zeta potential unit reproduction.

At present, VNIIFTRI continues to develop methods and measurement systems for reproducing units of disperse parameters of aerosols and suspensions in the nanometer range of particle sizes, as well as the new GET of mass (molar) concentrations units of inorganic components in aqueous solutions, based on gravimetric and spectral methods.

РАМАНОВСКАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ В ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

^{1,2}Конопелько Л.А., ^{2,3}Жевлаков А.П.
¹ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»
²Национальный Университет ИТМО
³ГОИ им.С.И.Вавилова

Внедрение рамановской спектроскопии в геоэкологический мониторинг характеризуется в последней декаде масштабным размахом благодаря дистанционному детектированию и распознаванию в реальном времени химических веществ и соединений в многокомпонентных средах [1,2]. Прогресс в распространении этого метода вызван рядом специфических особенностей.

В отличие от лидаров дифференциального поглощения зондирование лазерным излучением на фиксированной длине волны в рамановском анализаторе позволяет синхронно детектировать спектральные отклики множества химических веществ в любом агрегатном состоянии и вести измерения на наклонных трассах в режиме площадного сканирования.

Достигнутый уровень спектрального разрешения ($\Delta\nu=0.6 \text{ см}^{-1}$), селективности ($\nu/\Delta\nu > 10000$) и чувствительности (особенно на антистоксовых частотах) делает Раман-спектроскопию незаменимой при детектировании и идентификации изотопных структур молекулярных комплексов на уровне концентраций вплоть до 1 pptv. Максимальное сечение КР-спектроскопии приходится на УФ-область спектра. При этом наиболее благоприятным с точки зрения фоновых засветок является «солнечно-слепой» диапазон длин волн ($\lambda < 320 \text{ нм}$), в котором полоса Хартли озона экранирует поток солнечного УФ излучения.

Использование традиционных фотодетекторов (ФЭУ, фотодиодов, ЭОП) в рамановском спектрометре приводило к необходимости разнесения приемных каналов, ограничивало светосилу входного телеобъектива и число регистрируемых спектров. Современный прогресс в технологии матричных ПЗС фотоприемников с максимумом чувствительности в диапазоне 250-400нм [3] позволяет одновременно регистрировать сотни спектральных интервалов, существенно увеличить светосилу входного оптического тракта, сократить массу и габариты лидарного комплекса в целом.

Отмеченные достоинства открывают перспективу создания рамановского гиперспектрального лидара и использования его в мониторинге воздушного пространства, земной и водной поверхности на беспилотных летательных и подводных аппаратах. В докладе приводятся примеры использования Раман-спектроскопии в геохимических исследованиях атмосферы и гидросферы.

Литература

[1] Stokes R. J., Smith W. E., Foulger B. E, Lewis C. Rapid screening and identification of improvised explosive and hazardous precursor materials by Raman spectroscopy // *Proc. SPIE* 2008.v 7119. pp. 711901-1.

[2] Конопелько Л.А., Гришканич С.А., Елизаров В.В., Жевлаков А.П., Кашеев С.В., Мак А.А. Калибровка ультраспектрального рамановского лидара.//Тр. XXIV Межд. Конф. «Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и транспорте-2016» 12-17 сент. 2016, г. Новороссийск, С. 125-126.

[3] Internet: <http://www.hamamatsu.com>.

RAMAN SPECTROSCOPY IN GEOECOLOGICAL MONITORING

^{1,2}Konopel'ko L.A., ^{2,3}Zhevlakov A.P.

¹*D.I. Mendeleev Institute for Metrology*

²*IFMO University*

³*Vavilov State Optical Institute*

In the last decade, Raman spectrometry has been widely applied in the field of geo-ecological monitoring due to the possibilities it provides for remote detection and recognition of chemicals and compounds in multicomponent media. The progress in the spread of this method is determined by a number of the method's specific features.

Unlike the differential absorption lidar, laser probing at a fixed wavelength in the Raman analyzer allows for synchronous detection of spectral responses of a large array of chemical substances in any aggregate state and also for measurements on inclined paths in the areal scanning mode.

Maximum cross section of Raman spectrometry accounts for the UV spectrum region, with the "solar-blind" range of wavelengths ($\lambda < 320$ nm), in which the Hartley band of ozone blocks the flux of solar UV radiation, being most favorable in terms of background flare limitation.

The achieved level of spectral resolution ($\Delta\nu=0.6$ cm⁻¹), selectivity ($\nu/\Delta\nu > 10000$) and sensitivity (at anti-Stokes frequencies especially) makes Raman spectrometry indispensable in detection and identification of isotopic structures of molecular complexes at concentration levels even as low as 1 pptv.

The previous use of conventional photodetectors (PMT, photodiodes, streak tube) in the Raman spectrometer resulted in the requirement for spatial separation of receiving channels, limited optical efficiency of the input lens and the limited number of recorded spectra. Modern progress in the CCD matrix photodetector technology with high sensitivity in 250-400nm range [3] allows for simultaneous recording of hundreds of spectral intervals, for a substantial increase in the input optical path efficiency and a reduction in weight and dimensions of lidar system as a whole.

The putlined advantages offer prospect for creating a hyperspectral Raman lidar and using it to monitor the air, ground and water surfaces from unmanned aerial and underwater vehicles. The report gives examples of Raman spectrometry use in geochemical studies of the atmosphere and hydrosphere.

References

[1] Stokes R. J., Smith W. E., Foulger B. E, Lewis C. Rapid screening and identification of improvised explosive and hazardous precursor materials by Raman spectroscopy // *Proc. SPIE* 2008.v 7119. pp. 711901-1.

[2] Konopel'ko L.A, Grishkanich S.A., Elizarov V.V., Zhevlakov A.P., Kascheev S.V., Mak A.A. Calibration of ultraspectral Raman lidar.// *Proc. of XXI Int..Conf. «Laser-information technologies in medicine, biology, Geoecology and transport -2016»* Sept. 12-17.2016, r.Novorossyisk, Russia, P.125-126.

[3] Internet: <http://www.hamamatsu.com>.

РАЗВИТИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ЧАСТИЦ В АЭРОДИСПЕРСНЫХ СРЕДАХ

Кустиков Ю.А., Козлов Д.Н., Крамаренко Ю.А., Власов Д.А., Пинчук О.А.

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

y.a.kustikov@vniim.ru

Взвешенные частицы в воздухе (аэрозоли) являются вторым по опасности после озона фактором, влияющим на здоровье человека. Это явилось причиной быстрого роста парка средств измерения массовой концентрации аэрозолей.

В период с 2000 по 2003 г. во ВНИИМ была создана установка высшей точности УВТ 105-А-2003, а в 2003 г. на базе УВТ 105-А-2003 был утвержден государственный первичный специальный эталон единицы массовой концентрации частиц в аэродисперсных средах ГЭТ 164-2003. С 2003 г. парк средств измерений массовой концентрации частиц в воздушных средах претерпевает значительные изменения по своему структурному и количественному составу. В первую очередь этому способствовало введение в действие законов Российской Федерации № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений», № 96-ФЗ «Об охране окружающей среды», № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», а также появление в 2010 г. новых национальных гигиенических нормативов, устанавливающих требования к предельно допустимым концентрациям загрязняющих веществ (в том числе – взвешенных частиц) в атмосферном воздухе населенных мест.

Особенностью новых нормативов является то, что в них впервые сформулированы требования к предельно допустимым концентрациям респираторных фракций аэрозолей – РМ_{2.5} и РМ₁₀. Таким образом, в РФ возникла необходимость применения новых типов анализаторов аэрозолей, оснащенных преобразователями фракционного состава и осуществляющих разделение частиц по фракциям, обеспечивающих контроль не только предельно допустимых концентраций всех взвешенных частиц, но и концентраций отдельных фракций частиц (РМ_{2.5}, РМ₁₀).

Необходимость решения задачи метрологического обеспечения измерителей массовой концентрации новых типов обусловила постановку работы по совершенствованию комплекса аппаратуры в составе эталона, которая завершилась утверждением государственного первичного специального эталона ГЭТ 164-2016.

В основу государственного первичного эталона ГЭТ 164 положены два метода измерений: гравиметрический метод измерения массовой концентрации взвешенных частиц и радиоизотопный метод измерения.

Гравиметрический метод измерения, который является первичным методом, в том числе, и по определению документов Консультативного комитета по количеству вещества ВРМ, служит для воспроизведения единицы массовой концентрации взвешенных частиц.

Радиоизотопный метод основан на поглощении β -излучения слоем аэрозольных частиц, предварительно осажденных на фильтре, и служит для передачи единицы массовой концентрации взвешенных частиц.

Сравнение метрологических характеристик первичных эталонов единицы массовой концентрации взвешенных частиц показывает, что усовершенствованный эталон обладает расширенной неопределенностью не хуже, чем национальные эталоны других стран, однако обладает более широким диапазоном измерения и нацелен на решение большего числа измерительных задач.

В настоящее время создана группа рабочих эталонов, обеспечивающих передачу единицы массовой концентрации в различных регионах Российской Федерации.

PROGRESS IN METROLOGICAL PROVISION OF MEASUREMENTS OF MASS CONCENTRATION OF PARTICLES IN AERODISPERSE MEDIUM

Kustikov Yu.A., Kozlov D.N., Kramarenko Yu.A., Vlasov D.A., Pinchuk O.A.

D.I. Mendeleev Institute for Metrology

y.a.kustikov@vniim.ru

Suspended particles in the air (aerosols) are the second most hazardous factor after ozone, affecting human health. This has triggered the rapid growth of the stock of instruments to measure mass concentration of aerosols.

In the period from 2000 to 2003, a high accuracy unit UVT 105-A-2003 was created at VNIIM, and in 2003, based on it, the State Primary Special Standard of the unit of mass concentration of particles in an aerodisperse medium GET164-2003 was approved. Since 2003, the stock of instruments to measure mass concentration of particles in air has undergone significant structural and quantitative changes. Primarily, these changes were facilitated by adoption of the Russian Federation laws No. 102-FZ “On Ensuring the Uniformity of Measurements”; No. 96-FZ “On Environmental Protection”; No. 52-FZ “On Sanitary and Epidemiological Welfare of the Population”; as well as by adoption in 2010 of new national hygienic standards, which establish requirements for the permissible exposure limit for pollutants (including suspended particles) in the air of populated areas.

A special aspect of the new standard is that it states the requirements for the permissible exposure limit for respirable aerosol fractions PM_{2.5} and PM₁₀. Thus, the need arose to use new types of aerosol analyzers equipped with the fraction composition converters that separate particles into fractions to ensure control not only of permissible exposure limit of concentration of all suspended particles, but also of concentrations of individual fractions (PM_{2.5} and PM₁₀).

The need to ensure the metrological assurance of the new mass concentration meters determined the start of the work on improving the equipment of the Standard, as a result of which State Primary Special Standard GET 164-2016 was developed and approved.

GET 164-2016 is based on two measurement methods: a gravimetric technique to measure the mass concentration of suspended particles and a measurement technique using radioisotopes.

The gravimetric method is a primary method by the definition stated in the BIPM CCQM documents, and it is used to reproduce the mass concentration unit for suspended particles.

The radioisotope method is based on β -radiation absorption by a layer of aerosol particles deposited on a filter, and it is used to transfer the mass concentration unit for suspended particles.

Comparisons of metrological characteristics of primary standards of the mass concentration of suspended particles show that the improved standard has the expanded uncertainty which is not worse than that of national standards of other countries, and, at the same time, it has a wider measurement range and thus is able to perform a larger number of measurement tasks.

By now, a group of working standards has been created making it possible to disseminate the mass concentration unit to various regions of the Russian Federation.

НОВАЯ МЕТРОЛОГИЯ ВОДОРОДА ПОВЫСИТ БЕЗОПАСНОСТЬ ОБЪЕКТОВ ВПК И ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИТ ЛИДЕРСТВО В СОЗДАНИИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ

Л.А. Конопелько¹, А.М. Полянский², В.А. Полянский³, Ю.А. Яковлев³

*¹ФГУП "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева" 190005, Россия, Санкт-Петербург
Московский пр., 19*

*²ООО «НПК ЭПТ», 198188 Россия, Санкт-Петербург, ст. Броневая, 6.
ampol@electronbeamtech.com*

³ИПМаш РАН 199178 Россия, Санкт-Петербург, Большой проспект В.О., 61

Водород является самым опасным элементом для всех конструкционных материалов. Наличие его внутри материалов приводит к металлургическим дефектам, снижению усталостной прочности, пластичности и трещиностойкости, индуцирует развитие коррозии, стресс-коррозии, хладноломкости. Статистика техногенных аварий в нефтегазовом комплексе показывает, что в 80% случаев разрушение конструкций спровоцировал растворенный в металле водород. Для всех групп металлов и сплавов его концентрация нормирована стандартами. Иногда задают "норму" и предельно допустимую концентрацию.

Самая острая проблема современности состоит в использовании высокой доли вторичного металла, что приводит к повышенным концентрациям водорода в готовой продукции. Основной производитель чёрных металлов – Китай – уже использует при производстве сталей высокий процент металлолома. Евросоюз принял директиву о 100% утилизации вторичных металлов на своей территории до 2025 года. Это означает, что доля металлолома в европейских сталях может составить 70% (при современной норме – не более 7%). Из-за исчерпания рудных запасов по некоторым жаропрочным сплавам доля вторичного металла уже сейчас составляет 100%.

Россия интегрирована в мировой процесс разделения труда. Вопрос согласования СИ и стандартов становится определяющим в обеспечении безопасности. Водород является единственным элементом, по которому отсутствует согласованная нормативная база. Международные сличения и исследования, проведенные по европейской рамочной программе, показали расхождение до семи раз! между аттестованным и реальным содержанием водорода в эталонах различных производителей.

Основными проблемами являются:

*разнородность материалов, необходимых для создания эталонной базы;

*широкий диапазон и чрезвычайно низкие значения нормированных концентраций водорода, которые составляют от 0,04 [млн⁻¹] для алюминиевых сплавов до 30 [млн⁻¹] для титановых сплавов;

*неспособность большинства имеющихся на рынке СИ обеспечить измерения во всем диапазоне концентраций водорода и для всей номенклатуры сплавов, необходимых для функционирования современной промышленности.

Мы, разрабатываем отечественную метрологическую базу, средства и методы измерения содержания водорода на основе нового эталона потока водорода в вакуум и универсального масс-спектрометрического метода измерения концентраций водорода. Быстрое решение существующих проблем будет означать лидерство РФ в обеспечении надёжного и безопасного функционирования объектов ОПК и объектов гражданского назначения, особенно в условиях крайнего Севера, позволит осуществить импортозамещение СИ в этой критически важной области, улучшить качество существующих материалов и создать новые материалы шестого технологического уклада. С 2000 года выпускается серийно отечественный универсальный масс-

спектрометрический анализатор водорода АВ-1, который может стать основой для быстрого внедрения разрабатываемых технологий.

BENEFITS OF NEW HYDROGEN METROLOGY FOR MILITARY-INDUSTRIAL COMPLEX, CIVIL APPLICATIONS, NEW MATERIALS AND TECHNOLOGIES

L.A. Konopel'ko¹, A.M. Polyanskiy², V.A. Polyanskiy³, Yu.A. Yakovlev³

¹*D.I.Mendeleev Institute for Metrology, 190005 Russia, St. Petersburg, Moskovsky pr., 19*

²*RDC Electron and Beam Technology, 198188 Russia, St. Petersburg, Bronevaya st., 6.*

³*IPME RAS 199178 Russia, St. Petersburg, V.O., Bolshoj pr., 61*

Hydrogen is one of the most dangerous elements for all constructional materials. Even a relatively insignificant amount of hydrogen results in appearance of metallurgical defects, reduction in fatigue strength, ductility and crack resistance. Hydrogen in materials induces the development of corrosion, stress corrosion, and cold-brittleness. Statistics for industrial accidents in oil and gas shows that hydrogen dissolved in the metal of constructions was responsible for 80% of all cases. For all groups of metals and alloys, there are standard permissible and maximal permissible concentrations of hydrogen.

Today, one of the most acute problems is the use of a high proportion of secondary metal, which leads to increased concentrations of hydrogen in the final products. The main producer of ferrous metals, China, already uses a high percentage of scrap iron in the steel industry. The European Union has adopted a directive, according to which 100% of secondary metals on its territory are to be recycled by 2025. This means that the share of scrap iron in European steels can reach as high as 70% (at current standard rates, it is no more than 7%). Due to the exhaustion of ore reserves, for some heat-resistant alloys, presently, the share of secondary metal in some products is already in the region of 100%.

Russia is integrated into the world's trend for division of labour. The issue of unification of Measurement instruments (MI) and standards becomes crucial for security. Hydrogen is the only element on which there is no common regulatory framework. The analysis carried out within the European framework program shows that the concentrations of hydrogen in the certified etalon samples provided by the different manufacturer could differ by up to 7 times. The main problems in hydrogen metrology are the following:

- The heterogeneity of the materials needed to create a reference database;
- Wide range and extremely low values of normalized hydrogen concentrations, which vary from 0.04 [ppm] for aluminium alloys to 30 [ppm] for titanium alloys;
- The inability of most of the available MI on the market to provide measurements over the wide range of hydrogen concentrations and for the wide range of alloys, which is necessary for modern industry.

We are developing a national metrological base, tools and methods for measuring hydrogen content based on a new standard of hydrogen flow in vacuum and a universal mass spectrometric method for measuring hydrogen concentrations. The solution of the above mentioned problem will give Russia a leadership in ensuring reliable and safe operation of military-industrial complex facilities and civilian objects, especially in the extreme North conditions. It will allow to replace the imported MI, improve the quality of existing materials, and create new materials of the sixth techno-economic paradigm.

Since 2000 the universal mass-spectrometric analyser of hydrogen АВ-1, which can become a basis for fast implementation of the developed technologies, has been produced

serially.

КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Колобова А.В.¹, Конопелько Л.А.¹

¹ ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

akol@b10.vniim.ru

В докладе представлена новая концепция развития метрологического обеспечения газоаналитических измерений [1] на основе:

- интенсификации воспроизведения и передачи единиц содержания компонентов в газовых средах на эталонных комплексах аппаратуры ГЭТ 154-2011,
- создания многофункциональных эталонных комплексов аппаратуры в статусе вторичных эталонов,
- разработки методов передачи единиц содержания компонентов от ГЭТ 154-2011 многофункциональным вторичным эталонам,
- обеспечения передачи единиц содержания компонентов от вторичных эталонов рабочим эталонам и рабочим средствам измерений,
- аккредитации на соответствие требованиям ИСО 34 предприятий-производителей стандартных образцов состава газовых смесей
- ежегодное проведение межлабораторных сравнительных испытаний рабочих эталонов.

Литература

1. ГОСТ 8.578-2014 «Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений содержания компонентов в газовых средах».

CONCEPT OF DEVELOPMENT OF METROLOGICAL ASSURANCE OF GAS ANALYTIC MEASUREMENTS

A.V.Kolobova¹, L.A.Konopelko¹

¹ D.I. Mendeleev Institute for Metrology

akol@b10.vniim.ru

The report presents a new concept for the development of metrological assurance for gas analytical measurements [1] based on:

- intensification of reproduction and transfer of units of content of components in gas mediums on standard complexes of GET 154-2011,
- creation of multifunctional standard complexes of equipment in the status of secondary standards,
- development of methods for disseminating units of content of components from GET 154-2011 to multifunctional secondary standards,
- ensuring the dissemination of units of the content of components from secondary standards to working standards and measuring instruments,
- accreditation of reference gas mixture producers for compliance with the requirements of ISO Guide 34,
- carrying out annual interlaboratory comparisons of working standards.

References

1. GOST 8.578-2014 “State system for ensuring the traceability of measurements. State hierarchy scheme for measuring instruments of the content of components in gaseous mediums”.

ОСОБЕННОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ В ОРГАНИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

Крылов А.И.

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», 190005 Санкт-Петербург,

Московский пр., д.19

akrylov@b10.vniim.ru

Физико-химические, как и химико-аналитические измерения имеют ряд существенных особенностей в сравнении с другими видами измерений – физическими. Это послужило предпосылкой образования отдельного комитета (Консультативный комитет по количеству вещества – КККВ, англ. CCQM) в системе Международного Бюро Мер и Весов (BIPM). Следуя принципам работы КККВ, в соответствии с базовыми рабочими группами, можно выделить пять основных направлений: газовый анализ, неорганический анализ, органический анализ, электрохимические измерения и биоанализ, включая все пять подгрупп биоанализа. Эти направления в первую очередь определяются свойствами измеряемых компонентов: газы, органические и неорганические вещества, биомолекулы и т.п., а отнюдь не типом объекта измерений – матрицы (например, воздух, почва, моча, кровь, фармпрепарат и т.п.), как это иногда путают.

Предметом органического анализа является измерение содержания органических молекул в различных объектах, начиная от чистых веществ и заканчивая такими матрицами, как объекты окружающей среды, продукты питания, биологические субстанции человека и животных и т.д. Таким образом, такие сферы как экологическая химия, биохимия, медицинская химия (клиническая диагностика), фармхимия и многое другое, безусловно, являются предметом органического анализа, а их метрологическое обеспечение в Российской Федерации должно замыкаться на утвержденный государственный первичный эталон «в области органического анализа» ГЭТ 208.

Основной особенностью органического анализа является многообразие известных к настоящему времени органических веществ (миллионы), что требует формирования определенной системы обеспечения прослеживаемости результатов измерений как на национальном уровне, так и в международном масштабе. В состав ГЭТ 208 входит широкий спектр установок, реализующих методы масс-спектрометрии, включая ГХ/МС, ВЭЖХ/МС/МС, ВЭЖХ/ИСП/МС/МС, а также методы газовой, высокоэффективной жидкостной и ионной хроматографии, кулонометрического титрования (по Фишеру) и др. Указанная инструментальная база позволяет проводить аттестацию высокочистых органических веществ в соответствии с общепринятыми принципами, а также выполнять сравнительные испытания эталонов сравнения состава растворов как на национальном, так и на международном уровне (см. результаты сличений CCQM).

Кроме того, внедрение высокоточных (эталонных) методов измерений различных классов (по назначению) органических веществ позволяет обеспечить прослеживаемость измерений и создает основу разработки национальных сертифицированных референтных материалов – стандартных образцов (СО) для приоритетных отраслей народного хозяйства. Так, к настоящему времени созданы

методы (на основе хромато-масс-спектрометрии с изотопным разбавлением) измерений и аттестации СО хлорорганических пестицидов (почвы, растения), «диоксинов» (в т.ч. в жирах), полихлорированных и полибромированных бифенилов и бифениловых эфиров, полиароматических углеводов (включая национальный стандарт), афлатоксинов (пищевые матрицы), антибиотиков (мясо), основных маркеров клинической диагностики: глюкозы, холестерина, креатинина, мочевины, мочевой кислоты в сыворотке крови человека.

Все вышеизложенное является предметом исследований ГЭТ 208, включая организацию сличений в рамках КОOMET, и формирует основу для создания новых типов стандартных образцов в лабораторной медицине, пищевой безопасности и т.п.

PECULIARITY OF METROLOGICAL ENSURING FOR MEASUREMENT IN ORGANIC ANALYSIS

Krylov A.I.

D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM), St. Petersburg, 190005

Moskovsky pr., 19

akrylov@b10.vniim.ru

Physical-chemical or chemical-analytical measurements have a number of significant differences from other types of measurements - physical. This fact became the background for the foundation of a separate committee, the Consultative Committee for Amount of Substance - CCQM) in the International Bureau of Weights and Measures (BIPM). In accordance with the principles of work of the CCQM, five main directions can be distinguished, corresponding to the related workgroups: gas analysis, inorganic analysis, organic analysis, electrochemical measurements and bioanalysis, including all five subgroups of bioanalysis. These directions are primarily determined by the properties of the measured components (gases, organic and inorganic substances, biomolecules, etc.), rather than by the type of the object of measurement - matrices (e.g. air, soil, urine, blood, pharmaceuticals, etc.), as it is sometimes erroneously assumed.

The subject of organic analysis is the content measurement of organic molecules in various objects, ranging from pure substances to such matrices as environmental objects, food products, biological substances of human and animal origin, etc. Thus, such spheres as ecological chemistry, biochemistry, medical chemistry (clinical diagnostics), pharmacology and many other are certainly subjects of organic analysis. Their metrological assurance in the Russian Federation should be linked to the approved state primary standard "in the field of organic analysis". GET 208 (National Primary Standard).

The main feature of organic analysis is the diversity of known organic substances (millions), which requires the formation of a certain system for ensuring the traceability of measurement results both at the national level and internationally. GET 208 includes a wide range of mass spectrometry equipment, including GC / MS, HPLC / MS / MS, HPLC / ICP / MS / MS, and gas, high-performance liquid and ion chromatography, coulometric titration (Fischer) and others. The equipment above allows to certify high purity organic substances in accordance with generally accepted principles, and to perform comparative tests of the composition of reference standards solutions at both national and international level (see CCQM intercomparison results).

Besides, the introduction of high-precision (standard) methods of measurements for different classes (by designation) of organic matter ensures measurement traceability and creates the basis for the development of national certified reference materials - reference materials (RM) for the priority sectors of the national economy. Nowadays, a number of

methods have been developed (based on chromatography-mass spectrometry with isotopic dilution) for measurements and RM certification of organochlorine pesticides (soil, plant), dioxins (including fats), polychlorinated and polybrominated biphenyls and biphenyls ethers, polyaromatic hydrocarbons (including national standard), aflatoxins (food matrices), antibiotics (meat), the main clinical diagnostic markers: glucose, cholesterol, creatinine, urea, uric acid in human serum. All of the above are subject to the GET 208 research, including the organization of intercomparison within the COOMET framework. It forms the basis for the creation of new types of standard samples in laboratory medicine, food safety, etc.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРИСТОСТИ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

Е.П. Собина

*ФГУП «Уральский научно-исследовательский институт метрологии»,
ул. Красноармейская, 4, 620075, Екатеринбург
251@uniim.ru*

Актуальность разработки метрологического обеспечения измерений характеристик пористости твердых веществ и материалов обусловлена необходимостью контроля качества сорбентов, катализаторов, горных пород и других материалов, являющихся пористыми веществами. Одними из важнейших характеристик структуры пористых веществ и материалов являются удельная поверхность, удельный объем пор, размер пор, распределение пор по размерам, пористость и газопроницаемость. В России для данных целей в ФГУП «УНИИМ» создан ГЭТ 210-2014 Государственный первичный эталон единиц удельной адсорбции газов, удельной поверхности, удельного объема и размера пор твердых вещества и материалов. С помощью данного эталона разработаны и выпускаются три типа стандартных образцов сорбционных свойств нанопористых веществ: ГСО 10449-2014 (на основе оксида алюминия), ГСО 10734-2015 (на основе цеолита), ГСО 10735-2015 (на основе технического углерода), которые обеспечивают контроль измерений микро- и мезопор. Дальнейшими работами по совершенствованию метрологического обеспечения в данной области является метрологическое обеспечение измерений макропор, а также пористости и газопроницаемости твердых веществ и материалов.

CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF MEASUREMENT ASSURANCE OF CHARACTERISTICS OF POROSITY OF SOLID SUBSTANCES AND MATERIALS

E. P. Sobina

*FGUP "URAL RESEARCH INSTITUTE FOR METROLOGY"
4 KRASNOARMEYSKAYA STR., EKATERINBURG, 620075
251@uniim.ru*

The relevance of developments in measurement assurance in measuring characteristics of porosity of solid substances and materials is due to the need to monitor the quality of sorbents, catalysts, rock and other materials, which are porous substances. Among the most important structural characteristics of porous substances and materials are specific surface area, specific pore volume, pore size, pore size distribution, porosity and gas permeability.

In Russia, GET 210-2014 State primary measurement standard of specific adsorption of gases, specific surface area, specific volume and pore size of solid substances and materials has been created for the given purposes in FGUP "UNIIM". With the use of this measurement standard 3 types of reference materials of sorption properties of nanoporous substances have been developed and released: GSO 10449-2014 (based on aluminium oxide), GSO 10734-2015 (based on zeolite) and GSO 10735-2015 (based on technical carbon), which ensure control of micro-and mesopore measurements. Further work on the improvement of measurement assurance in this area involves measurement assurance of macropores, and porosity and gas permeability of solid substances and materials.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕРВИЧНЫЙ ЭТАЛОН НА ОСНОВЕ КУЛОНОМЕТРИИ ГЭТ 176-2013: РОЛЬ В МЕТРОЛОГИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Собина А.В., Терентьев Г.И., Зыскин В.М., Шимолин А.Ю.
ФГУП «Уральский научно-исследовательский институт метрологии»
sobinaav@uniim.ru

В УНИИМ создан и функционирует Государственный первичный эталон единиц массовой (молярной) доли и массовой (молярной) концентрации компонента в жидких и твердых веществах и материалах на основе кулонометрии ГЭТ 176-2013. Метод кулонометрии рекомендован Консультативным Комитетом по количеству вещества – метрология в химии (КККВ) в качестве первичного метода измерений. Прослеживаемость результатов измерений методом кулонометрии реализуется непосредственно к единицам СИ – килограмму, амперу и секунде. В состав эталона входят две эталонные установки, реализующие разновидности метода – кулонометрию при контролируемом токе (кулонометрическое титрование) и кулонометрию при контролируемом потенциале. Национальные эталоны и высокоточные установки, основанные на методе кулонометрического титрования, успешно используются в 9 странах мира, включая Россию; эталонная установка, реализующая метод кулонометрии при контролируемом потенциале, по метрологическим характеристикам не имеет аналогов в других НМИ.

Средствами хранения и передачи единиц, воспроизводимых ГЭТ 176-2013, являются эталоны сравнения - стандартные образцы чистых химических веществ и их растворов с точно охарактеризованным составом. Ранее входящие в состав ГЭТ 176 эталоны сравнения были охарактеризованы только по содержанию основного компонента, но практика показывает, что для решения ряда задач (например, приготовления многоэлементных калибровочных растворов, участия в международных сличениях) необходимо знать содержание примесных компонентов. Кроме того, вопросам характеристики чистых веществ с максимально достижимой точностью уделяется большое внимание на заседаниях Рабочей группы по неорганическому анализу КККВ на протяжении нескольких последних лет. Согласно разработанному проекту документа КККВ «Дорожная карта по оцениванию чистоты металлов», для целевой неопределенности измерений содержания основного компонента в чистых металлах менее 0,01 % рекомендуется использовать подход «100 % минус сумма примесей».

В 2015 г. УНИИМ инициировал работы по совершенствованию ГЭТ 176-2013, направленные на расширение диапазона воспроизведения единицы массовой доли компонентов на основе подхода «100% минус сумма примесей» посредством

включения в состав ГЭТ 176-2013 эталонной установки, реализующей метод масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, а также модернизацию эталонной установки, реализующей метод кулонометрического титрования.

В настоящее время к моменту завершения работ по совершенствованию ГЭТ 176-2013 в его состав входят 3 эталонные установки, 12 эталонов сравнения чистых химических веществ (чистые металлы, соли металлов и раствор кислоты), успешно принято участие в 10 ключевых и пилотных сличениях в рамках МКМВ и КООМЕТ, из них в 6 сличениях в период работ по совершенствованию. ГЭТ 176-2013 обеспечивает воспроизведение и передачу единиц массовой (молярной) доли и массовой (молярной) концентрации компонентов концентратомерам, кулонометрам, титраторам, атомно-абсорбционным спектрометрам, масс-спектрометрам с индуктивно связанной плазмой и другим аналитическим приборам.

COULOMETRIC STATE PRIMARY STANDARD GET 176-2013: ROLE IN METROLOGICAL ASSURANCE OF ANALYTICAL MEASUREMENTS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT

Sobina A.V., Terentiev G.I.

FSUE "Ural Scientific Research Institute for Metrology"

sobinaav@uniim.ru

The State primary standard of units of mass (molar) fraction and mass (molar) concentration of a component in liquid and solid substances and materials based on coulometry GET 176-2013 has been developed and implemented at UNIIM.

The method of coulometry was recommended by the Consultative Committee for Amount of Substance - metrology in chemistry (CCQM) as the primary measurement method. Traceability of measurement results obtained by coulometry is established directly to SI units (kilogram, ampere and second). The State primary standard includes two reference installations that implement varieties of the coulometry method. They are current-controlled coulometry (coulometric titration) and potential-controlled coulometry. National standards and high-precision installations based on the method of coulometric titration are successfully used in 9 countries of the world, including Russia. The reference installation implementing the potential-controlled coulometry method has no analogues in the world in terms of metrological characteristics.

Means of storage and dissemination of units reproduced by GET 176-2013 are reference materials of pure chemical substances and their solutions of a given composition - "reference standards". Previously, reference standards included into the GET 176 were only characterized by the content of the main component, but in some cases all of concomitants should be known, to solve such tasks as preparation of multielement calibration solutions or participation in international comparisons. Moreover, the issues of characterization of pure substances with the highest attainable accuracy have been given particular attention at the meetings of the Working Group on Inorganic Analysis of CCQM over the past several years. According to the developed draft of the CCQM document "Roadmap for the evaluation of purity of metals", for the target uncertainty of measurements of the main component content in pure metals less than 0,01%, it is recommended to use the approach "100% minus the sum of impurities".

In 2015 UNIIM initiated work to improve the GET 176-2013. The main aim was to extend the range of reproduction of the units on the base of the "100% minus the sum of impurities" approach by inclusion into the GET 176-2013 of a reference installation implementing the method of mass spectrometry with inductively coupled plasma and also to

improve the reference installation, which implements the method of coulometric titration.

At the moment, when the work on improvements to GET 176-2013 is complete, it includes 3 reference installations, 12 reference standards of pure chemicals (pure metals, metal salts and an acid solution), has successfully participated in 10 key and pilot comparisons within the framework of CIPM and COOMET, including 6 comparisons during the period of improvement. GET 176-2013 ensures reproduction and dissemination of the units of mass (molar) fraction and mass (molar) concentration of components to concentration meters, coulometers, titrators, atomic absorption spectrometers, inductively coupled plasma mass spectrometers and other analytical instruments.

АТТЕСТАЦИЯ МЕТОДИК ИЗМЕРЕНИЙ ВЕЛИЧИН, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ГРУППОВОЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОБЪЕКТОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО И САНИТАРНОГО КОНТРОЛЯ

Нежиховский Г.Р.¹, Ткаченко И.Ю.¹

¹ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», Санкт-Петербург
grn@b10.vniim.ru

При экологическом и санитарном контроле нередко измеряют содержание компонента, представляющего собой группу индивидуальных веществ, близких по физико-химическим свойствам или происхождению. Примеры: массовая концентрация фенолов (жиров, неионогенных поверхностно-активных веществ, препарата Д-11) в воде, массовая доля хлорорганических пестицидов (диметилбензолов) в почве, массовая концентрация возгонов каменно-угольных смол (фосфатов, нитрилов карбоновых кислот C₁₇₋₂₀) в воздухе, массовая концентрация летучих компонентов эфирных масел в выбросах предприятий парфюмерно-косметической промышленности.

При аттестации методик измерений подобных величин необходимо обращать внимание на три специфических источника неопределённости измерений. Первый из них обусловлен недостаточным или неоднозначным описанием той группы веществ, которая представляет собой определяемый компонент. Второй возникает тогда, когда суммарный аналитический сигнал формируется не всеми веществами, отнесёнными к группе. Третий источник характерен для методик, в которых градуировка проводится по одному или нескольким индивидуальным веществам, а полученные градуировочные характеристики распространяются на всю группу.

Во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева накоплен опыт оценивания неопределённости измерений величин, характеризующий групповой состав. Систематизированы различные ситуации и возможные решения; поставлена задача подготовки методических рекомендаций для специалистов по разработке и аттестации методик измерений.

CERTIFICATION OF METHODS OF MEASURING CHARACTERISTICS OF GROUP CHEMICAL COMPOSITION OF THE OBJECTS OF ENVIRONMENTAL AND SANITARY CONTROL

G.R. Nezshikhovsky¹, I.Yu. Tkachenko¹

¹D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM), St. Petersburg
grn@b10.vniim.ru

When carrying out environmental and sanitary control, it is often necessary to measure the content of a component represented by a group of individual substances with similar

physical-chemical properties or of similar origin, for example, mass concentration of phenols in water (fats, non-ionic surfactants, D-11 preparations), or mass share of organochlorine pesticides (dimethylbenzenes) in soil, mass concentration of coal and tar resins sublimates (phosphates, carboxylic acids nitriles C₁₇₋₂₀) in air, and mass concentration of volatile components of essential oils in perfume and cosmetics industrial emissions.

To certify measurement methods of such values, it is important to pay attention to three specific sources of measurement uncertainty. The first is due to inadequate or ambiguous description of the group of substances that constitutes the component being identified. The second occurs when the aggregate analytical response is not formed by all the substances, attributed to the group. The third source is indicative of the methods, in which calibration is carried out on one or more individual substances, but the resulting calibration characteristics are extrapolated to the entire group.

VNIIM has accumulated experience in assessing uncertainty in measurements of the values that characterize a group composition. Different situations and possible solutions are systemized; a task is set to work out methodological recommendations for specialists engaged in development and certification of measurement techniques.

НЕФТЕПРОДУКТЫ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: ИЗМЕРЕНИЕ ОБОБЩЕННОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ИЛИ КОЛИЧЕСТВА ВЕЩЕСТВА

Ткаченко И.Ю.

*ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», 190005 Санкт-Петербург,
Московский пр., д.19
ti@b10.vniim.ru*

Нефть и нефтепродукты относятся к числу наиболее распространенных в глобальном масштабе и опасных токсичных веществ, вызывающих тяжелые экологические последствия при загрязнении ими объектов окружающей среды (ООС). Перечисленные объекты относятся к сфере государственного контроля и, соответственно, для них устанавливаются нормативы контроля и применяются аттестованные методики измерений. В международных документах, устанавливающих какие-либо требования к измерению нефтепродуктов, применяют термины типа: «содержание нефти, масел и общего количества нефтяных углеводородов в (объекте)», «содержание нефти и смазочных материалов», определение «индекса углеводородных масел» или «углеводородного индекса». Так что же мы измеряем?

Когда проблема определения нефти и нефтепродуктов в объектах окружающей среды (ООС) впервые появилась в СССР, был предложен метод определения соответствующего показателя, основанного на выделении из анализируемой матрицы фракции, называемой «нефтепродуктами» и последующем ее гравиметрическом измерении. На тот момент это был единственный метод и получаемые результаты не вызывали ни у кого сомнений. С развитием химико-аналитической приборной базы и ростом потребности в экоаналитических измерениях существенно расширился и перечень методов определения нефтепродуктов, например:

– ИК-спектрометрический (ГОСТ Р 54039-2010, ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 и др.);

– Флюориметрический (ПНД Ф 16.1:2.21-98, ПНД Ф 14.1: 2:4.128-98 и др.);

– Газохроматографический (ГОСТ 31953-2012);

– Прочие.

Во всех приведенных выше случаях выполняется измерение определенной

характеристики системы, вещества или группы веществ. При этом становится понятным, что в зависимости от выбранной характеристики (интенсивность поглощения в ИК-области, флуориметрия и т.п.) результат измерения может отличаться на порядки!

Очевидно, что в этой ситуации процедура аттестации каждой из применяемых методик может опираться либо на существующее метрологическое обеспечение измерений содержания нефтепродуктов в ООС, созданное для решения конкретных аналитических задач, либо учитывать необходимость предварительного решения методологических задач, включая дефиниционную неопределенность (т.е. используемую терминологию) и общую концепцию процедуры измерений. При сведении проблемы измерения содержания нефтепродуктов к измерению некоего обобщенного показателя по жестко регламентированной процедуре (эмпирический метод) для ее метрологического обеспечения потребуется лишь установление подходящих калибрантов с последующим формированием бюджета неопределенности в соответствии с общепринятой практикой.

Как альтернативный случай, можно рассматривать различные варианты концептуального построения процедуры измерений и сопутствующие им способы расчета содержания нефтепродуктов, учитывающие выбранную модель:

- ↘ по единичному свойству, или компоненту-маркеру;
- ↘ по серии сигналов, или серии реперных веществ;
- ↘ по интегральному сигналу группы веществ.

Для каждого из перечисленных случаев рассмотрены алгоритмы формирования бюджета неопределенности и предложены варианты учета вкладов не измеряемых напрямую компонентов или аппроксимаций результатов измерений части аналитов на широкую группу однотипных веществ.

OIL PRODUCTS IN ENVIROMENTAL OBJECTS: GENERALIZED MARKER OR AMOUNT OF SUBSTANCE

Tkachenko I.U.

D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM), St. Petersburg, 190005

Moskovsky pr., 19

ti@b10.vniim.ru

Globally, crude oil and oil products are among the most widespread and most toxic substances in the environment, which cause severe environmental consequences when contaminate environmental objects. The mentioned above objects belong to the sphere of state control and, therefore, control standards and certified measurement methods are developed and used on them. In the international documents that establish requirements for oil product measurements, such terms as "content of crude oil, oils and the total amount of oil hydrocarbons in (object)", "the content of oil and lubricants", the definition of "index of hydrocarbon oils" or "hydrocarbon index" are commonly used. So, what do we measure?

When the problem of determining oil and oil products in environmental objects first appeared in the USSR, a method was proposed for determining the proper marker. The method was based on the separation of a fraction called "oil products" from a matrix under analysis and its subsequent gravimetric measurement. At that time, it was the only method and the results did not cause any doubt. As the chemical analytical instruments progressed and ecoanalytical measurements became more relevant, the list of methods for determining oil products significantly expanded as well. For example:

- ↘ IR spectrometric (GOST R 54039-2010, PND F 16.1: 2.2.22-98, etc.);

- ↗ Fluorimetric (PND F 16.1: 2.21-98, PND F 14.1: 2: 4.128-98, etc.);
- ↗ Gas chromatographic (GOST 31953-2012);
- ↗ Others.

In all the methods above, the measurement of a specific characteristic of the system, substance or group of substances is carried out. It becomes clear that, depending on the characteristic selected (e.g. the intensity of absorption in the IR region, fluorimetry, etc.), the measurement result may differ by 10 times or more!

Obviously, in this situation, the procedure for attestation of each of the methods can be based either on the existing metrological assurance (designed to solve specific analytical problems), or on considering the need for preliminary solution of methodological tasks, including the definitional uncertainty (i.e. current terminology) and the general concept of the measurement procedure. If the problem of measuring the content of oil products is treated as the measurement of a generalized marker according to a strictly regulated procedure (an empirical method), its metrological assurance will only require the determination of suitable calibrants, followed by uncertainty budget calculation in accordance with a generally accepted procedure.

As an alternative case, there could be considered various conceptual options of the measurement procedure and the accompanying calculation methods of the oil product content, taking into account the chosen model:

- ↗ by a single property (or a marker component)
 - ↗ by a series of signals (or series of reference substances);
 - ↗ by the integral signal of a group of substances.

For each of the listed cases, algorithms for forming an uncertainty budget have been considered and options have been proposed for taking into consideration the contributions of components which are not measurable directly, or approximation of the measurement results of some analytes to a wide group of same-type substances.

СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ РТУТИ В ГАЗОВЫХ СРЕДАХ

Максакова И.Б.

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», 190005 Санкт-Петербург,

Московский пр., д.19

i.b.maksakova@vniim.ru

Использование ртути человечеством во всех сферах и отраслях привело к глобальному загрязнению окружающей среды ртутью и ее соединениями. В результате ряд крупных развитых стран подписали Минаматскую конвенцию по ртути для того, чтобы инициировать международные меры по регулированию ртути эффективным, действенным и последовательным образом, для охраны окружающей среды и здоровья человека. В России в настоящее время существует достаточное количество аттестованных методик по определению ртути в различных средах. Все они реализуют в основном метод атомно-абсорбционной спектроскопии «холодного пара». Градуировка спектрометров осуществляется по стандартным образцам состава водного раствора ионов ртути. Относительная погрешность аттестованных методик находится в интервале 25-40 %.

Разные газовые среды (атмосферный воздух, воздух рабочей зоны, выбросы от источников загрязнения атмосферы, различные газы и газовые смеси) имеют свою специфику в отношении анализа, и на текущий момент единственным средством для градуировки и контроля точности является рабочий эталон 1-го разряда - генератор

газовых смесей ГГС модификация ГГС-Т (№ 45189-10 в Государственном реестре средств измерений РФ) в комплекте с источником микропотока ртути (ИМ-Hg) 1-го (№ 60554-15 в Государственном реестре средств измерений РФ), обеспечивающий получение в динамическом режиме газовых смесей с массовой концентрацией ртути в диапазоне от 2 до $1 \cdot 10^6$ нг/м³ с пределом допускаемой относительной погрешности ± 7 %.

Однако способы обеспечения прослеживаемости результатов измерений указанного средства требуют доработки и уточнения. В этой связи можно рассмотреть два варианта решения поставленной задачи.

Первый из них (данный вариант реализован на практике) предусматривает возможность обеспечения прослеживаемости к табличным значениям концентрации ртути в насыщенном парами ртути воздухе при различных температурах путем компарирования с газовой смесью от источника микропотока и использования в качестве средства измерений масс-спектрометра с ИСП. Однако здесь существует ряд проблем, например, значения концентрации ртути в насыщенном парами ртути воздухе при различных температурах хоть и являются справочными, но не оценены метрологически. Кроме того, возникают сложности в технической реализации дозирования газовой смеси в масс-спектрометре в условиях термостатирования, возрастание погрешностей при разбавлении газовой фазы с насыщенными парами ртути и т.п. И наконец, немаловажный фактор – работа с металлической ртутью требует соблюдения особых мер техники безопасности и специализированных помещений.

В качестве второго варианта, как альтернативу первому, можно рассматривать создание первичной референтной методики на основе использования «химических ловушек». Оптимальный выбор реагентов и условий выполнения измерений позволил для этого метода достигнуть метрологических характеристик не хуже, чем для первого способа (насыщенные пары ртути). Таким образом, разработанная методика и подходы, реализованные в ней, позволяют обеспечить прослеживаемость результатов измерений ртути в газовых средах, к соответствующим значениям, полученным при использовании градуировок на водных растворах.

METHOD OF PROVIDING TRACEABILITY FOR MEASUREMENTS OF TOTAL MERCURY IN THE GASEOUS MEDIA

Maksakova I.B.

D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM), St. Petersburg, 190005,

Moskovsky pr., 19

i.b.maksakova@vniim.ru

The use of mercury in all spheres of the national economy has led to global environmental pollution with mercury and its compounds. As a result, a number of major developed countries signed the Minamata Convention on Mercury in order to initiate international measures for mercury regulation in an effective, efficient and consistent manner, and provide protection for the environment and human health. In Russia, at present, there is a sufficient number of certified methods for determining mercury in various media. Basically, all these methods are based on the «cold steam» atomic absorption spectrometry method. The spectrometers are calibrated against standard samples of the composition of mercury water solutions. The relative uncertainty of the certified methods is in the range from 25% to 40%.

Analysis of various gaseous media (atmospheric air, working zone air, emissions from sources of air pollution, various gases and gas mixtures) have their own particularities. At present, the only means of calibration and accuracy control is the 1st category working

standard - the gas mixture generator, modification GGS-T (No. 45189-10 in the National Register of Measuring Equipment of the Russian Federation) in conjunction with a micro-stream mercury emitter (IM-Hg) (No. 60554-15 in the National Register of Measuring Equipment of the Russian Federation), which provides gas mixtures in a dynamic mode with mercury mass concentration within the range from 2 to $1 \cdot 10^6$ ng/m³ with the maximum permissible relative uncertainty $\pm 7\%$.

However, in general, the methods for determination of metrological characteristics and ensuring the traceability of mercury measurements in gaseous media require improvement and refinement. In this connection, we can consider two ways to solve the task.

The first way (this option has been implemented in practice) provides traceability to reference values of mercury concentration in the air saturated with mercury vapor at different temperatures by comparing it with the gas mixture from the micro-stream emitter and using the ISP mass spectrometer as a means of measurement. However, a number of problems comes along with this option. For example, the values of mercury concentration in the air saturated with mercury vapor at different temperatures are used as reference values, but they are not metrologically evaluated. Besides, there are difficulties in the technical implementation of dosing a gas mixture into a mass spectrometer while thermostated, uncertainty increase at the dilution of the gas phase with saturated mercury vapor, and the like. Finally, an important factor: work with metallic mercury requires special safety measures and specialized facilities.

As a second option, alternative to the first one, creation of a primary reference method based on the use of "chemical traps" can be considered. Optimal selection of reagents and measurement conditions allowed us to achieve metrological characteristics of this method no worse than with the first method (saturated mercury vapor). Thus, the developed methodology and approaches implemented in it make it possible to trace the measurement results of mercury in gaseous media to the corresponding values obtained from graduations on aqueous solutions.

МОНИТОРИНГ СИНГЛЕТНОГО КИСЛОРОДА В ВОЗДУШНОМ БАССЕЙНЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Ясенко Е.А.¹, Челибанов В.П.¹, Маругин А.М.²

¹ Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Кронверкский пр. 49, 197101 Санкт-Петербург, Россия

² АО «ОПТЭК», 199178, Малый пр. ВО, 58А, Санкт-Петербург, Россия, geoyasenko@gmail.com

При проведении натурных экспериментов в приземном слое воздуха в Санкт-Петербурге, в солнечную погоду в зимний период, выявлены условия, когда наблюдается образование синглетного кислорода ($O_2(^1\Delta_g)$) в концентрации превышающей 5 ppb. Это значение на 3-4 порядка выше, чем принятый уровень концентрации для нижней атмосферы [1]. В экспериментах использовали средство измерения синглетного кислорода разработанное на основе твердотельной хемилюминесценции (АО «ОПТЭК» Мод. 102-А) и комплекс атмосферного мониторинга воздуха СКАТ.

Хемилюминесцентный газоанализатор $O_2(^1\Delta_g)$ Мод. 102-А представляет собой компаратор, который обеспечивает получение выходного линейного сигнала пропорционального концентрации $O_2(^1\Delta_g)$, который содержится в анализируемой газовой смеси. Компарирование происходит между газовой смесью от источника

эталонного значения концентрации синглетного кислорода (калибратора) и анализируемого газа. При прохождении исследуемого газа над сенсором, молекулы $O_2(^1\Delta_g)$ взаимодействуют с химической композицией, которая нанесена на его поверхность, в результате чего наблюдается хемилюминесценция, которая регистрируется электронным фотоумножителем. Измеряемый выходной сигнал - концентрация синглетного кислорода выводится на цифровой дисплей прибора, и может передаваться на внешнее записывающее регистрирующее устройство. Оптический измерительный преобразователь анализатора (сенсор) – пластинка выполненная из синтетического пористого материала пропитанная специальным раствором рубрена и TiO_2 , с последующей сушкой сенсора до постоянного остаточного веса.

Полученные первичные данные позволяют предполагать, что синглетный кислород образуется на активных центрах на поверхности ледяных кристаллов как в присутствии, так и в отсутствии антропогенных загрязнителей в атмосфере. Эксперименты, которые были также выполнены в лабораторных условиях, подтвердили факт фотокаталитического образования синглетного кислорода на поверхности микрокристалликов льда и, соответственно, подтвердили правомерность нашего предположения. Выявленная эффективность гетерогенной реакции образования $O_2(^1\Delta_g)$ свидетельствует о важности учета дополнительного канала атмосферного стока озона по реакции $O_3 + O_2(^1\Delta_g) = 2O_2 + O(^3P)$, которая до настоящего времени не рассматривалась как не существенная по сравнению с другими известными циклами озона.

Литература

1. Исидоров В.А. Экологическая химия. Уч. пособие – СПб: Химиздат, 2001, 304 с.

MONITORING OF SINGLET OXYGEN IN THE AIR BASIN OF ST. PETERSBURG

Iasenko E.A.¹, Chelibanov V.P.¹, Marugin A.M.²

¹ St. Petersburg National Research University for Information Technologies, Mechanics and Optics, 197101, St. Petersburg, Kronverkskiy pr., 49, lit. A, RUSSIA

² JSC OPTEC, 199178, Malui pr. VO, 58A, Saint-Petersburg, RUSSIA, geoyasenko@gmail.com

During an outdoor experiment, in Saint-Petersburg, in the ground layer of the atmosphere, in sunny weather, in the winter, formation of singlet oxygen ($O_2(^1\Delta_g)$) at concentration of more than 5 ppb was observed. This concentration is by 3-4 orders of magnitude higher than the commonly expected level [1]. In the experiments, concentration of singlet oxygen was measured by a solid-state chemiluminescence device (OPTEC Mod. 102-A) and SCAT atmospheric air monitoring complex.

The Chemiluminescent $O_2(^1\Delta_g)$ analyzer Model 102-A is a gas comparator providing a linear signal proportional to the concentration of $O_2(^1\Delta_g)$ in the gas sample. The comparison is carried out between a reference gas mixture from the reference gas source (calibrator) and the analyzed gas sample. As the sampled gas passes over the sensor, the $O_2(^1\Delta_g)$ molecules interact with chemical substances on the surface of the sensor resulting in chemiluminescence which is processed and measured with a photomultiplier tube. The measured output signal - the concentration of singlet oxygen, is fed to the digital display of the instrument, and can be

transmitted to an external recording data logger. Optical measuring transducer of the analyzer (sensor) is a plate made of a synthetic porous material impregnated with a dedicated solution of rubrene and TiO_2 , and then dried to a constant residual weight.

We assumed that singlet oxygen is formed in the active centers on the surface of ice crystals both in the presence and absence of anthropogenic pollutants in the atmosphere. Laboratory experiments confirmed the photocatalytic formation of singlet oxygen on the surface of ice microcrystals and therefore confirmed our hypothesis. Identified efficiency of heterogeneous reaction of $\text{O}_2(^1\Delta_g)$ formation suggests the importance of the additional channel $\text{O}_3 + \text{O}_2(^1\Delta_g) = 2\text{O}_2 + \text{O}(^3P)$ of atmospheric ozone removal which has not been considered so far, always thought as insignificant compared to other known ozone's cycles.

References

1. Isidorov V.A. Ecological Chemistry. Saint-Petersburg: Khimizdat, 2001, P. 304.

УРОВНИ ЭМИССИИ «ДИОКСИНОВ» ОТ СТАЦИОНАРНЫХ ИСТОЧНИКОВ УТИЛИЗАЦИИ БЫТОВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Будко А.Г.

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева», 190005, Санкт-Петербург,

Московский пр., д.19

aa@b10.vniim.ru

Полихлорированные дибензо-(п)-диоксины и дибензофураны (диоксины) являются наиболее опасной группой представителей стойких органических загрязнителей (СОЗ), которые попадают под действие Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях. Норматив контроля суммарного содержания диоксинов в промышленных выбросах, установленный Директивой №2000/76/ЕС Европейского парламента и Совета Европейского союза «О сжигании отходов», составляет 0,10 нг I-TEQ/Нм³.

Термические процессы являются одними из основных источников поступления диоксинов в атмосферу и соответствующие источники выбросов подлежат регулярному контролю. Образование диоксинов может быть результатом комбинации множества факторов в зависимости от условий горения, характеристик топлива, типа печи, типа и работы газоочистного оборудования. В последние 10 лет в рамках работ ХАЦ «Арбитраж» нами проведено более полутора сотен отборов проб и анализов промышленных выбросов на содержание диоксинов на различных промышленных площадках (установки по сжиганию бытовых и медицинских отходов, отходов после очистных сооружений, цементных заводах).

Исходя из имеющегося массива данных можно выделить следующие типы источников, характеризующихся соответствующими уровнями эмиссии:

1. Установки для сжигания отходов промышленных производств (отходы нефтеперерабатывающей промышленности, химические отходы, образующиеся на производствах и т.п.). Уровень выбросов диоксинов примерно в 50% случаев превышает норматив контроля;

1. Специализированные локальные установки для сжигания биологических и медицинских отходов. Как правило, суммарное содержание диоксинов в таких промвыбросах не превышают норматив контроля;

2. Установки для сжигания твердых бытовых отходов (различного типа). Суммарное содержание диоксинов в большинстве случаев превышают норматив контроля;

3. Газоходы от вращающихся печей для обжига клинкера на цементных производствах (в том числе при использовании альтернативных видов топлива). Суммарное содержание диоксинов более чем в 80% случаев не превышают норматив контроля.

В настоящее время в Российской Федерации действует методика измерений диоксинов в промышленных выбросах (ПНД Ф 13.1.65—2008 (изд. 2014 г.)), которая позволяет определять суммарное содержание диоксинов с расширенной неопределенностью 80% для нижнего диапазона концентраций (от 0,001 нг/м³ до 0,10 нг/м³ включительно).

Для последующего улучшения точностных и метрологических характеристик методики измерений нами исследованы все стадии процедуры анализа (отбор, экстракция и др.) для выявления их вклада в суммарную неопределенность. Выявлены критические стадии и с учетом этого намечены пути и способы уменьшения погрешностей измерений и повышения достоверности получаемых результатов.

"DIOXIN" EMISSION LEVELS FROM STATIONARY DOMESTIC AND INDUSTRIAL WASTE SOURCES

Budko A.G.

*D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM), St. Petersburg, 190005
Moskovsky pr., 19
aa@b10.vniim.ru*

Polychlorinated dibenzo-p-dioxin and dibenzofurans (dioxins) are the most hazardous group among persistent organic pollutants (POPs), and they fall within the scope of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. The dioxin total emission limit for the industrial emissions equals 0,10 ng I-TEQ/m³ and is defined by the Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste.

Thermal processes are the main source of the dioxins in the atmosphere, therefore, such sources are to be inspected on a regular basis. Dioxin formation is a result of combination of various conditions, depending on burning parameters, fuel characteristics, incinerator type, fumes purifying equipment type and presence. Within the last 10 years, over 150 samples of industrial waste have been taken and analyzed for dioxin under Chemical Analytical Center «Arbitrazh» contracts. The samples were taken from various incineration and production sites such as domestic and medical waste incinerators, water treatment facilities waste incinerator, cement plants kilns.

Basing on the data acquired, we can distinguish the following source types by related emission levels:

1. At industrial waste incinerators (oil refineries, industrial chemical waste, etc.) dioxin emission levels are above the inspection standard limit in 50% of the samples.

1. Local specialized bio- and medical waste incinerators: as a rule, total dioxin content does not exceed the inspection standard limit.

2. Incinerators for solid domestic waste of various types: the dioxin total emission exceeds the inspection standard limit in majority of cases.

3. Rotary kiln for clinker burning at cement plants, including alternative fuels: total dioxin emission is under the inspection standard limit in over 80% of the samples.

Currently, the Russian Federation has a dioxin measurement procedure in industrial emissions (PND F 13.1.65—2008 (rev. 2014)), which provides for detection of total dioxin content with expanded uncertainty of 80% for the lower concentration range (from 0,001

ng/m³ to 0,10 ng/m³).

To improve accuracy and metrological characteristics of the measurement procedure, we have studied all the stages of the investigation process (sampling, extraction, etc.) in order to define the contribution of each stage into the overall uncertainty. We have located the critical stages and, from this perspective, defined the ways and means to reduce measurement uncertainty and to increase reliability of the results.

НОВЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОКОГО ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ГАЗОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРА

Климов А.Ю., Заречнов К.А., Вишняков И.М.

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

klimov@b10.vniim.ru

В настоящее время существуют десятки способов измерения влажности газов. Новые возможности в этом направлении предоставляет хромато-масс-спектрометрия. Сочетание стандартной неполярной хроматографической колонки с высокоселективным масс-спектрометрическим детектором позволяет анализировать воду в чистых газах и газовых смесях даже в присутствии различных мешающих компонентов.

Продемонстрирована возможность измерения молярной доли воды в азоте (воздухе), в диоксиде углерода, в диметиловом эфире, в смесях с аммиаком, а также в природном газе.

Отдельное внимание уделено вопросам градуировки хромато-масс-спектрометра. Во всём измерительном диапазоне показана пригодность градуировки с использованием искусственных газовых смесей, приготовленных весовым способом в баллонах под давлением.

Для случаев относительно большого влагосодержания, не требующих высокой точности анализа, продемонстрирована возможность одноточечной градуировки по воде атмосферного воздуха. Содержание влаги при этом может быть определено на основе данных о температуре, относительной влажности и давлении воздуха, измеряемых, например, при помощи термогигрометра.

Хромато-масс-спектрометр имеет линейный динамический диапазон по H₂O, превышающий три порядка, и позволяет измерять молярную долю воды от уровня единиц ppm до уровня 100%-й влажности при комнатной температуре.

NEW METHOD OF MEASUREMENT OF HIGH MOISTURE CONTENT OF GASES USING CHROMATO-MASS-SPECTROMETER

Klimov A.Yu., Zarechnov K.A., Vishnyakov I.M.

D.I. Mendeleev Institute for Metrology

klimov@b10.vniim.ru

At present, there are dozens of ways to measure humidity in gases. New opportunities in this direction are provided by chromatography-mass spectrometry. The combination of a standard nonpolar chromatographic column with a highly selective mass spectrometric detector makes it possible to analyze water in pure gases and gas mixtures even in the presence of various interfering components.

The possibility of measuring the molar fraction of water in nitrogen (air), carbon dioxide, dimethyl ether, in mixtures including ammonia, and also in natural gas has been demonstrated.

Special attention has been paid to calibrating the chromatography-mass spectrometer. The suitability of calibration with artificial gas mixtures prepared by weight in pressurised cylinders has been proved for all measuring range.

For cases of relatively high water content, which do not require high accuracy of analysis, the possibility of one-point calibration by atmospheric water has been demonstrated. The air moisture content can be determined from the data on temperature, air relative humidity and pressure, measured, for example, with a thermo-hygrometer.

The chromato-mass spectrometer has the H₂O linear dynamic range of over three orders of magnitude, which allows for measuring the molar fraction of water from the levels of several ppm to 100% humidity at room temperature.

РАЗРАБОТКА НОВОГО ТИПА СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА УГЛЕРОДА

Чубченко Я.К.¹, Конопелько Л.А.^{1,2}

¹ ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

² ФГАОУВО СПбНИУ ИТМО

ycc@b10.vniim.ru

В последние десятилетия важной задачей в области экологии, медицины, энергетики, криминалистики, фармацевтики, геохимии, пищевой промышленности является определение изотопного состава углерода.

Изотопный анализ помогает решать такие задачи, как обнаружение язвенной болезни [1], допинг-контроль [2], изучение геохимического цикла углерода [3], определение месторождения и качества нефти и газа [4,5], контроль качества пищевой продукции [6,7,8,9], идентификация происхождения наркотических веществ [10], контроль качества медикаментов [11].

Быстрое развитие отечественного парка аналитических приборов определения изотопного состава углерода в газообразных средах невозможно без разработки и выпуска нового типа отечественных стандартных образцов – газовых смесей в баллонах под давлением, прослеживаемых к международному эталону VPDB.

В работе выполнен анализ существующих методов определения изотопного состава углерода, даны рекомендации по разработке нового типа стандартных образцов $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$, сформулированы основные требования к погрешности их аттестации.

Литература

1. Graham D.Y. et al. Campylobacter pylori detected noninvasively by the 13C-urea breath test. The Lancet 1987, p. 1174.
1. Saudan C. et al. Testosterone and doping control. Br J Sports Med, 2006, 40, p. 21.
2. Prosenjit Ghosh, Willi A. Brand. Stable isotope ratio mass spectrometry in global climate change research. International Journal of Mass Spectrometry 228 (2003) 1–33.
3. D.D. Coleman, "Geochemical Fingerprinting: Identification of Storage Gas Using Chemical and Isotopic Analysis," Underground Storage of Natural Gas - Theory and Practice, M. R. Tek (editor), Gulf Publishers, 1989.
4. Malvin Bjarøy, Keith Hall Janine Jumeau. Stable carbon isotope ratio analysis on single components in crude oils by direct gas chromatography—isotope analysis. Trends in Analytical Chemistry. Volume 9, Issue 10, November–December 1990, Pages 331-337.
5. ГОСТ 31714-2012 «Соки и соковая продукция. Идентификация. Определение стабильных изотопов углерода методом масс-спектрометрии».

6. ГОСТ Р 55460-2013 «Продукция алкогольная. Идентификация. Метод определения отношения изотопов $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ диоксида углерода в игристых винах и напитках брожения».

7. ГОСТ 32710-2014 «Продукция алкогольная и сырье для ее производства. Идентификация. Метод определения отношения изотопов $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ спиртов и сахаров в винах и сусле».

8. Antje Schellenberg et.al. Multielement stable isotope ratios (H, C, N, S) of honey from different European regions. *Food Chemistry* 121 (2010) 770–777.

9. Э. М. Галимов и др. Идентификация географического места происхождения наркотических веществ на основе изотопного анализа углерода и азота. *Масс-спектрометрия* 1(1), 1 - 8 (2004).

10. J. P. Jasper, B.J. Westenberger, J.A. Spencer, L.F. Buhse, and M. Nasr, "Stable Isotopic Characterization of Active Pharmaceutical Ingredients," *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, Volume 35, Issue 1, April 2004, Pages 21-30.

THE DEVELOPMENT OF NEW REFERENCE MATERIALS FOR CARBON ISOTOPE-RATIO ANALYSIS

Chubchenko Y.K.¹, Konopelko L.A.^{1,2}

¹ *D.I.Mendeleev Institute for Metrology*

² *Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics*

ycc@b10.vniim.ru

In the recent decades, determination of carbon isotope composition is an important task in the field of environment research, medicine, energy, criminalistics, pharmaceuticals, geochemistry, food industry.

Isotope analysis helps to solve such tasks as detection of peptic ulcer [1], doping control [2], studying the geochemical cycle of carbon [3], determining the deposit and quality of oil and gas [4,5], food quality control [6,7,8,9], identification of the origin of narcotic substances [10], quality control of medicines [11].

Rapid developments in analytical instruments for carbon isotope-ratio analysis of gaseous substances is impossible without development of new isotope gas mixture reference materials in pressurised cylinders traceable to VPDB international measurement standard.

The article offers a study of the current methods of isotope-ratio carbon analysis, gives recommendations on design of a new type of $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ standard reference samples, and articulates main requirements to their uncertainties.

References

1. Graham D.Y. et al. *Campylobacter pylori* detected noninvasively by the ^{13}C -urea breath test. *The Lancet* 1987, p. 1174.

1. Saudan C. et al. Testosterone and doping control. *Br J Sports Med*, 2006, 40, p. 21.

2. Prosenjit Ghosh, Willi A. Brand. Stable isotope ratio mass spectrometry in global climate change research. *International Journal of Mass Spectrometry* 228 (2003) 1–33.

3. D.D. Coleman, "Geochemical Fingerprinting: Identification of Storage Gas Using Chemical and Isotopic Analysis," *Underground Storage of Natural Gas - Theory and Practice*, M. R. Tek (editor), Gulf Publishers, 1989.

4. Malvin Bjarøy, Keith Hall Janine Jumeau. Stable carbon isotope ratio analysis on single components in crude oils by direct gas chromatography—isotope analysis. *Trends in*

Analytical Chemistry. Volume 9, Issue 10, November–December 1990, Pages 331-337.

5. ГОСТ 31714-2012 «Соки и соковая продукция. Идентификация. Определение стабильных изотопов углерода методом масс-спектрометрии».

6. ГОСТ Р 55460-2013 «Продукция алкогольная. Идентификация. Метод определения отношения изотопов $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ диоксида углерода в игристых винах и напитках брожения».

7. ГОСТ 32710-2014 «Продукция алкогольная и сырье для ее производства. Идентификация. Метод определения отношения изотопов $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ спиртов и сахаров в винах и сулах».

8. Antje Schellenberg et.al. Multielement stable isotope ratios (H, C, N, S) of honey from different European regions. Food Chemistry 121 (2010) 770–777.

9. Э. М. Галимов и др. Идентификация географического места происхождения наркотических веществ на основе изотопного анализа углерода и азота. Масс-спектрометрия 1(1), 1 - 8 (2004).

10. J. P. Jasper, B.J. Westenberger, J.A. Spencer, L.F. Buhse, and M. Nasr, "Stable Isotopic Characterization of Active Pharmaceutical Ingredients," Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, Volume 35, Issue 1, April 2004, Pages 21-30.

СТАНДАРТНЫЕ ОБРАЗЦЫ ДЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БИОХИМИЧЕСКИХ АНАЛИЗАТОРОВ

Кустова В.Н.

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

В лабораторной медицине быстро распространяются средства автоматического анализа биологических жидкостей, прежде всего, крови и мочи. Сопоставимость показаний анализаторов возможна лишь при использовании метрологических подходов, в тесном взаимодействии разработчиков (производителей) анализаторов и клиницистов с метрологами.

На международном уровне примером такого взаимодействия служит деятельность JCTML (Объединенный комитет по прослеживаемости в лабораторной медицине). В Российской Федерации подобного органа пока нет, но совместная работа на отдельных направлениях уже ведётся.

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» совместно с ведущими производителями реагентов для клинико-диагностических лабораторий на Северо-Западе (АО «Витал Девелопмент Корпорэйшн», ООО «Медлакор С.-П.»), а также на основе консультаций с «СПб Государственным медицинским университетом им. И.П. Павлова», Институтом цитологии РАН, «СПб Государственным политехническим университетом» разработал несколько типов стандартных образцов, предназначенных для метрологического обеспечения биохимических анализаторов (калибровки, поверки, контроля правильности показаний).

Номер и наименование стандартного образца утверждённого типа	Аттестуемые характеристики стандартного образца и их значения (с границами относительной погрешности)	Объект метрологического обеспечения
ГСО 10669-2015 СО состава форменных элементов крови гематологической контроль (комплект ГК-ВНИИМ)	Счетная концентрация лейкоцитов, (WBC): (2,5-9,0) $10^9/\text{л}$ ($\pm 7\%$). Счетная концентрация эритроцитов, (RBC): (2,0-5,5) $10^{12}/\text{л}$ ($\pm 7\%$). Массовая концентрация гемоглобина (HGB): (50-160) г/л ($\pm 5\%$).	Гематологические анализаторы

ГСО 10023-2011 СО состава искусственной мочи	Массовая концентрация белка: (0,3-1,0) г/л (± 10 %). Молярная концентрация глюкозы: (5,0-17) ммоль/л (± 10 %). Счетная концентрация эритроцитов в пересчете на гемоглобин: (50- 250) клет/мкл (± 10 %) Водородный показатель: (pH) 4-8 ($\pm 0,5$) Плотность: (1,0-1,2) г/мл (± 10 %).	Анализаторы мочи на основе тест-полосочной системы
---	--	--

ГСО 9913-2011 СО молярной концентрации холестерина (лиофилизат)	Молярная концентрация холестерина (3,5-7,0) ммоль/л (± 7 %)	Биохимические анализаторы, автоматические, полуавтоматические.
ГСО 10238-2013 СО состава раствора гемиглобинцианида	Массовая концентрация гемиглобинцианида (70-200) г/л (± 5 %)	Анализаторы, гемоглобиномеры

Стандартные образцы утверждены Росстандартом; выпускаются под торговой маркой «Эталонные материалы ВНИИМ». Аттестованные значения стандартных образцов обладают метрологической прослеживаемостью.

В ближайшее время совместно с АО «Вектор-Бест» запланирована разработка ряда новых стандартов на основе лиофилизированной сыворотки для биохимического и иммунохимического анализа.

STANDARD SAMPLES FOR METROLOGICAL SUPPORT OF BIOCHEMICAL ANALYZERS

Kustova V.N.¹

¹ D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM)

In medical laboratories, presence of automatic means for analysis of biological fluids, primarily blood and urine, is rapidly increasing. Comparability of readings of analyzers is only possible with the use of metrological approaches, in close interaction between the developers and manufacturers of analyzers, clinicians with metrologists.

At the international level, the JCTML (Joint Committee for Traceability in Laboratory Medicine) is a good example of such interaction. In the Russian Federation, there is no such organization, but joint work is being carried out in certain areas.

D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM) in cooperation with leading manufacturers of reagents for clinical diagnostic laboratories in the North-West (Vital Development Corporation, Medlakor S.P.), and also on the basis of consultations with the St. Petersburg State Medical University, Institute of Cytology RAS, "St. Petersburg State Polytechnic University" has developed several types of standard samples intended for metrological support of biochemical analyzers (calibration, verification, monitoring, control of the correctness of indications).

Standard number and name	The attested characteristics of the standard sample and their values (With boundaries of relative error)	The object of metrological provision
--------------------------	--	--------------------------------------

Reference material 10669-2015 Standard sample of the composition of blood elements - hematological analysis	(WBC): (2,5-9,0) $10^9/l$ ($\pm 7\%$) (RBC): (2,0-5,5) $10^{12}/l$ ($\pm 7\%$) (HGB): (50-160) g/l ($\pm 5\%$)	Hematologic analyzers
Reference material 10023-2011 Standard sample composition of artificial urine	Mass concentration of protein: (0,3-1,0) g/l ($\pm 10\%$). Molar concentration of glucose: (5,0-17) mmol/l ($\pm 10\%$). Erythrocytes count in terms of hemoglobin: (50-250) cells/ μ l ($\pm 10\%$) Hydrogen index: (pH) 4-8 ($\pm 0,5$) Density: (1,0-1,2) g/ml ($\pm 10\%$).	Urine Analyzers Based on the Test-Strip System
Reference material 9913-2011 Standard sample molar cholesterol concentration (lyophilizate)	Molar cholesterol concentration (3.5-7.0) mmol / l ($\pm 7\%$)	Biochemical analyzers, automatic, semi-automatic.
Reference material 10238-2013 Standard sample of the composition of the solution of hemoglobin cyanide	Mass concentration of hemoglobin cyanide (70-200) g / l ($\pm 5\%$)	Analyzers, hemoglobinometers

Standard samples are approved by Rosstandart, and are produced under the trade mark "Reference materials by VNIIM". The certified values of standard samples are metrologically traceable.

In the near future, in cooperation with Vector-Best, it is planned to develop a number of new standards for biochemical and immunochemical analysis, based on lyophilized serum.

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ
4x-ЭЛЕКТРОДНОГО ПЕРВИЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ
ЖИДКОСТЕЙ ГЭТ 132-99**

Смирнов А.М.¹, Кривобоков Д.Е.², Мамцева М.С.¹

¹ ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»,

² ООО «Сибпромприбор-Аналит»

A.M.Smirnov@vniim.ru

В рамках программы по модернизации эталонной базы страны была поставлена задача совершенствования эталона единицы удельной электрической проводимости жидкостей ГЭТ 132-99. Одним из ключевых звеньев нового эталона является 4x-электродный первичный измерительный преобразователь (ячейка), который был разработан и изготовлен сотрудниками ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» совместно с ООО «Сибпромприбор-Аналит».

Чаще первичный измерительный преобразователь представляет собой 2x-электродную ячейку, в которой эти электроды служат для подведения тока и с них же снимается падение напряжения, создаваемое в исследуемом растворе. В 4x-электродных ячейках эти функции выполняют разные электроды, что снижает

поляризационные эффекты на электродах, особенно при работе на низких частотах [1].

Конструкция новой ячейки реализует принцип «цилиндр в цилиндре». Измерительной емкостью является пространство между цилиндрами, ограниченное с обоих торцов платиновыми (токовыми) электродами, на которые подается переменный ток. Значение тока измеряется амперметром. В «глубине» ячейки в области с устойчивым падением напряжения расположены потенциальные (измерительные) электроды, изготовленные из платиновой проволоки, обрезанной вровень со стенкой измерительной емкости. Вольтметр измеряет падение напряжения на потенциальных электродах. Генератор, амперметр и вольтметр гальванически развязаны по питанию и линиям данных, что позволяет минимизировать влияния, связанные с 50 Гц помехами [1,2].

Коэффициент преобразования измерительной ячейки (постоянная ячейки) был получен двумя путями:

– расчетным методом, основанным на геометрии ячейки с учетом влияния процессов, протекающих в ячейке, с помощью электрической эквивалентной схемы (ЭЭСЗ), моделирующей эти процессы:

– экспериментальным методом, при помощи эталонных растворов удельной электрической проводимости с известным значением УЭП.

Предложенная эквивалентная схема ячейки не обеспечивает полного соответствия характеру поведения экспериментальных данных; отклонения в определении кондуктивной постоянной составляют более 3 % [2].

Полученные результаты дают понять, что данная реализация 4х-электродной измерительной ячейки является промежуточным этапом и в дальнейшем требует доработки и дополнительных исследований.

Дальнейшая разработка данной ячейки привела к созданию конструкции ячейки, представляющей собой две коаксиальные емкости, разделенных стеклянной стенкой. Каждая емкость ячейки содержит независимые платиновые электроды, расположенные в соответствующих параллельных плоскостях. Внешняя ёмкость предназначена для эквипотенциальной защиты внутренней емкости, а так же для улучшения условий выравнивания температуры ячейки с термостатирующей жидкостью. Внутренняя ёмкость, являясь основным элементом ячейки, заполняется измеряемой (исследуемой) жидкостью.

Литература

1. Лопатин Б.А. Теоретические основы электрохимических методов анализа, - М.: Высшая школа, 1975, - 295 с.
2. Суворов В.И. Смирнов А.М. Отчет за 2016 год по теме Совершенствование Государственного первичного эталона единицы удельной электрической проводимости жидкостей в части диапазона от 0,1 до 50 См/м ГЭТ 132-99.

DEVELOPMENT AND RESEARCH INTO THE CONSTRUCTION OF A 4-ELECTRODE PRIMARY MEASURING TRANSFORMER (CONVERTOR) OF THE STANDARD UNIT OF THE SPECIFIC ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF LIQUIDS 132-99

Smirnov A. M.¹, Krivobokov D.E.², Mamtseva M.S.¹

¹ *D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM)*

² *"Sibprompribor-Analit", Ltd*

A.M.Smirnov@vniim.ru

Within the framework of the programme of modernization of the country's base of standards, the task was set to perfect the Standard unit of the specific electrical conductivity of liquids 132-99. One of the key elements of the new standard is the 4-electrode primary measuring transducer (cell) which was developed and produced by employees of D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM) in cooperation with "Sibprompribor-Analit" Ltd.

As a rule, the primary transducer is a 2-electrode cell, in which the electrodes are used for feeding electrical current and reading the voltage drop in the investigated solution. In the 4-electrode cells these functions are performed by different electrodes, which reduces polarization effects at the electrodes, particularly at low frequencies [1].

The new cell construction realizes the "cylinder-in-cylinder" principle. A measuring capacity is the space between the cylinders which is bordered at both butt-ends by platinum feeding electrodes, onto which alternating current is fed, the current value measured by an ammeter. In the "depth" of the cell, in the area with a stable voltage drop, potential (measuring) electrodes are located, made of platinum wire and cut off flush with the wall of the measuring capacity. A voltmeter shows the voltage drop at the potential electrodes. The generator, the ammeter and the voltmeter are separated galvanically in terms of feeding and data channels, which allows to minimize the errors connected with 50 hertz interferences [1,2].

The transducing coefficient of the measuring cell (the cell constant) was obtained by two methods:

– by calculation, theoretically, basing on the cell geometry regarding the influence of the processes, taking place in the cell, with the help of the electrical equivalent scheme that simulated those processes;

– experimentally with the help of standard solutions with given specific electrical conductivities.

The suggested equivalent scheme of the cell does not ensure a complete correspondence with experimental data; the deviation rates in the conductive constant are more than 3% [2].

The obtained results mean that the presented 4-electrode measuring cell is an interim stage and requires further development and additional research.

Further development of the given cell has led to creation of a cell construction presenting 2 coaxial capacities separated from each other by a glass wall. Each cell capacity has independent platinum electrodes located on corresponding parallel planes. The external capacity serves as equipotential protection for the internal capacity, as well as for the improvement of conditions for temperature equalization of the cell temperature and thermostat liquid temperature. The internal capacity, being the main element of the cell, is filled with liquid being investigated.

Literature:

1. Lopatin B.A. Theoretical foundations of electrochemical analysis methods.

Moscow, Higher School, 1975, 295 pages.

2. Suvorov V.I., Smirnov A.M. Year 2016 report on the subject of Perfection (Improvement) of the state primary standard unit of the specific electrical conductivity of liquids within the range from 0.1 to 50 cm/m of the State Standard 132-99.

**ВЫСОКИЙ УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ ЭТАЛОННОЙ БАЗЫ В ОБЛАСТИ
ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ – ВАЖНОЕ УСЛОВИЕ ДЛЯ
ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭФФЕКТИВНОГО ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ**

Колобова А.В.¹, Конопелько Л.А.¹, Кустиков Ю.А.¹

¹ ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

akol@b10.vniim.ru

В докладе обосновывается необходимость поддержания высокого уровня развития эталонной базы в области газоаналитических измерений для повышения конкурентоспособности отечественной промышленности и эффективного импортозамещения.

Описываются новые измерительные технологии для комплекса измерительных задач, реализуемых в промышленной и социальной сферах, для которых в настоящее время отсутствуют средства калибровки и поверки, соответствующие международному уровню точности.

Комплекс таких измерительных задач включает в себя:

- измерения состава сжиженных углеводородных газов,
- измерения состава биогазов,
- измерения содержания нестабильных компонентов (например, формальдегида)

в рамках санитарного контроля воздуха рабочей зоны,

- измерение микроконцентраций паров воды в газах, используемых при производстве полупроводниковых устройств,

- измерение содержания парниковых газов, в том числе изотопного состава газов, в атмосфере.

Уровень эталонной базы в области газоаналитических измерений определяется в первую очередь функционирующим во ВНИИМ Государственным первичным эталоном единиц молярной доли и массовой концентрации компонентов в газовых средах ГЭТ 154-2016 [1]. В докладе показана возможность обеспечения требуемой точности вышеперечисленных измерительных задач за счет применения разработанных новых высокоточных эталонных газовых смесей в баллонах под давлением, эталонных источников микропотоков, прецизионных хромато-масс-спектрометрических газовых методик измерения.

Литература

1. ГОСТ 8.578-2014 «Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений содержания компонентов в газовых средах».

HIGH LEVEL OF DEVELOPMENT OF STANDARD BASE IN THE FIELD OF GAS ANALYSIS MEASUREMENTS IS AN IMPORTANT CONDITION FOR IMPROVING OF COMPETITIVENESS OF DOMESTIC INDUSTRY AND EFFECTIVE IMPORT SUBSTITUTION

A.V. Kolobova¹, L.A. Konopelko¹, Y.A. Kustikov¹

¹*D.I. Mendeleev Institute for Metrology*

akol@b10.vniim.ru

The report proves the necessity of maintaining a high level of development in the base of standards in the field of gas analysis in order to improve the competitiveness of the domestic industry and efficient import-replacement.

The report describes new measuring technologies for a complex of measuring tasks in industrial and social areas, for which calibration and verification means meeting the international requirements for accuracy are currently unavailable.

The complex of measuring tasks includes:

- measurement of composition of liquefied petroleum gases;
- measurement of composition of biogases;
- measurement of content of unstable components (e.g., formaldehyde) for the sanitary control of working areas;
- measurement of water vapor microconcentrations in the gases used in manufacturing semiconductor devices;
- measurement of greenhouse gases content, including the isotopic composition of gases in the atmosphere.

The quality of the standards base in the field of gas analysis measurements is ensured essentially by the State Primary Standard of molar fractions and mass concentration units of components in gaseous mediums GET 154-2016 [1], which is functioning in VNIIM.

The report shows the possibility of providing the required accuracy for the abovementioned measurement tasks by the use of newly-developed high-precision standard gas mixtures in pressurised cylinders, standard permeation devices, and precise chromatomass-spectrometric gas measurement procedures.

References

1 – GOST 8.578-2014 “State system for ensuring the traceability of measurements. State hierarchy scheme for measuring instruments of the content of components in gaseous mediums”.

ДИПОЛЬНО-КВАДРУПОЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ПОВЕРХНОСТНО УСИЛЕННОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Полуботко А.М.¹, Челибанов В.П.², Ясенко Е.А.²

¹ *Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе Российской Академии Наук, Политехническая 26, 194021 Санкт-Петербург, Россия*

² *Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Кронверкский пр. 49, 197101 Санкт-Петербург, Россия*

¹ alex.marina@mail.ioffe.ru

² chelibanov@gmail.com

Дипольно - квадрупольная теория поверхностно усиленных оптических процессов основана на представлении о существовании сильного квадрупольного

взаимодействия света с молекулами, возникающего в сильно меняющихся в пространстве поверхностных полях, которые существуют в области поверхностной шероховатости. Усиление квадрупольного взаимодействия связано с двумя факторами. Первый фактор - достаточно сильное увеличение производных компонент электрического поля с одинаковыми индексами в областях наиболее острых шероховатостей, и второй фактор - значительно большие значения матричных элементов квадрупольных моментов типа $\langle \chi \rangle$ по отношению к матричным элементам дипольных моментов, чем это считалось ранее. Еще одна причина это увеличение компоненты электрического поля, которая направлена по нормали к поверхности в областях с большой положительной кривизной. Этот подход позволил нам объяснить большинство явлений, сопутствующих Гигантскомбатову комбинационному рассеянию (Гиг. КР), поверхностно усиленному Гиперкомбинационному рассеянию (усиленное Гипер КР) и усилению инфракрасного поглощения (УИП). Объяснению поддаются: порядок величин усиления, колоссальная величина усиления в явлении детектирования единичных молекул методом Гиг. КР, дальнедействующий и коротко действующий механизмы усиления, природа активных центров или «горячих» пятен на поверхности подложек, отклонение от закона в Гиг. КР, зависимость сигнала Гиг. КР от типа применяемой металлической подложки. Обосновывается экспериментально наблюдаемое появление запрещенных линий в спектрах и дается объяснение основным наблюдаемым закономерностям в спектрах Гиг. КР, усиленного Гипер КР и УИП симметричных молекул. Как оказалось, появление запрещенных линий в спектрах симметричных молекул в указанных процессах может быть объяснено с позиций сильного квадрупольного взаимодействия света с молекулами. Эти линии обусловлены полносимметричными колебаниями преобразующимися по единичному неприводимому представлению в молекулах с достаточно высокой симметрией. Линии наблюдались в молекуле этилена и иона адсорбированных на меди в УИП. Кроме того, сильные линии, обусловленные колебаниями, преобразующимися по единичному неприводимому представлению наблюдались в молекулах пиразина и феназина, адсорбированных на серебре в поверхностно усиленном Гипер КР. Данные по наблюдаемым закономерностям спектров Гиг. КР также подтверждают дипольно - квадрупольную теорию. Такие важные особенности, как максимальное усиление спектральных линий обусловленных колебаниями, преобразующимися по единичному неприводимому представлению могут быть объяснены существованием сильного квадрупольного взаимодействия. Кроме того, анализ спектров Гиг. КР этилена, гексафлюоробензола, 1,2,3 – трифлюоробензола, 1,3,5 – тридейтериобензола также выявил существование запрещенных линий. При этом наиболее усиленные линии обусловлены рассеянием через так называемые основные квадрупольные моменты и через компоненту дипольного момента, направленного по нормали поверхности. Вероятное появление остальных линий также может быть объяснено в рамках предлагаемой теории. Таким образом, известные поверхностно усиленные оптические процессы вероятно смогут быть объяснены в рамках формализма теории дипольно-квадрупольного взаимодействия.

Литература

1. Chelibanov V. P., Polubotko A. M. The Theory of Surface Enhanced Hyper Raman Scattering //arXiv preprint arXiv:1411.4016. – 2014.

DIPOLE-QUADRUPOLE THEORY OF SURFACE ENHANCED VIBRATIONAL SPECTROSCOPY

Polubotko A.M.¹, Chelibanov V.P.², Iasenko E.A.²

¹ *A.F. Ioffe Physico-Technical Institute of Russian Academy of Sciences, 194021 Saint Petersburg, Politechnicheskaya 26, RUSSIA*

² *St. Petersburg National Research University for Information Technologies, Mechanics and Optics, 197101, St. Petersburg, Kronverkskiy pr., 49, lit. A, RUSSIA*

¹ alex.marina@mail.ioffe.ru

² chelibanov@gmail.com

The Dipole-Quadrupole theory of surface enhanced optical processes is based on the idea of existence of a strong quadrupole light-molecule interaction, arising in surface fields, strongly varying in space, which exist in the region of surface roughness [1]. Enhancement of the quadrupole interaction can be explained by two factors. The enhancement of the field derivatives with the same Cartesian indices in the region of sharpest roughness and larger values of matrix elements of the quadrupole moments of the type with respect to the values of the matrix elements of the moments, than it was considered earlier. The second reason of the enhancement is the electric field component increase, which is perpendicular to the surface at places with a large positive curvature. These approach and ideas allow us to explain most of characteristics accompanying SERS, SEHRS and SEIRA, namely, the order of magnitude of the enhancement and enormous enhancement in the phenomenon of single molecule detection, long range and short range enhancement mechanism in these processes, the nature of active sites, deviation of the frequency dependence from the law in SERS, the dependence of the SERS signal on the kind of metal substrate. It is necessary to take note of the appearance of forbidden lines and main regularities of the spectra of symmetrical molecules in SERS, SEHRS and SEIRA. It appears that there are a lot of forbidden lines in the spectra of the above processes in symmetrical molecules, which can be explained in terms of the quadrupole interaction. They are the lines, caused by vibrations transforming after the unit irreducible representations in molecules with sufficiently high symmetry. Such lines are observed in the ethylene molecule and ion adsorbed on copper in SEIRA. In addition, strong lines caused by vibrations with the unit irreducible representation were observed in pyrazine and phenazine, adsorbed on silver in SEHRS. The data on the regularities of the SERS spectra also strongly support the Dipole-Quadrupole theory. It appears that such regularities as the maximum enhancement of the lines, caused by vibrations with the unit irreducible representation can be explained by existence of the strong quadrupole light-molecule interaction and does not contradict to the theory. In addition, analysis of the SERS spectra of ethylene, hexafluorobenzene, 1,2,3-trifluorobenzene, 1,3,5-trideteriobenzene reveals existence of forbidden lines. The most enhanced lines are caused by the scattering via so-called main quadrupole moments and via the component of the dipole moment, which is perpendicular to the surface. In addition, all other lines can be explained by means of this theory. Thus, the theory explains the surface enhanced processes completely.

References

1. Chelibanov V. P., Polubotko A. M. The Theory of Surface Enhanced Hyper Raman Scattering //arXiv preprint arXiv:1411.4016. – 2014.

**ОЛОВООРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ: РЕЗУЛЬТАТЫ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПУТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ
ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ**

Смирнов В.В., Беляков М.В.

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», 190005 Санкт-Петербург,

Московский пр., д.19

belyakov@b10.vniim.ru

В связи с возрастающим вниманием к защите окружающей среды от антропогенных загрязнений, в последнее время значительный интерес направлен на определение в природных объектах, в первую очередь почвах и донных отложениях, оловоорганических соединений. Согласно распоряжению правительства РФ от 30 декабря 2015 года № 2753-р, оловоорганические соединения, находящиеся в грунте, включены в перечень загрязняющих веществ, определение содержания которых становится необходимым при проведении экологических изысканий, сопутствующих любым работам. Существующий международный стандарт ISO 23161, предусматривающий определение оловоорганических соединений в грунтах методом GC-MS(AES), предполагает обязательную стадию дериватизации определяемых соединений, для перевода их в летучие тетраалкилзамещенные производные. Данная стадия усложняет и увеличивает трудоемкость анализа, однако при определении искомых соединений газохроматографически, является необходимой.

Для упрощения анализа в качестве подтверждающего метода определения оловоорганических соединений, использовался метод HPLC-ICP-MS, сходимость результатов, получаемых двумя методами была подтверждена результатами определения три- и дибутилолова в сертифицированных референтных материалах GBW08710 (Китай). В настоящее время данные методы задействованы для аттестации чистых оловоорганических веществ в рамках научно-исследовательской работы «Совершенствование Государственного первичного эталона единиц массовой (молярной) доли и массовой (молярной) концентрации органических компонентов в жидких и твердых веществах и материалах на основе жидкостной и газовой хромато-масс-спектрометрии с изотопным разбавлением и гравиметрии ГЭТ 208-2014»

За 2016 - начало 2017 года в рамках определения оловоорганических соединений в реальных образцах было проанализировано более 1000 проб донных отложений из акваторий Белого, Баренцева, Балтийского, Черного и Японского морей, с различных по своему характеру морских объектов: дна портов, заливов и бухт, проливов, морских фарватеров, а также свалок и захоронений донного грунта, извлеченного при дноуглубительных работах. Установлено, что степень загрязненности грунта оловоорганическими соединениями зависит от интенсивности антропогенного воздействия. Полученный объем данных, в том числе соотношение концентраций трибутилолова и продуктов его деградации – ди- и монобутилолова, позволяет определить зависимость периодов разложения и накопления оловоорганических соединений, в том числе и от характеристик самих водных объектов (средняя температура придонного слоя воды, наличие течений и т.д.). Ранее было установлено, что использование метода ICP-MS для измерения суммарного содержания всех форм олова в качестве менее трудоемкого скринингового метода при определении степени загрязненности объектов оловоорганическими соединениями, малоинформативно и нецелесообразно, поскольку содержание общего олова может быть выше содержания органических форм на один-два порядка.

Полученные результаты в детализированном виде представлены и обсуждены на конференции.

ORGANOTIN COMPOUNDS: RESULTS OF DETERMINATION AND WAYS TO ENSURE METROLOGICAL TRACEABILITY OF MEASUREMENTS

Smirnov V.V., Belyakov M.V.

*D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM), St. Petersburg, 190005 Moskovsky pr., 19
belyakov@b10.vniim.ru*

In connection with the growing attention to environmental protection from anthropogenic pollution recently a significant interest has been directed at the determination of organotin compounds in natural objects, primarily soils and bottom sediments. According to the Decree of the Government of the Russian Federation No. 2753-r of December 30, 2015, organotin compounds in the ground are included in the list of pollutants, investigation of which becomes necessary in carrying out environmental surveys accompanying any works. The existing international ISO 23161 standard, which provides for the determination of organotin compounds in soils by GC-MS (AES), assumes the obligatory stage of derivatization at which compounds are turned into volatile tetraalkyl-substituted derivatives. This stage complicates the process, increases the laboriousness of the analysis, but is necessary when investigating the compounds by means of gas chromatography.

To simplify the analysis, the HPLC-ICP-MS method was used as the confirmatory method for the determination of organotin compounds. Convergence of the results obtained by the two methods was confirmed by the results of investigation of tri- and dibutyltin in certified reference materials GBW08710 (China). At present, these methods are used for certification of pure organotins within the framework of the research work "Improvement of the State Primary Standard of Mass (Molar) Parts and Mass (Molar) Concentration of Organic Components in Liquid and Solid Substances and Materials Based on Liquid and Gas Chromato-mass spectrometry with isotope dilution and gravimetry SPS 208-2014" From 2016 to early 2017, more than 1,000 samples of bottom sediments from the waters of the White, Barents, Baltic, Black and Japanese Seas, were analyzed within the framework of the investigation in organotin compounds in real samples from various types of marine locations: port bottoms and bays, straits, sea fairways, as well as dumps and burials of bottom soil, extracted during dredging. It has been established that the degree of soil contamination with organotin compounds depends on the intensity of anthropogenic impact. The obtained amount of data, including the ratio of the concentrations of tributyltin and the products of its decay, di- and monobutyltin, makes it possible to determine the dependence of the periods of decomposition and accumulation of organotin compounds on factors including the characteristics of the water bodies themselves (average temperature of the bottom water layer, currents, etc.) It was previously established that the use of the ICP-MS method to measure the total content of all forms of tin as a less laborious screening method in investigating the degree of contamination of objects with organotin compounds is not very informative and is inappropriate, since the content of total tin can be higher than the content of organic forms by one or two orders of magnitude.

The results obtained are presented in detail and discussed at the conference.

РАЗРАБОТКА ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭТАЛОНА ПОЛЯРИЗУЕМОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ

Г.В. Шувалов, К.В. Генералов, В.М. Генералов*, М.В. Кручинина **,
И.В. Минин, Е.С. Коптев

В работе представлен прототип государственного эталона поляризуемости частиц микронного размера для калибровки измерительно-вычислительных комплексов

медицинского назначения, осуществляющих изучение свойств клеток крови методом диэлектрофореза. Суть метода состоит в исследовании свойств клетки в изотоническом растворе с низкой ионной силой и зондирования ее с помощью неоднородного переменного электрического поля в широком диапазоне частот. Метод позволяет в короткие сроки с минимальными материальными и временными затратами одновременно измерять: поляризуемость, жесткость, вязкость, электрическую емкость, проводимость, равновесную частоту и ряд других важных параметров клетки. Для имитации клеток крови в прототипе эталона используются полистирольные сферические частицы микронного размера. Расчетные и экспериментально измеренные с помощью комплекса величины поляризуемости эритроцитов и эталонных частиц совпадают между собой с удовлетворительной относительной погрешностью. Эталон позволяет осуществлять передачу единицы измерения поляризуемости клеток, эритроцитов для нужд медицины.

DEVELOPMENT OF STATE STANDARD OF POLARIZABILITY OF BIOLOGICAL PARTICLES

G.V. Shuvalov, K.V. Generalov, V.M. Generalov, M.V. Kruchinina, I.V. Minin,
E.S. Koptev

We present a prototype of state standard of polarizability of micron-sized biological particles for calibration of measurement and computation complexes for medical purposes that are used in study of blood cells by dielectrophoresis. The properties of a cell are studied in isotonic solution with low ion force, by probing it with inhomogeneous alternate electric field in wide range of frequencies. The method allows a simultaneous measurement of polarizability, stiffness, electrical capacitance, conductance, equilibrium frequency and other important parameters of the cell at low costs both financial, and time. Polystyrene spherical particles of micron size are used to imitate blood cells. Calculated polarizabilities of blood cells and standard particles are equal to those measured with the installation, with satisfying accuracy. The standard allows dissemination of the unit of polarizability of blood cells for medical purposes.

СЕКЦИЯ «ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ» SECTIONAL MEETING «THERMOPHYSICAL MEASUREMENTS»

ИЗМЕРЕНИЕ РЕЗОНАНСНОЙ ЧАСТОТЫ АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА ГАЗОВОГО ТЕРМОМЕТРА В РЕЖИМЕ АВТОКОЛЕБАНИЙ

Осадчий С.М., Потапов Б.Г.

ФГУП ВНИИФТРИ

osm@vniiftri.ru

В связи с предстоящим переопределением кельвина возникает необходимость разработки новых эталонов температуры, основанных, например, на зависимости скорости звука в газе от температуры газа, приводящей к изменению частоты акустического резонанса в квазисферическом резонаторе. Важная задача для таких эталонов – измерение резонансных частот акустического резонатора газового термометра, по которым можно рассчитать температуру газа в резонаторе с высокой точностью. Измерение резонансной частоты известными способами требует большого количества времени с учетом того, что требуется провести серию таких измерений при разных давлениях газа в резонаторе. Причем, на время измерений необходимо стабилизировать температуру резонатора и постоянный проток газа через резонатор, для того, чтобы в газе не появились примеси от десорбции с внутренних поверхностей.

В настоящей работе предлагается способ измерения резонансной частоты акустического резонатора газового термометра путем измерения частоты автоколебаний, возникающих на одной из резонансных частот резонатора. Включение резонатора в автоколебательный контур, состоящий из усилителя, частотного фильтра и фазовращателя, приводит к генерации автоколебаний на одной из резонансных частот акустического резонатора, заполненного газом - аргоном или гелием. Подстройкой частотных фильтров и фазовращателей подбирается необходимая мода генерации. Показано, что такой подход дает уменьшение времени измерения с десятков минут до нескольких секунд. Высокая стабильность автоколебаний и возможность быстрого и точного измерения частоты автоколебаний позволяет снизить вклад случайных погрешностей в погрешность измерений резонансных частот акустического резонатора и, следовательно, погрешность измерения температуры газа в резонаторе.

Температура газа в резонаторе и частота автоколебаний связаны соотношением:

$$T = T_w \cdot k^2(T) \cdot \left(\frac{f + \Delta f}{f_w + \Delta f_w} \right)_{p \rightarrow 0}^2$$

где f – частота генерации автоколебаний, при температуре T , f_w частота генерации автоколебаний при температуре тройной точки воды T_w , $\Delta f = f_{(l,n)} - f$ и $\Delta f_w = f_{w(l,n)} - f_w$ – поправки, связанные с отличием частоты генерации автоколебаний от резонансной частоты $f_{(l,n)}$, соответствующей собственной моде (l,n) сферического резонатора, вблизи которой реализуется генерация при температуре T и T_w , соответственно. Поправки Δf и Δf_w рассчитываются или определяются по результатам калибровки с использованием первичного эталона температуры. Коэффициент $k(T)$ учитывает изменение геометрических размеров резонатора от температуры, и в данной работе, поскольку диапазон изменения температуры не велик, принимался равным $1 + \alpha(T - T_w)$, где α – коэффициент линейного расширения меди; p – давление газа в

резонаторе. Предлагаемый подход может быть полезен при разработке эталонов основанных на новом определении кельвина.

RESONANCE FREQUENCY MEASUREMENT OF THE GAS THERMOMETER ACOUSTIC RESONATOR IN THE SELF-OSCILLATING MODE

Osadchii S.M., Potapov B.G.

VNIIFTRI

osm@vniiftri.ru

With the planned redefinition of the kelvin - the SI unit for temperature, necessity arises of developing more precise primary standards based on new methods of measurement. One of them provides for accurate temperature measurement basing on the relation between the speed of sound in a monatomic gas and thermodynamic temperature.

An important feature of such standards is that resonance frequencies of the acoustic resonator gas thermometer are directly measured, later processed, and provide very accurate figures for the temperature of the gas in the resonator. Existing approaches to measuring resonance frequency are relatively time-consuming, given that they demand a series of measurements at different gas pressures. Moreover, it is necessary to stabilize the temperature of the resonator and ensure the constant flow of gas through the resonator, to reduce the risk of impurities due to desorption from internal surfaces during measuring.

This paper proposes a way to measure the resonance frequency of a gas thermometer acoustic resonator by measuring frequency of self-oscillations that occur at one of the resonator's resonance frequencies. Inclusion of the resonator into the close-circuit oscillator, consisting of an amplifier, a frequency filter and a phase shifter leads to generation of oscillations at a certain resonance frequency of the acoustic resonator, filled with gas: we have carried out measurements with high-purity argon or helium as working gas. The required generation mode was obtained by tuning frequency filters and phase shifters. It is shown that such an approach results in a decrease in the time required for measurement from tens of minutes to several seconds. High stability of self-oscillations and the possibility of quick and accurate measuring of the frequency of self-oscillations allows to reduce the contribution of random error in measurements of resonance frequencies of the acoustic resonator and, consequently, of the gas temperature in the resonator.

The gas temperature in a resonator and the frequency of self-oscillations are linked by the equation:

$$T = T_w \cdot k^2(T) \cdot \left(\frac{f + \Delta f}{f_w + \Delta f_w} \right)_{p \rightarrow 0}^2$$

where is f – self-oscillation frequency at the temperature T , f_w – self-oscillation frequency at the temperature of the triple point of water, $\Delta f = f_{(l,n)} - f$ и $\Delta f_w = f_{w(l,n)} - f_w$ – correction factors related to difference between a frequency of self-oscillations and frequency $f_{(l,n)}$, that corresponds to the resonant mode n of a quasi-spherical resonator, close to which the self-oscillations are generated; Δf и Δf_w correction factors are determined by the results of the calibration using primary temperature standard temperature; $k(T)$ coefficient takes into account the temperature-dependent changing of the resonator's shape, and since the narrow range of the temperature changes, taken to be equal to $1 + \alpha(T - T_w)$, where α – a linear thermal expansion coefficient for copper, p – the pressure of the gas in the resonator. The proposed approach may be useful for developing standards based on the new definition of the kelvin.

ПЕРЕОПРЕДЕЛЕНИЕ КЕЛЬВИНА И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕРВИЧНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ ТЕМПЕРАТУРЫ В ДИАПАЗОНЕ ВЫШЕ 273,15 °С

Походун А.И.

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

A.I.Pokhodun@vniim.ru

Международный комитет мер и весов (МКМВ) многие годы имел долговременную цель определения всех основных единиц через фундаментальные физические константы, чтобы исключить зависимость от свойств каких-либо артефактов или материалов и обеспечить долговременную стабильность единиц.

В 2005 году в Консультативном комитете по термометрии была сформирована рабочая группа TG-SI, целью которой является оценка последствий введения нового определения кельвина. Рабочая группа TG-SI обобщив результаты всех исследований, относящихся к возможному новому определению кельвина, рекомендовала переопределение этой единицы через единицу энергии системы СИ, джоуль, фиксируя величину постоянной Больцмана.

Ожидается, что новое определение ряда единиц будет принято на Генеральной конференции по мерам и весам в 2018 году.

Следствием переопределения кельвина является необходимость модернизации отечественных государственных эталонов единицы температуры таким образом, чтобы обеспечить возможность воспроизведения кельвина в соответствии с его новым определением.

Эта задача решалась в рамках НИР «БОЛЬЦМАН» (ВНИИФТРИ) и НИР «КЕЛЬВИН» (ВНИИМ) в период с 2015 по 2016 гг. и завершается в настоящее время в рамках ОКР «КЕЛЬВИН-2».

По оценкам рабочей группы TG-SI новое определение кельвина не влияет непосредственно на статус МТШ-90 или ВНТШ-2000, однако имеются значительные преимущества для измерения термодинамической температуры, особенно ниже 20 К и выше ~ 1300 К, где первичные термометры могут обеспечить более низкую неопределённость, чем доступная в настоящее время по МТШ-90.

В диапазоне от 13,8 до 1235 К Государственный первичный эталон не требует каких-либо фундаментальных изменений в его составе так как переход к новому определению единицы температуры в обозримом будущем не предполагает каких-либо изменений в методе реализации кельвина в этом диапазоне.

Учитывая этот факт, при модернизации эталона ГЭТ 34 -2007 основное внимание было обращено на диапазон в области выше температуры 931,68 °С, где предполагается использование методов первичной термометрии.

В результате выполнения НИР «Кельвин» был создан и исследован экспериментальный образец первичного эталона единицы температуры, обеспечивающего переход на новое определение единицы температуры. Результаты исследований экспериментального образца подтвердили выполнение требований технического задания. Кроме того, в рамках НИР «Кельвин» были решены задачи расширения диапазона воспроизведения единицы температуры до 3473 С° и сокращения погрешности в 1,5 – 2 раза.

Экспериментальный образец, созданный в рамках НИР «Кельвин», представляет собой основную часть будущего государственного первичного эталона единицы температуры, гарантирующего одно из лидирующих мест России в международной работе по созданию унифицированных средств измерений температуры.

В рамках проекта «Кельвин-2» будут завершены работы по модернизации

оборудования для реализации фиксированных точек температурной шкалы, а также создана аппаратура обеспечивающая возможность реализации основного метода воспроизведения единицы температуры в диапазоне выше 931,68 °C.

REDEFINITION OF THE KELVIN AND PROSPECTS FOR IMPROVEMENT OF THE STATE PRIMARY STANDARD OF THE TEMPERATURE UNIT IN THE RANGE ABOVE 273,15 °C

A.I. Pokhodun

D.I. Mendeleev Institute for Metrology

A.I.Pokhodun@vniim.ru

The International Committee for Weights and Measures (CIPM) for many years has been preoccupied with a goal of redefining all basic measurement units through fundamental physical constants, in order to exclude dependence on the properties of any artifacts or materials and to ensure long-term stability of units.

In 2005, the TG-SI working group was formed in the Consultative Committee on Thermometry, whose purpose is to assess the consequences of introducing a new definition of the kelvin. After summarising the results of all studies pertaining to a possible new definition of the kelvin, the TG-SI working group recommended the redefinition of this unit through the unit of energy of the SI system, Joule, fixing the value of the Boltzmann constant.

It is expected that new definitions for a number of units will be adopted at the General Conference on Weights and Measures in 2018.

The consequence of the redefinition of the kelvin is the need to modernize the national state standards of the unit of temperature a way that will allow for the reproduction of the kelvin in accordance with its new definition.

This task was solved within the framework of research works "Boltzmann" (VNIIFTRI) and "Kelvin" (VNIIM) during the period from 2015 to 2016. It is currently being finalized within the framework of "KELVIN-2" project.

According to the estimates of the TG-SI working group, the new definition of kelvin does not directly affect the status of ITS-90 or PLTS - 2000, but offers significant advantages for measuring thermodynamic temperature, especially below 20 K and above ~ 1300 K, where primary thermometers can provide a lower uncertainty than the currently available ITS-90.

Since the transition to a new definition of a unit of temperature does not involve any changes in the method of kelvin reproduction in the range from 13.8 to 1235 K in the foreseeable future, an improvement in the standard in this temperature range does not imply any fundamental changes in its composition.

Taking into account this fact, when updating the standard SPS 34-2007, the main attention was paid to ranges above 931,68 °C, where primary thermometry methods are supposed to be used.

As a result of the implementation of the research work "Kelvin", an experimental sample of the primary standard of a unit of temperature was created and investigated, providing a transition to a new definition of the unit of temperature. The results of studies of the experimental sample confirmed the fulfillment of the technical assignment requirements. In addition, within the "Kelvin" framework, the problems of expanding the reproduction range of a unit of temperature to 3473 °C and reducing the error by a factor of 1.5-2 were solved.

The experimental sample created within the "Kelvin" framework comprises the main structural part of the future state primary standard of the unit of temperature, which will

provide for Russia one of the leading places in the international system for ensuring the uniformity of temperature measurements.

Within the framework of the "Kelvin-2" project, work will be completed on modernizing the equipment for implementation of fixed points of the temperature scale, and equipment will be created to provide the possibility of realizing the basic method of reproducing a unit of temperature in the range above 931,68 °C.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗМЕРЕНИЙ В ОБЛАСТИ ДИЛАТОМЕТРИИ (МЕЖДУ ТЕПЛОФИЗИКОЙ И МЕХАНИКОЙ - ОБЪЕДИНЯЯ ОБЕ)

Т.А. Компан

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

T.A.Kompan@vniim.ru

Дилатометрия – раздел науки о материалах, изучающий изменение размеров и формы тел в зависимости от температуры. Такое изменение обусловлено общей причиной для всех конденсированных веществ - асимметрией сил притяжения и отталкивания между частицами, составляющими материал (атомами, ионами, молекулами). Универсальность фундаментальных законов обеспечивает сходство внешних проявлений: за исключением некоторых специально созданных искусственных материалов, большинство материалов расширяется с коэффициентом $10^5 \div 10^6 \text{ K}^{-1}$. Вследствие этого размеры деталей машин, работающих лишь в климатическом диапазоне температур, меняют свои размеры на долю миллиметра. Современная техника использует температуры функционирования узлов и устройств от нескольких тысяч до единиц градусов Кельвина, и при этом требования по точности и согласованию размеров доходят до нанометров. Без дилатометрии технологическое развитие было бы невозможно.

Дилатометрия, как раздел метрологии, нацелена на обеспечение качества и единства измерений в области измерения изменений размеров тел, обусловленных изменением температуры. Во ВНИИМ первый эталон теплового расширения был утвержден в 1975 г. для работы в области температур 20-8000. За прошедшее время эталон прошел несколько модернизаций, в настоящее время эталонные дилатометры ВНИИМ перекрывают диапазон 90-3000K при существенном увеличении точности и функциональности.

Прошедшие модернизации включили совершенно новые принципы и технические возможности современной техники. Удлинение, которое раньше отсчитывалось на глаз по смещению полос интерференции относительно визира, теперь осуществляет система технического зрения с высоким разрешением и скоростью отсчета, а визуальная картина обрабатывается с применением сложных алгоритмов. Сегодня интерференционные измерения осуществляются с точностью менее $0,5 \cdot 10^3$ интерференционной полосы. Можно упомянуть использование таких новых методов, таких как гетеродинирование лазерных пучков, использование спекл-интерферометрии.

Постоянное поддержание технических возможностей на высоком уровне обеспечило передовой научный уровень, конкурентоспособность и востребованность работ ВНИИМ в области дилатометрии. Лаборатория проводит исследования по заказам ведомств, аттестует меры ТКЛР, в том числе для многих зарубежных центров.

Развитие техники и технологий ставят перед лабораторией дилатометрии новые задачи. Зависимость размеров тел от температуры – одна из многих зависимостей механических величин от этого параметра. Термомеханика уже достаточно давно

сформировалась как материаловедческая дисциплина. Метрология должна учитывать усложняющиеся запросы практики: в этом залог ее развития и востребованности. Лаборатория дилатометрии ВНИИМ видит для себя в будущем новое поле задач по обеспечению единства измерений различных видов термомеханических измерений, обеспечение их необходимым набором средств поверки и калибровки.

**STATUS AND PROSPECTS OF MEASUREMENT IN THE FIELD OF
DILATOMETRY
(BETWEEN THE THERMOPHYSICS AND MECHANICS – COMBINING
BOTH)**

T.A. Kompan

D.I.Mendeleev Institute for Metrology

T.A.Kompan@vniim.ru

Dilatometry is the area of materials science that studies change in the dimensions of bodies as a function of temperature. In all condensed substances, this change is due to one common cause – the asymmetry of the forces of attraction and repulsion between the particles, that make up the material (atoms, ions, molecules). The universality of the fundamental laws ensures the similarity of the external manifestations of the phenomenon: with the exception of some specially created artificial materials, most materials expand within the factor of $10^{-5} \div 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. As a consequence, the dimensions of machine parts, working within the climatic temperature range, change by fractions of a millimeter. However, in modern technology, operation temperatures are not uncommon that vary from several thousand to several degrees Kelvin, and the requirements for size precision and coordination are as tight as nanometers. Obviously, without dilatometry, technological advancements would be impossible.

Dilatometry, as a branch of Metrology, is aimed at ensuring the quality and uniformity of measurements concerning the temperature related changes in the size of bodies. At VNIIM the first Standard of the thermal expansion was approved in 1975 for operation within temperature range of 20-1200° C. Since that time, the Standard has gone through several upgrades; currently the Standard dilatometers in VNIIM cover the range of 90-3000K with a significant increase in precision and functionality.

The recent upgrades brought in some completely new principles and technical possibilities of modern technology. Elongation, which used to be read by eye as displacement of the interference fringes against the vizer, is now read by a high resolution, high recording speed technical vision system, and the image is processed with the use of sophisticated algorithms. Today, interference measurements are performed with the accuracy not worse than $0.5 \cdot 10^{-3}$ of an interference fringe. Also, the use of such new techniques as heterodyning of laser beams and the use of speckle interferometry should be mentioned.

Maintaining a high level of technical capabilities has provided for the advanced scientific level of the Institute research and insured competitiveness of and the high demand for the VNIIM services in the field of dilatometry. The laboratory conducts research on the orders of authorities, certifies CTE measures, including for many foreign centers.

The development of science and technologies poses new challenges before the laboratory of dilatometry. The dependence of dimensions on temperature is one of the many examples of mechanical values depending on this parameter. Thermomechanics is now well established as a materials science discipline. Metrology should take into account the increasing complexity of demands in practical applications, which is a guarantee of its development. In the future, the laboratory for dilatometry of D.I.Mendeleev Institute sees a

new field of tasks for itself - to ensure the uniformity of various types of thermo-mechanical measurements, and to provide them with the necessary tools for verification and calibration.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Соколов Н.А., Соколов А.Н.

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

n.a.sokolov@vniim.ru

Рассмотрены предложенные во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева принципиально новые запатентованные способы воспроизведения единицы теплопроводности в любой точке заданного диапазона и созданный на этой основе новый класс средств измерений – многозначные меры теплопроводности (МТМ) и теплостаты.

Приведены результаты двух пилотных сличений, проведённых в рамках КООМЕТ с участием национальных метрологических институтов (НМИ) БелГИМ и КазИнМетр, а также дополнительных сличений под эгидой ВРМ с участием CENAM, LNE, NIM, NIST, NPL и РТВ. В этих сличениях ВНИИМ им. Д.И. Менделеева был представлен теплостатом А1, входящим в состав Государственного первичного эталона единицы теплопроводности ГЭТ 59-2007 и подтвердившим заявленные метрологические характеристики, превосходящие параметры эталонной аппаратуры других НМИ.

После выполнения в 2016 г. работы по совершенствованию ГЭТ 59-2007, благодаря созданию новых МТМ и теплостата А4, появилась возможность воспроизводить и передавать единицу теплопроводности в диапазоне от 0,02 до 0,2 Вт/(м К) при температуре до 300°C, а создание теплостата А5 позволило расширить диапазон воспроизведения и передачи единицы с 20 до 500 Вт/(м К) в климатическом диапазоне температуры. Кроме того, в новом эталоне (ГЭТ 59-2016) предусмотрена возможность воспроизведения и передачи единицы теплового сопротивления, которая в отличие от теплопроводности является аддитивной физической величиной и широко используется в строительной индустрии.

В 2017 г. запланировано внедрение вновь разработанной государственной поверочной схемы, которую возглавит ГЭТ 59-2016. В качестве вторичного эталона будет использован существующий эталон 3.1.ZZB.0112.2014 с расширенным набором мер теплопроводности и теплового сопротивления.

В качестве одного из новых рабочих средств измерений проходит испытания в целях утверждения типа прибор для измерений теплопроводности и теплового сопротивления теплоизоляторов при температуре до 300°C. Также создана и запатентована установка для определения сопротивления теплопередачи строительных конструкций, которая по своим метрологическим характеристикам вдвое превосходит лучшие зарубежные аналоги.

Развитию метрологического обеспечения измерений теплопроводности и связанных с ней величин способствует активное участие ВНИИМ им. Д.И. Менделеева в работе нового технического комитета по стандартизации «Строительные материалы (изделия) и конструкции» (ТК 144), созданного согласно приказу Росстандарта от 30 декабря 2016 г. № 2034.

С помощью вновь созданных эталонных и рабочих средств измерений, в перспективе, будут с более высокой точностью исследованы теплофизические и теплотехнические параметры строительных материалов и конструкций, что позволит повысить эффективность энергосбережения.

STATE AND PROSPECTS OF METROLOGICAL MAINTENANCE IN MEASURING THERMAL CONDUCTIVITY

Sokolov N.A., Sokolov A.N.

D.I. Mendeleev Institute for Metrology

n.a.sokolov@vniim.ru

The proposed by D.I. Mendeleev Institute for Metrology fundamentally new proprietary methods of reproducing the thermal conductivity unit at any point in the specified range, and a new class of measurement instruments based on these methods – “multi-value measures of thermal conductivity” (MTM) and “teplostats” (heat maintaining devices) are considered in this report.

The results are presented of two pilot comparison studies conducted within the COOMET framework and involving National Metrology Institutes (NMI) BelGIM and KazInMetr, as well as additional comparison studies under the auspices of BIPM, with the participation of CENAM, LNE, NIM, NIST, NPL and PTB. The A1 thermostat, which is an element of the State Primary Standard of the thermal conductivity unit GET 59-2007, presented by VNIIM, confirmed the declared metrological characteristics, which proved to exceed the relevant parameters of the reference equipment by other NMIs.

Following the completion in 2016 of work to improve the GET 59-2007 due to the creation of new MTMs and the A4 thermostat, it was possible to reproduce and disseminate the thermal conductivity unit in the range from 0,02 to 0,2 W/(m·K) at temperatures of up to 300 °C. Creation of the A5 thermostat made it possible to expand the range of reproduction and transfer of the unit from 20 to 500 W/(m·K) in the climatic temperature range. In addition, in the new standard (GET 59-2016) a possibility is allowed of reproduction and disseminating the unit of thermal resistance, which, unlike thermal conductivity, is an additive physical value and is widely used in the construction industry.

Implementation of a newly developed state verification scheme, headed by GET 59-2016, is scheduled for 2017. The existing standard 3.1.ZZB.0112.2014 with an expanded set of thermal conductivity and thermal resistance measures will be used as secondary standard.

As one of the new working means of measurement, a device for measurement of thermal conductivity and thermal resistance of insulating materials at temperatures of up to 300°C is currently undergoing tests for type approval at D.I. Mendeleev Institute for Metrology. Also, an installation for determining the heat resistance of building structures has been created and patented, which provides for twice as good metrological characteristics as the best foreign analogues.

Development of metrological support for measurements of thermal conductivity and associated values is supported by active participation of D.I. Mendeleev Institute for Metrology in the work of the new technical committee for standardization "Building Materials (Products) and Constructions" (TC 144), organised in accordance with the order of Federal Agency on Technical Regulation and Metrology.

With the newly created reference and working measuring instruments, parameters of construction materials and structures will be investigated with higher accuracy, which will improve energy saving efficiency.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ЭНЕРГИИ СГОРАНИЯ

Корчагина Е.Н.¹, Казарцев Я.В.¹, Мишина К.А.¹, Яновский Д.Ю.²

¹ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», г. Санкт-Петербург,

²ООО «Теплофизические приборы», г. Санкт-Петербург

E.N.Korchagina@vniim.ru

Деятельность лаборатории калориметрии ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» направлена на совершенствование национальной системы метрологического обеспечения (МО) измерений энергии сгорания твердого и жидкого топлива (бомбовая калориметрия) и газообразного топлива (газовая калориметрия).

В основе обеспечения единства измерений энергии сгорания в России находится Государственный первичный эталон единиц энергии сгорания, удельной энергии сгорания и объемной энергии сгорания ГЭТ 16–2010, который обслуживает наиболее важные области промышленности страны: топливно-энергетический комплекс, нефтехимическую, угольную, металлургическую.

В 2015 году в рамках программы по Совершенствованию эталонной базы России во ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» была поставлена задача по совершенствованию ГЭТ 16–2010, заключающаяся в расширении диапазона измерений объемной энергии сгорания с 50 до 90 МДж/м³ и уменьшении нижней границы с 10 до 3 МДж/м³. Расширение диапазона измерений объемной энергии сгорания позволит обеспечить достоверные измерения энергии сгорания попутных нефтяных газов (ПНГ) различных составов, а также низкокалорийных газов (доменного, коксового, генераторного, биогазов пиролизных установок), которые начинают широко применяться в теплоэнергетике, нефтехимии и металлургии.

Актуальной на сегодняшний день задачей является создание современного метрологического обеспечения газовых калориметров и хроматографов, работающих в диапазоне от 3 до 90 МДж/м³ и предназначенных для измерений калорийности ПНГ и его смесей с природным газом, а так же низкокалорийных газов. В рамках проводимых мероприятий запланировано создание рабочих эталонов, представляющих собой калибровочные и поверочные газовые смеси с различными значениями теплоты сгорания, характерными для различных типов газов.

Для решения поставленных задач было разработано техническое задание на изготовление оборудования, необходимого для комплектования первичного эталона новыми калориметрическими установками, реализующими возможность сжигания газов в диапазоне (3–90) МДж/м³, с относительной погрешностью измерений объемной теплоты сгорания газов, не превышающей 0,5 %.

Изготовление калориметрических установок осуществляет ООО «Теплофизические приборы» – отечественный производитель газовых калориметров поточного типа, эксплуатируемых на крупных предприятиях топливно-энергетического комплекса.

Лаборатория калориметрии организует свою деятельность как в направлении разработки новых эталонных мер или стандартных образцов, так и в проведении периодических раундов МСИ с применением контрольных образцов углей, аттестованных по нескольким параметрам качества (энергия сгорания, зольность, общая сера, выход летучих веществ) и мазута (энергия сгорания, плотность, кинематическая вязкость, температура вспышки, содержание серы). Государственный метрологический надзор за деятельностью лабораторий топливно-энергетического комплекса решающим образом определяет взаимоотношения между поставщиками и потребителями энергоресурсов.

STATUS AND PROSPECTS OF METROLOGICAL ASSURANCE FOR COMBUSTION ENERGY MEASUREMENTS

E.N. Korchagina¹, I.V. Kazartcev¹, K.A. Mishina¹, D.Yu. Yanovskiy²

¹ Russian Federation, St. Petersburg, D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM)

² Russian Federation, St. Petersburg, ООО «Теплофизические приборы»

E.N.Korchagina@vniim.ru

The Calorimetric Laboratory of D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM) has been improving the national system of metrological assurance for combustion energy measurements of solid and liquid fuels (bomb calorimetry), and gaseous fuels (gas calorimetry).

The State Primary Standard of the units of combustion energy, specific combustion energy and volumetric combustion energy (GET 16-2010) provides the basis for ensuring the uniformity of measurements for the needs of the most important industries of the country – fuel and energy complex, petrochemical, coal, metal and chemical industries.

D.I. Mendeleev Institute for Metrology has been improving the State Primary Standard in the area of combustion calorimetry GET 16–2010 since 2015, particularly with the aim of expanding the measurement range highest limit from 50 to 90 MJ/m³ together with reducing the lowest figures from 10 to 3 MJ/m³.

Measurements range expansion will allow for the metrological assurance for precision measurements of combustion energy of associated petroleum gases (APG) of various compositions, and also of low-calorific gases (coke gas, blast-furnace gas, biogas) which are beginning to find wide usage in heat production industry, petrochemical industry and metallurgy.

Now the priority is to create modern type of metrological assurance for the gas calorimeters and chromatographs with the operational range of 3 to 90 MJ/m³ intended to measure calorific values of APG and its mixtures with natural gas, and low-calory gases. As a part of this workframe, it has been planned to create operational standard gas mixtures with different calorific values typical of different types of gases to serve for calibration and verification.

A technical task has been developed for manufactures of the calorimetric gas equipment to realize the possibilities to burn various gases in the range of 3 – 90 MJ/m³ with a relative accuracy of better than 0,5 %.

The production of the reference equipment is being carried out by the domestic enterprise – JSC «Теплофизические приборы (Thermophysical equipment)» (Saint-Petersburg).

The VNIIM Calorimetric Laboratory organises its activities with the goal of developing new state primary standard and also running periodical interlaboratory comparison tests (ICT) with reference samples of coals, attested for several quality parameters, such as combustion energy, ash value, total sulphur, volatiles output; and also with fuel oil attested for: combustion energy, density, cinematic viscosity, flash-point, sulphur content.

State metrological monitoring of the fuel-energy industrial complex plays a decisive part in the relationship between the suppliers and consumers of the energy resources.

ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ НАНОКАРБИДА ЦИРКОНИЯ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Костановский А.В., Костановская М.Е., Зеодинов М.Г., Пронкин А.А.

Объединенный институт высоких температур РАН

Kostanovskiy@gmail.com

Представлены результаты экспериментальных исследований относительного удлинения и среднего коэффициента линейного расширения нанокарбида циркония в диапазоне температур 1200-2800 К.

В исследованиях были реализованы новые подходы для измерения относительного удлинения: по сквозным цилиндрическим меткам, расположенным в центре изотермической области, и определение температуры двумя моделями АЧТ, которые были вынесены из области измерения относительного удлинения.

Экспериментальные образцы представляли собой сплошные и полые цилиндры. Образцы устанавливали в специальных держателях внутри графитового цилиндрического нагревателя. В процессе эксперимента образец устанавливали горизонтально, юстировали его местоположение, затем фотографировали изотермический участок в холодном и нагретом состояниях. Время выдержки составляло не менее 20 минут. Расстояние между метками при комнатной температуре перед началом и после эксперимента l_0 , относительное удлинение $\Delta l/l_0$ образца в нагретом состоянии $\Delta l = l_{T_{\text{макс}}} - l_0$ определяли обработкой фотографий в среде MathCad и Photoshop. Отсчет величин Δl и l_0 проводился в пикселях. Использовался вариант определения расстояния Δl и l_0 по центрам меток.

Результаты исследований находятся в хорошем согласовании с литературными данными в нижнем интервале значений исследованного диапазона температур, что свидетельствуют о надежности предлагаемых конструктивных решений для измерения линейного удлинения при высоких температурах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ грант № 15-08-06279.

LINEAR EXTENSION OF ZIRCONIUM NANOCARBIDE AT HIGH TEMPERATURES

Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences (JIHT RAS)
Kostanovskiy@gmail.com

The results of experimental research in relative elongation and average thermal expansion in zirconium nanocarbide within the temperature range of 1200-2800K are presented.

In the research new approaches to measuring relative elongation have been realized: through cylindrical marks located in the center of an isothermal area, temperature being measured by two blackbody (BB) models positioned outside the area of relative elongation measurement.

Solid and hollow cylinders were used as experimental samples. Samples were set into special holders inside a graphite cylindrical heater. For the experiment the samples were positioned horizontally, then their positions were adjusted against a reference point, and then the isothermal area was photographed before and after heating. Samples were exposed to heat for no less than 20 minutes. Distance between marks at room temperature, before and after the experiment (l_0), relative elongation ($\Delta l/l_0$) of heated sample $\Delta l = l_{T_{\text{макс}}} - l_0$ was established by processing the images in MathCad environment and Photoshop. Readings for Δl and l_0 are in pixels. Readings for Δl and l_0 are from the centres of the marks

Results of the research are in good compliance with the relevant data from literature for the bottom part of the investigated temperature range, which testifies to reliability of the proposed engineering solution for experiment.

This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project no. 15-08-06279.

О ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

М.Н. Арнольд

АО «Государственный научный центр РФ

«Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского», г. Обнинск

В докладе рассматривается понятие достоверности результатов научных исследований. Отмечается, в частности, что Положение о порядке защиты диссертаций требует, чтобы официальные оппоненты подтверждали достоверность результатов диссертационных работ, а также рекомендаций и выводов, сделанных в них. Это требование должно, конечно, распространяться на любую исследовательскую работу.

Однако содержание этого понятия как в Положении, так и в других источниках (Закон РФ «Об обеспечении единства измерений», международный словарь по метрологии и т. п.), не даётся.

Представители естественных наук обычно не раскрывают его содержание, в лучшем случае замечая, что достоверность – это что-то вроде точности. Обсуждая вопрос о достоверности полученных результатов, авторы исследований (диссертационных работ) часто указывают, что их достоверность основывается на использовании проверенных методов исследований, детальной оценке погрешностей измерений, проведении комплекса тестовых и тарировочных опытов, и т.д. Иногда и этого не делается.

Вопрос о достоверности результатов измерений в докладе рассмотрен на примере измерения теплофизических и физико-химических свойств металлов и их сплавов.

Все металлы в той или иной степени способны взаимодействовать с элементами воздушной атмосферы, материалами экспериментальных установок, и т.п. На погрешность результатов их измерений влияют многочисленные факторы (температура, давление, состав сплавов, содержание примесей и т.п.).

Следует иметь ввиду, что металлы и их сплавы при этих измерениях являются частью достаточно сложной системы, включающей в себя кроме того внешнюю атмосферу, в которой находятся исследуемые вещества, элементы экспериментальной установки, взаимодействующие с исследуемыми веществами и т.п. Процессы, протекающие в такой системе, могут отразиться на результатах измерения. В этих условиях результаты измерений будут относиться только к конкретному образцу материала, находящемуся в измерительной ячейке.

При этом, если даже измерение свойств этого образца выполнено безупречно, об итоговой достоверности можно говорить только если известны состав образца, содержание примесей в нём и т.д., а также зависимость изучаемого свойства от состава образца и содержания примесей. К сожалению, по разным причинам этого не делается, в том числе и из-за отсутствия зачастую методов анализа металлов и сплавов на содержание примесей, методов определения состава сплавов.

Представляется, что научная общественность, специалисты-метрологи должны сформулировать отношение к такого рода исследованиям и их результатам. По мнению автора доклада, такие исследования могут заслуживать высокой оценки и публикации. Однако при этом должны быть приведены все сведения о физико-химическом состоянии исследуемого материала, которыми могут располагать авторы подобных исследований.

ON THE RELIABILITY OF RESEARCH RESULTS

M.N. Arnoldov

JSC "State scientific center of the Russian Federation
"Physics and energy Institute after name A. I. Leipunsky", Obninsk

The report discusses the concept of reliability of research results. It is noted that the Regulations on the procedure of thesis defense require that official opponents should confirm the reliability of the results of the dissertation work, as well as recommendations and conclusions made in them. This requirement should undoubtedly apply to any research work.

However, the essence of this concept in the Regulations and in other sources (the RF Law "On ensuring the unity of measurements", the international dictionary of metrology, etc.) is not explained.

Natural scientists usually do not explain its essence either, at best, noticing that reliability is similar to accuracy. Discussing the reliability of the obtained results, the authors of the studies and dissertation works often indicate that their accuracy is ensured by the use of proven research methods, detailed assessment of measurement error, carrying out a range of trial and calibration experiments, etc.

In the report, the issue of reliability of the measurement results is considered against an example of measuring thermophysical and physico-chemical properties of metals and their alloys.

All metals, to a varying degree, are able to interact with the atmospheric elements, materials, experimental equipment, etc. Measurement error depends on many factors (temperature, pressure, alloy composition, impurities content, etc.)

It should be borne in mind that metals and their alloys in these measurements are parts of a fairly complex system, including also the external atmosphere, surrounding the elements of the experimental installation, and interacting with the studied substances, etc. Processes, occurring in such a system can affect the measurement results. In these conditions the measurements will be only relevant to the particular sample of the material in the measurement cell.

Moreover, even if the measurements of the properties of this sample have been performed flawlessly, overall reliability can only be spoken about if composition of the sample is known exactly, as well as the dependence of the studied properties on the composition of the sample and impurities in it. Unfortunately, for various reasons this is not done, often due to the lack of methods of analysis of metals and alloys for the content of impurities, or methods of determining the composition of alloys.

It seems that the scientific community, specialists-metrologists should take a position in relation to such studies and their results. In the opinion of the author of the report, such studies may deserve a high rating and publication. However, the authors of such studies should share all the information about the physico-chemical status of the investigated material that they possess.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ СРЕДСТВАМИ ПЕРЕДАЧИ ЕДИНИЦ ТЕМПЕРАТУРЫ, РАЗРАБОТАННЫМИ И ВЫПУСКАЕМЫМИ

АО «НПП «ЭТАЛОН» В ДИАПАЗОНЕ $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ $+2500\text{ }^{\circ}\text{C}$

Генеральный директор АО «НПП «Эталон», к.т.н. Никоненко В.А.

АО «НПП «Эталон», г. Омск, ул. Лермонтова, д. 175

fgup@omsketalon.ru

Для обеспечения единства измерений в Советском Союзе при Госстандарте

СССР было создано Всесоюзное промышленное объединение «Эталон» в составе 30 заводов, в том числе и наше. В настоящее время осталось только наше предприятие.

Распад СССР привел к тому, что Россия в 1991-1994 годы осталась в области измерения температуры без рабочих СИ, так как датчики температуры выпускались на Украине, в г. Луцк, пирометры - в г. Каменск-Подольский, а также без метрологического оборудования, которое выпускалось в Казахстане (поверочная установка УТТ-6 – в г. Алма-Ата), термостаты - в Целинограде (нынешний г. Астана), поверочные печи типа «Цинк-5» - в г. Актюбинске, а на Украине в г. Харькове - «черные тела».

По поручению Госстандарта России и Минфина России в 1991 г. мы приступили к выпуску рабочих СИ платиновой группы. При методическом руководстве ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» (г. Санкт-Петербург) разработали КД и начали выпуск термостатов нулевого, жидкостного, сухоблочного, а также калибраторов температуры. Модернизировали свою установку УПСТ-1, что позволило закрыть этим оборудованием контактную термометрию. Но вскоре возникла проблема: не было вольтметра Щ31 производства Краснодарского завода «ЗИП», который обанкротился, а кроме того, вольтметр В7-54 Белорусского производства больше не выпускался. Мы вынуждены были разработать милливольтметр В2-99, впоследствии Лауреат конкурса «Сто лучших товаров России» (2005 г). В эти же годы взялись за разработку криостатов, сначала КР-40 (-40...+40°C), а затем КР-80 (-80+40°C) и КР-190 (диапазон от -190 до -60°C). Разрабатывая это метрологическое оборудование, нам пришлось создать целую группу регуляторов температуры и портативных измерителей температуры.

Весь этот набор средств измерения и регулирования позволил создать единый комплекс СИ. Параллельно с этим мы разработали новые рабочие импортозамещающие СИ аналогичные СИ производства фирм Fluke, Rosemount и др. В 2015 году закончили разработку печей для реперных точек меди и цинка, вместе с контейнером, позволяющим использовать ампулы этих реперных точек, как советского так и российского производства, а также импортных фирм типа Fluke.

Все работы шли и идут в жесткой конкуренции, как со стороны зарубежных поставщиков, так и российских.

В 1999 году наши потребители вышли с предложением разработать российские пирометры взамен американских фирмы Райтек. В настоящее время мы выпускаем 8 типов рабочих пирометров с использованием оптоволокон. Это позволило улучшить качество и надежность приборов. Интерес также вызывают пирометры типа ПД-6, ПД-7 - с выносной оптической головкой, позволяющие контролировать температуру сварки. Жизнь потребовала начать разработку метрологического оборудования. Начали с АЧТ 50/100/1100 на базе наших печей МТП-2М. Разработали АЧТ 70/90/2500. Большой вклад внес д.т.н. Костановский Александр Владимирович сотрудник Академии наук ИВТАН.

В настоящее время мы выпускаем эталонные пирометры ПД-9-02 диапазоном 400-1500°C и ПД-4-06 диапазоном 900-2500°C. Совместно с ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» разработали протяженное «черное тело» (ПЧТ) для поверки тепловизоров.

Таким образом, мы совместно с ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» обеспечили стране ведущее место в мире в области термометрии наряду с США и Германией. Работы велись без государственного финансирования.

ENSURING THE UNIFORMITY OF MEASUREMENTS BY MEANS OF TEMPERATURE UNITS DISSEMINATION FACILITIES WITHIN THE RANGE - 190°C +2500°C, DESIGNED AND PRODUCED BY JSC “RESEARCH AND PRODUCTION ENTERPRISE “ETALON”

General Director of JSC “Research and Production Enterprise “Etalon”, PhD in Technical Sciences Mr. V.A. Nikonenko, address: 175, Lermontov street, Omsk city fgup@omsketalon.ru

In order to ensure the uniformity of measurements in the Soviet Union, “Etalon”, an All-Union Industrial Association affiliated with the State Committee for Standardization was established, comprising 30 plants, including ours. At present, only our enterprise still operates.

The collapse of the USSR led to the fact that in 1991-1994, in the field of temperature measurement, Russia ran out of all working measuring systems as they had been produced in the countries, which became foreign states. For example, temperature sensors had been produced in Lutsk, Ukraine, and pyrometers had been produced in Kamensk-Podolsk, Ukraine; calibration equipment had been manufactured in Kazakhstan: calibration set UTT-6 in Almaty, thermostats - in Tselinograd (now Astana), “Zink-5” calibration furnaces - in Aktyubinsk; black body radiators had been produced in Kharkov, Ukraine.

By order of Russian State Committee for Standardization and the Ministry of Finance of Russia, in 1991 we started to produce working measuring systems of platinum group. Following the methodological guidelines of the Federal State Unitary Enterprise “All-Russian Research Metrology Institute named after D.I. Mendeleev”, St. Petersburg (VNIIM), we prepared engineering drawings and started to produce zero-point, liquid, and dry-block thermostats as well as temperature calibrators. We upgraded the “UPST-1” installation, which allowed to satisfy the demand for contact thermometers in the country.

However, soon a problem appeared with the absence of a voltmeter device “SHCH31”, previously produced by Krasnodar plant for spare parts and accessories, as the plant had gone bankrupt. Besides, the voltmeter “V7-54”, previously manufactured by a Belorussian plant was no longer available. Faced with these challenges, we had to design the “V2-99” millivoltmeter, which later was awarded the “Gold Medal” at the “Metrology 2005” exhibition.

In those years, we also started to design thermostatic coolers. First, we designed “KR 40” (for temperature range -40...+40°C), then “KR 80” (-80+40°C), “KR 100” (ranges from -190 to -60°C). When we were designing these calibrating devices, we also had to design a number of temperature controllers, and portable temperature meters.

This whole set of measurement and controlling equipment allowed us to create a unified standard complex of MI. At the same time, as a part of the programme for import-replacement, we have been developing and producing new working measuring instruments, designed to replace products by firms like Fluke, Rosemount, and others. In 2015 we completed the R&D works on furnaces for fixed reference points for copper and zink, as well as containers which allow to use the Soviet and Russia-manufactured ampoules of these reference points, as well as those manufactured by foreign firms like Fluke.

All works have been performed in the highly competitive environment with both foreign and Russian suppliers as rivals.

In 1999, consumers proposed to design Russian pyrometers that would substitute those produced by an American firm Raitech. Currently we produce 8 types of working pyrometers using optic fibers which helps to improve the quality and validity of the devices. Of particular interest are such pyrometers as PD6 and PD7 with a remote optical head allowing to control welding temperature.

Also there was a demand to design a calibration device. We started to produce

blackbody radiator 50/100/110 based on our fast-response tube furnaces with thermostatic controller (MTP-2M). We have produced blackbody radiator 70/90/2500.

Mr. Alexander Vladimirovich Kostanovskiy, D.Sc. in engineering, and member of Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Science gave great support.

Currently, we produce standard pyrometers PD-9-02 with temperature range 400-1500°C and pyrometer PD-4-06 with temperature range 900-2500. In cooperation with Federal State Unitary Enterprise All-Russian Research Metrology Institute named after D.I. Mendeleev we designed an elongated blackbody frequency-to-current converter for verification of the thermal cameras.

Thus, activities of our enterprise and of VNIIM have ensured for our country a leading position in the field of measurement instruments, on a par with the USA and Germany, all without financial support from the government.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ И ВОЗМОЖНОСТЯХ КОМПЛЕКСНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Маринко С.В.

ЗАО «ИТ«Тест-Прибор»

marinko66@mail.ru

На основе анализа измерительных задач, решаемых с применением средств измерений температуры, установлены различия в целях использования измерительной информации. Различные цели различают качество измерительной информации и требуют научно-обоснованных различных подходов к способам ее получения.

Необходимое качество измерений может быть достигнуто в управляемых измерительных системах. В основе технологии управления термометрическими системами рассмотрена возможность применения комплексных измерений температуры. «Комплексность» измерений интенсивной величины связана с рассмотрением свойств одного объекта, характеризующих равновесное и переходное состояние. В равновесном состоянии значения интенсивной величины, характеризующие различные части одного объекта, равны. В переходном состоянии эти значения изменяются. Возникает неравномерность распределения величины. По этой неравномерности можно судить о характере процесса и о влиянии на него параметров исходного или конечного равновесного (стационарного) состояния.

Главная особенность комплексных измерений температуры, по сравнению с другими видами измерений, заключается в объединении измерений температуры и ее разности. С одной стороны такое объединение объективно – разность определяется через абсолютные значения. Но именно это простое выражение вместе с краевыми условиями для состояния равновесия, при котором разность температуры становится равной нулю, является основой для нахождения более сложных и более значимых для системы управления зависимостей температуры и ее разности. Измерения экстенсивных величин такой возможности лишены.

В общем случае комплексные измерения температуры являются основой для оптимизации объема измерений. И связана такая возможность в первую очередь с обеспечивающими термометрическими системами. На объекте, находящемся в эксплуатации, конструктивно определено где требуется измерить абсолютные значения температуры, а где характеристики распределения температуры. Но, при проверке средств измерений, при аттестации средств термических испытаний, а также при решении других задач метрологического и других видов обеспечения методы измерений должны адаптироваться к изменяющимся требованиям к объекту и

возможностям измерительных систем. Это позволяет в минимальной степени «отвлекать» объект от выполнения основных функций, а также максимально использовать ресурсы термометрических систем.

Являются ли комплексные измерения температуры совместными измерениями? Нет. При совместных измерениях измеряется несколько не одноименных величин. При комплексных измерениях температуры – одна.

Являются ли комплексные измерения температуры совокупными измерениями? Нет. При совокупных измерениях всегда измеряется аддитивная экстенсивная величина. При комплексных измерениях температуры – не аддитивная интенсивная.

Таким образом, комплексные измерения температуры, также как и совместные и совокупные измерения, используют зависимость между значениями измеряемых величин, которая объективно существует в неявном виде. Но при этом комплексные измерения температуры не являются ни прямыми, ни косвенными, ни совместными, ни совокупными измерениями.

ABOUT FEATURES AND OPPORTUNITIES OF COMPLEX MEASUREMENTS OF TEMPERATURE

Marinko S. V.

CJSC «IT«Test-Pribor»

marinko66@mail.ru

On the basis of the analysis of the measuring tasks, solved with use of measuring instruments of temperature, distinctions for the use of measurement data have been established. Various purposes require different quality of the data and demand an evidence-based variety of approaches to receiving it.

A required quality of measurements can be obtained in the controlled measuring systems. At the heart of technology for controlled of thermometric systems the possibility of application of complex measurements of temperature is considered. "Complexity" of measurements of an intensive quantity is connected with consideration of two properties of one object characterizing the equilibrium and a transition state. At the equilibrium, values of an intensive quantity are equal for various parts of the same object. In transition state these values change. Unevenness in distribution of the value occurs. By this unevenness it is possible to make a judgement on the nature of process and on it being influenced by parameters of an initial or final equilibrium (stationary) state.

The main feature of complex measurements of temperature, in comparison with other types of measurements, consists in association of measurements of temperature and its difference. On the one hand such association is objective: a difference is defined by absolute values. But this simple expression together with regional conditions for equilibrium state at which the difference of temperature equals zero is a basis for finding more complicated dependencies and more significant for the control system. Measurements of extensive quantities are deprived such opportunity.

Generally, complex temperature measurements are a basis for optimization of the volume of measurements. Such opportunity is first of all due to the providing thermometric systems. On the object which is in operation it is constructively predefined where it is required to measure absolute values of temperature and where distribution of temperature is to be measured. But, when checking measuring instruments, in case of certification of means of thermal tests, and also in case of other tasks of metrological and other types of support, the methods of measurements shall adapt to the changing requirements imposed on the object and abilities of the measuring systems. It allows for minimum interference in the object's service,

and also for a maximum possible use of resources of thermometric systems.

Are complex temperature measurements joint measurements? No. In case of joint measurements several different quantities are measured. In case of complex temperature measurements – only one.

Are complex temperature measurements cumulative measurements? No. In case of cumulative measurements additive extensive value is always measured. In case of complex temperature measurements – the unadditive intensive one.

Thus, complex temperature measurements, as well as joint and cumulative measurements, use a dependence between values of the measured values which objectively implicitly exists. But at the same time complex temperature measurements are neither direct, nor indirect, nor joint, nor cumulative measurements.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕРВИЧНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЯРКОСТИ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Визулайнен Е.В, Сильд Ю.А, Иванова М.А.

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

mnsvniim@mail.ru

Решение многих фундаментальных научных и прикладных задач в таких приоритетных областях, как обеспечение обороноспособности страны, противодействие террористическим угрозам и охрана окружающей среды, осуществляется с помощью радиометров и радиометрических систем, тепловых излучателей, приемников излучения и других средств измерения энергетической яркости [1].

В последние годы расширился диапазон измерений указанных средств, появились новые измерительные приборы и системы, требующие метрологического обеспечения, во главе которого находится Государственный первичный эталон единицы энергетической яркости инфракрасного излучения ГЭТ 48-2001.

Разработка ГЭТ 48-2001 проведена в 1974 году, в 2001 году он был переутвержден, а в 2015 году начато его совершенствование. Принцип действия эталона состоит в воспроизведении постоянных уровней энергетической яркости излучателями, выполненными в виде моделей АЧТ на основе фазового перехода чистых веществ – реперных точек МТШ-90: воды, галлия, индия, олова, цинка, алюминия и меди. Излучатели позволяют воспроизводить значения энергетической яркости от 100 до $61 \cdot 10^3$ Вт/ср·м².

При выполнении мероприятий по совершенствованию эталона были сформированы основные задачи:

- воспроизведение значения энергетической яркости $54,36$ Вт/(ср·м²);
- увеличение точности воспроизведения единицы

Для решения первой задачи был создан излучатель на основе тройной точки ртути, центральным звеном, которого является специально разработанное термостатирующее устройство, включающее в себя пассивный термостат и криостат.

Проведенные исследования этого излучателя показали, что он полностью удовлетворяет всем предъявляемым к нему требованиям.

Для решения второй задачи проведены работы по совершенствованию ампул реперных точек излучателей на основе затвердевания чистых металлов, разработаны новые блоки управления электронагревательных печей и термостатов эталона, а также выполнена модернизация радиометров-компараторов в части приемного тракта.

Совершенствование эталона позволит расширить диапазон и повысить точность воспроизведения, хранения и передачи единицы энергетической яркости, обеспечит возможность поверки и калибровки современных высокоточных средств измерений, создаст основу для повышения точности всего парка средств измерений энергетической яркости.

Литература

1. Dolgikh, A. I. Pokhodun, O. V. Rybolovleva, V. V. Smirnova, State Primary Standard of the Unit of Infrared Radiance, Measurement Techniques, October 2001, Volume 44, Issue 10, pp 965-971.

IMPROVEMENT OF THE STATE PRIMARY STANDARDS OF UNIT OF TOTAL RADIANCE

Vizulaynen E.V, Sild Yu.A, Ivanova M.A.

D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM), Saint-Petersburg, Russian Federation
mnsvniim@mail.ru

The solution of many fundamental scientific and applied problems in such priority areas as ensuring the country's defense capability, countering terrorist threats and protecting the environment is carried out with radiometers and radiometric systems, heat radiators, detectors of total radiance and other measuring instruments of total radiance [1].

In recent years, the range of measurements of these devices has expanded, new measuring instruments and systems have appeared that require metrological support, which is headed by the State primary standard of total radiance.

The primary standard was developed in 1974, in 2001 it was re-approved, and in 2015 works on its improvement were started. The principle of the primary standard is based on the reproduction of fixed levels of total radiance by blackbody source models, based on the phase transitions of pure substances - ITS-90 fixed points: the triple point of water, melting point of gallium, solidification points of zinc, tin, aluminum and copper. The blackbody allows to reproduce values of total radiance from 100 to $61 \cdot 10^3 \text{ W/sr}\cdot\text{m}^2$.

Main tasks were formed during the implementation of measures to improve the standard:

- reproduction of the total radiance value of $54.36 \text{ W/sr}\cdot\text{m}^2$;
- increase in accuracy.

To solve the first problem, a new design of the blackbody based on the mercury triple point was developed. A principal part of this design is a dedicated thermostatic device, which includes a passive thermostat and a cryostat.

The developed blackbody sources based on the mercury triple point has been attested to meet all the applicable requirements.

To solve the second issue, work was done to improve the black bodies fixed point ampoules based on the pure metals solidification points, the new control units for electric heating furnaces and standard thermostats were developed, and a receiving tract of radiometric comparators was upgraded.

Improvements in the primary standard will allow to expand the range and increase the accuracy of reproduction, storage and dissemination of the of the total radiance unit, will ensure the possibility of verification and calibration of modern high-precision measuring instruments, and will create the basis for the increase in accuracy of the whole fleet of the total radiance measuring instruments.

References

1. Dolgikh, A. I. Pokhodun, O. V. Rybolovleva, V. V. Smirnova, State Primary Standard of the Unit of Infrared Radiance, Measurement Techniques, October 2001, Volume 44, Issue 10, pp 965-971.

СЕКЦИЯ «ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ»

SECTIONAL MEETING «GEOMETRICAL AND MECHANICAL MEASUREMENTS»

ВОЗМОЖНОСТИ ВНИИМ В ОБЛАСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Захаренко Ю.Г., Кононова Н.А., Фомкина З.В., Чекирда К.В.

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

z.v.fomkina@vniim.ru

В настоящее время в мире наблюдается постоянный рост требований к повышению точности линейных и угловых измерений. Средства измерений длины и плоского угла являются одними из самых востребованных и применяются для решения множества научных задач, а также используются в ряде важнейших отраслей национальной промышленности – аэрокосмической, энергетической, оборонной, микроэлектронной, автомобильной и в машиностроении. Для метрологического сопровождения данных средств измерений необходима метрологическая база, отвечающая современным требованиям.

В отделе геометрических измерений ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» созданы Государственный первичный эталон единицы длины – метра ГЭТ 2-2010 (далее ГЭТ 2-2010), состоящий из комплекса установок, обеспечивающих воспроизведение, передачу и хранение единицы длины в диапазоне от 10^{-9} до 30 м, и Государственный эталон единицы плоского угла ГЭТ 22-2014 (далее ГЭТ 22-2014).

Неисключенная систематическая погрешность воспроизведения единицы длины стабилизированным He-Ne/I₂ лазером из состава ГЭТ 2-2010 составляет $2,2 \cdot 10^{-12}$. Среднее квадратическое отклонение (далее СКО) передачи единицы длины лазерным интерференционным компаратором и гетеродинным интерферометром в субмикронном и нанодиапазоне ($1 \cdot 10^{-9}$ - $1 \cdot 10^{-4}$) м – 0,1 нм. СКО передачи единицы длины концевым и штриховым мерам длины с помощью компаратора универсального интерференционного метрового ($1 \cdot 10^{-6}$ – 1) м – 0,03 мкм. СКО передачи единицы длины с помощью компаратора лазерного интерференционного тридцатиметрового (1 – 30) м – 5 мкм.

Неисключенная систематическая погрешность воспроизведения единицы плоского угла статической частью ГЭТ 22-2014 составляет 0,0006". СКО воспроизведения единицы плоского угла (при n=10) – 0,005". СКО передачи единицы плоского угла (при n=10) – 0,01-0,03". СКО передачи единицы плоского угла с помощью стола измерительного поворотного (при n=10) – 0,1". СКО передачи единицы плоского угла с помощью комплекса углоизмерительного (при n=10) – 0,2".

Литература

1. Александров В.С., Захаренко Ю.Г., Кононова Н.А., Лейбенгардт Г.И., Федорин В.Л., Чекирда К.В. Государственный первичный эталон единицы длины – метра ГЭТ 2-2010. Измерительная техника, 2012, № 6, с. 3-7.
2. Чекирда К.В., Космина М.А., Лейбенгардт Г.И., Лукин А.Я., Шур В.Л. Совершенствование Государственного первичного эталона плоского угла. – Сб. тез. докл. 5-й Всеросс. Научно-техн. Конф. «Измерения и испытания в судостроении и смежных отраслях» СУДОМЕТРИКА-2014, Спб, 2014, с. 157-159.

D.I. MENDELEYEV INSTITUTE FOR METROLOGY CAPABILITIES IN THE FIELD OF GEOMETRIC MEASUREMENTS

Zakharenko Yu.G., Kononova N.A., Fomkina Z.V., Chekirda K.V.

D.I. Mendeleev Institute for Metrology

z.v.fomkina@vniim.ru

Currently, the world is seeing a constant growth in requirements on accuracy of linear and angular measurements.

The level of precision of linear and angular measurements is increasing globally due to the development of new measuring equipment. Linear and angular measuring equipment is most demanded in different industries such as air and space industry, energy generating, microelectronics and car manufacturing, engineering, and others. So it is very important to have an updated metrological base meeting the modern requirements.

Two State Primary Standards have been developed in the department of geometrical measurements at D.I. Mendeleev Institute for Metrology: the State Primary Standard of the Unit of Length – GET 2-2010, for realization, disseminating and storage of the unit of length in the range from $1 \cdot 10^{-9}$ to 30 meters, and the State Primary Standard of the Unit of Plane Angle GET 22-2014.

Residual bias of length's realization by stabilized He-Ne laser from GET 2-2010 is $2,2 \cdot 10^{-12}$. Uncertainty of length's realization by the stabilized He-Ne laser, GET 2-2010, (in case of 100 independent measurements) is $5,6 \cdot 10^{-12}$. Standard deviation of length's dissemination by the laser interferometer and heterodyne interferometer in the range from $1 \cdot 10^{-9}$ to $1 \cdot 10^{-4}$ m is 0,1 nm. Standard deviation of length's dissemination to gauge blocks and scales by Linear Laser Interferometer in the range from $1 \cdot 10^{-6}$ to 1 m is 0,03 μ m. Standard deviation of length's dissemination by the 30 meter linear laser interferometer is 5 μ m.

Residual bias of plane angle's realization is 0,0006". Uncertainty of plane angle's realization (in case of 10 independent measurements) is 0,005". Standard deviation of dissemination the plane angle standard (in case of 10 independent measurements) is 0,01-0,03". Standard deviation of plane angle's dissemination by the rotary table (in case of 10 independent measurements) is 0,1". Standard deviation of plane angle's dissemination by the angle measuring system (in case of 10 independent measurements) is 0,2".

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА 3D КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

В. Г. Лысенко, Д. А. Новиков, Е. А. Милованова, А. А. Лаврухин

ФГУП «ВНИИМС»

lysenko@vniims.ru

В настоящем докладе излагаются основные принципы обеспечения единства (ОЕ) 3D координатных измерений геометрических параметров (КИ ГП) поверхностей, учитывающие в комплексе все выявленные в результате научных исследований факторы, влияющие на точность и достоверность 3D координатных измерений. Рассматриваются основные отличия 3D координатных измерений геометрических параметров шероховатости, формы и расположения поверхностей от 1D линейно-угловых измерений.

Принципы КИ ГП обработанных поверхностей имеют ряд существенных отличий от традиционных линейных измерений длины и не могут быть однозначно описаны и реализованы методами традиционных одномерных измерений. Прямая передача единицы длины традиционными одномерными линейными методами и СИ

при измерении ГП поверхностей сложной формы невозможна без существенной потери точности. Поэтому целесообразно выделить пространственные измерения, осуществляемые координатными методами в самостоятельную область метрологии – координатную (3D) метрологию. Соответственно КИ ГП требуют принципиально нового системного подхода к ОЕ КИ ГП.

В координатных измерениях на универсальных КИМ, помимо калибровки шкал СИ (которая является необходимым и достаточным условием одномерных измерений длины) необходимо задать и поддерживать ортогональную декартову систему координат (СК), в которой проводятся измерения координат точек контролируемой поверхности.

На практике координатные измерения осуществляются в механической реализации СК, отягощенной геометрическими погрешностями ее изготовления и юстировки. Поэтому определение и компенсация погрешности измерений координат точек в любой области рабочего объема КИМ может осуществляться прямыми методами, путем измерения аттестованной физической реализации СК. Альтернативой является математическое моделирование погрешностей механической СК (например, 21 параметрическая модель СК КИМ) и создание средств калибровки, однозначно выявляющих эти погрешности с целью компенсации. [1]

Привязка КИМ, как СИ координат, к первичному эталону единицы длины может осуществляться с помощью лазерных интерференционных систем (ЛИС), передающих для КИМ единицу длины ее шкалам, а также измеряющих и компенсирующих остальные 18 геометрических погрешностей СК КИМ, или, с помощью набора других материальных мер, в совокупности заменяющих (ЛИС), как эталонное СИ. [1]

Привязка к эталону длины КИМ, как СИ конкретных ГП (например, отклонения от цилиндричности, конусности, сферичности, плоскостности, эвольвентности, круглости и т.д.) может осуществляться двумя способами – прямым компараторным методом с помощью эталонных мер цилиндричности, круглости, плоскостности и т.д., а также косвенным методом, путем аттестации программного обеспечения, осуществляющего расчет геометрических параметров по измеренным координатам контролируемой обработанной поверхности и определении (в процессе аттестации) погрешности косвенного измерения конкретных ГП поверхностей. [2]

КИ ГП отклонения формы (плоскостности, эвольвентности, круглости и т.д.) на специализированных КСИ (кругломерах, эвольвентомерах, плоскомерах и т.д.) имеют общие принципы, заключающиеся в задании и поддержании в процессе измерений физической координатной поверхности, представляющей номинальную форму и измерении отклонений формы – по нормали к ней. Поэтому привязка КСИ к исходному эталону формы требует воспроизведения и передачи единицы длины по нормали к координатной поверхности номинальной формы, что обеспечивается с помощью мер отклонений от плоскостности и других, воспроизведением координатной поверхности номинальной формы и ее поддержанием в процессе измерения.

Существенным отличием КИ ГП от традиционных ЛУИ является наличие программного обеспечения, реализующего косвенные 3D измерения ГП, как функционала от первичной измерительной информации о координатах исследуемой поверхности. Поэтому, существенным элементом ОЕ КИ является аттестация алгоритмов и программного обеспечения, реализующего КИ ГП. [3]

Поскольку при пространственных измерениях ГП обработанных поверхностей сложной формы прямая передача единицы длины от Государственного первичного эталона длины невозможна без существенной потери точности, то для ОЕ КИ ГП обработанных поверхностей создан комплекс Государственных специальных эталонов единицы длины, воспроизводящих ее в особых условиях при прецизионном измерении

геометрических параметров отклонения от круглости, плоскостности, сферичности, эвольвентности, и других, описываемых сложными аналитическими и алгоритмическими зависимостями. Созданный комплекс ГПСЭ шероховатости, формы и расположения поверхностей сложной формы прошёл международные ключевые сличения и включён в базу данных МБМВ измерительных и калибровочных возможностей РФ.

Представляется целесообразным единый системный подход к ОЕ в области координатных измерений в целом, основывающийся на общих принципах, изложенных выше.

Литература:

1. Стандарт ISO 10360-5 :2010 Geometrical Product Specifications (GPS) – Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) — Part 5: CMMs using multiple-stylus probing systems;
2. Статья «Государственный первичный специальный эталон единицы длины для параметров отклонений от плоскостности оптических поверхностей размером до 200 мм, В.Г. Лысенко, Н.А. Табачникова, Д.А. Новиков, Журнал законодательная и прикладная метрология, № 6, 2015 г.;
3. ГОСТ 8.883-2015 «Государственная система обеспечения единства измерений. Программное обеспечение средств измерений. Алгоритмы обработки, хранения, защиты и передачи измерительной информации. Методы испытаний».

TRACEABILITY OF THE 3D COORDINATE MEASUREMENTS OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE SHAPED SURFACES

V.G. Lysenko, D.A. Novikov, E.A. Milovanova, A.A. Lavrukhin

FSUE "VNIIMS"

lysenko@vniims.ru

This report outlines the basic principles for ensuring the uniformity (EU) of the 3D coordinate measurements of geometric parameters (CM GP) of surface areas, taking into account the complexity of all the factors identified as a result of scientific research that affect to the accuracy and reliability of 3D coordinate measurements. Main differences between 3D coordinate measurements of surface geometric parameters of roughness, shape and arrangement from 1D linear-angular measurements are considered.

The principles of CM of GP of treated surfaces have some significant differences from traditional linear measurements of length and can not be unambiguously described and implemented by methods of the conventional one-dimensional measurements. Direct dissemination of the length unit by the traditional one-dimensional linear methods and measuring equipment (ME) is not possible in the measurement of GP surfaces of complex shape without significant loss in accuracy. It is therefore advisable to separate spatial measurements, carried out by coordinate methods into an independent field of Metrology – dimensional (3D) Metrology. Accordingly, CM GP require a fundamentally new systematic approach to EU of CM of GP.

While taking the coordinate measurements by universal coordinate measuring machine (CMM), in addition to calibration of ME scales (which is a necessary and sufficient condition for one-dimensional length measurements) it is necessary to define and maintain the orthogonal Cartesian system of coordinates (SC), in which coordinates of points on the controlled surface are measured.

In practice, the coordinate measurements are carried out in the mechanical

implementation of SC, burdened by the geometric errors of manufacturing and alignment. Therefore, the determination and compensation of errors in measurement of coordinates of points in any region of the working volume of the CMM can be done by direct methods by measuring a certified physical implementation of SC. The alternative is mathematical modelling of mechanical errors in the SC (for example, a 21-parameter model of SC CMM) and creating calibration tools, to unambiguously identify these errors and compensate them. [1]

Traceability of CMM to the primary standard of the length unit can be ensured by a laser interference systems (LIS), which disseminates the length unit to the CMM scales, while measuring and compensating for the remaining 18 geometric errors of SC CMM, or with a set of other measures, replacing LIS as the reference ME. [1]

Traceability of CMM as ME of particular GP (for example, the deviation from the cylindricity, sphericity, flatness, evolventness, roundness, etc.) can be executed in two ways – by the direct comparator method with the help of standard measures of cylindricity, roundness, flatness, etc., and also by an indirect method, through the attestation software that calculates geometric parameters from the measured coordinates of the controlled finish surface and the definition (during certification) of the error of indirect measurement of particular GP of surfaces. [2]

CM GP deviation of form (flatness, evolventness, roundness, e.t.c.) on special CME – devices for measuring flatness, evolventness, roundness, e.t.c. has common principles, expressing themselves in setting and maintaining (during measurement) of a nominal coordinating surface and measuring the deviation of the actual surface from it - along the normal to the nominal surface. Therefore, the binding of CME to the original standard form requires the reproduction and dissemination of the length unit along the normal to the coordinate surface of nominal shape, which is provided by measures of deviations from flatness, and other types of deviations, reproducing the coordinate surface of the nominal shape and maintaining it during the measurement process.

Significant difference of CM GP from the traditional linear measurements is the availability of software that implements the indirect 3D measurement of GP, as the function of the primary measurement information about the coordinates of the investigated surface. Therefore, a significant component of EU CM is the certification of the algorithms and the software that implements CM GP. [3] Since direct dissemination of length units from the State primary standard is not possible without significant loss in accuracy, for EU of CM of GP of treated surfaces a complex of State special standards of unit of length have been created, reproducing it in the special conditions at precision measurement of geometric parameters of the deviations from circularity, flatness, sphericity, evolventness, and other described complex analytical and algorithmic dependencies. The created complex of state primary special standards of roughness, form and position of surfaces of complex shape took part in the international key comparisons and is included in the database of BIPM measurement and calibration capabilities of the Russian Federation.

A unified systematic approach to EU in the field of coordinate measurement based on the General principles outlined above seems appropriate.

Literature:

1. ISO 10360-5:2010 Geometrical Product Specifications (GPS) – Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) — Part 5: CMMs using multiple-stylus probing systems;
2. The article "the State primary special standard of unit of length for parameters of flatness of optical surfaces of size up to 200 mm, V. G. Lysenko, N.. Tabachnikov, D. A. Novikov, Journal of the legislative and applied Metrology, No. 6, 2015;
3. GOST 8.883-2015 "State system for ensuring the uniformity of measurements. The

software of measuring instruments. Algorithms, processing, storage, protection and signal transmission. Test methods".

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ВОПРОСЫ ИЗМЕРЕНИЙ В НАНОДИАПЗОНЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭТИХ РАБОТ В НАУКЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Дарзнек¹ С.А., Желкобаев¹ Ж. Е.

¹ АО «НИЦПВ», Москва

zhelkobaev@mail.ru

Работа посвящена измерению линейных смещений в нанодиапазоне, анализу особенностей такого рода работ, обеспечению единства измерений и стабильности измеряемой физической величины, достоверности результатов и их привязки к Госэталонам. Рассмотрены критерии, которым должны соответствовать методы и средства прецизионных измерений в нанодиапазоне, а также методы и средства съема и представления обработки получаемой информации. Сделан анализ основных источников погрешностей. Результаты этих исследований представлены в работе [1]. Рассмотрены особенности построения измерительных комплексов, а также вопросы калибровки фазовых измерений в оптике.

Рассмотрены вопросы прикладного характера: измерение реальных перемещений объектов в нанодиапазоне, их скорости и ускорения, а также вопросы внедрения разработанных методов в область практического применения.

Приведены результаты, полученные при решении экспериментальных и прикладных задач с использованием методов и средств численного гетеродинамирования.

Литература

1. Дарзнек С.А., Желкобаев Ж., Календин В.В., Новиков Ю.А. /Лазерный интерферометрический измеритель наноперемещений. Труды ИОФАН, 2006, т. 62, с. 14–35.

FUNDAMENTAL AND APPLIED PROBLEMS OF MEASUREMENTS IN NANOSCALE AND PRACTICAL USE OF THE RESULTS OF THESE WORKS IN SCIENCE AND INDUSTRY

Darzneк¹ S.A., Zhelkobaev¹ Zh.E.

¹ JSC "NICPV" Moscow, Russian Federation

zhelkobaev@mail.ru

The work is dedicated to measuring nanoscale linear displacements, analyzing the peculiarities of this kind of work, ensuring the unity of measurements and stability of the measured physical quantity, reliability of the results and their alignment with the State Standard. Criteria are considered that must be met by methods and means of precision nanoscale measurements, as well as by methods and means for data collection, processing and presenting the information obtained. Analysis of the main sources of errors is made. The results of these studies are presented in [1]. Special features of the construction of measuring systems, as well as the issues of calibration for phase measurements in optics are considered.

Issues of application of the methods are also considered: the measurement of real nanoscale displacement of objects, their speed and acceleration, as well as issues of practical implementation of the developed methods.

The results obtained while solving experimental and applied problems using methods and means of numerical heterodyning are presented.

References

1. Darzek S.A., Zhelkobaev Zh., Kalendin V.V., Novikov Yu.A. / Laser interferometric gauge of nanoscale displacement. Proceedings of the IOFAN, 2006, v. 62, p. 14-35.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СТЕНД ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Гордеев С.В., Христочёв А.Е., Клепиков В.В., Поляков М.А.
ОАО «СКБ ИС», г. Санкт-Петербург, <http://www.skbis.ru/>
gordeev@skbis.ru

Представлен стенд для контроля точностных характеристик преобразователей угловых перемещений, разработанный и изготовленный в ОАО «СКБ ИС» и применяемый для контроля серийной продукции и проведения исследований. Основой стенда является референтный преобразователь угла, выполненный на базе круговой дифракционной шкалы, позволяющей формировать синусоидальные измерительные сигналы с количеством периодов на обороте 324000.

Измерения выполняются методом сравнения контролируемого и референтного преобразователей в динамическом режиме, при вращении, в том числе со сменой направления вращения.

По результатам исследований, проведенных в ОАО «СКБ ИС», и калибровки референтного преобразователя на государственном первичном эталоне ГЭТ 94-2002 (ВНИИМ), стенд обеспечивает возможность проведения измерений с погрешностью 0,2" и менее.

Дан краткий обзор основных составляющих погрешности оптоэлектронных растровых преобразователей угла, в т.ч. погрешности измерительной шкалы, погрешности интерполяции, погрешности дискретности, гистерезиса и динамической задержки измерительных сигналов, а также погрешностей муфт ротора и муфт статора, и т.д. Описаны способы нормирования погрешности преобразователей, а также методы измерений составляющих погрешности и алгоритмы обработки результатов, реализованные в стенде.

Описан метод и его конструктивная реализация для обеспечения соосности контролируемого и референтного преобразователей с целью минимизации погрешности передачи угла с помощью соединительной муфты.

Обсуждены методы контроля погрешности внешней муфты ротора, встроенной и внешней муфты статора.

Представлены примеры результатов контроля инкрементных и абсолютных угловых преобразователей, преобразователей с внешней муфтой ротора, преобразователей со встроенной муфтой статора, преобразователей с внешней муфтой статора, преобразователей модульного типа.

CONTROL BENCH FOR ACCURACY CHARACTERISTICS OF ANGLE ENCODERS

Gordeev S.V., Khristachev A.E., Klepikov V.V., Polyakov M.A.
ОАО "SKBIS", Saint-Petersburg, <http://www.skbis.ru/>
gordeev@skbis.ru

A bench for accuracy control of angle encoders, designed and manufactured in "SKBIS", used to monitor serial production processes and for research, is presented. The bench is based on the reference angle encoder with a circular diffraction scale, generating sinusoidal measuring signals at the rate of 324000 periods per revolution.

Measurements are performed by comparison of the monitored and reference encoders in the dynamic mode, at rotation, including the change of the rotation direction.

According to the results of studies conducted in "SKBIS" and the calibration of the reference encoder against the state primary standard GET 94-2002 (VNIIM), the bench allows for measurements with the error of 0,2" or less.

A brief overview is presented of the major error components of the grating-based photoelectric angle encoders, including errors of measuring grating, interpolation error, error of quantization, hysteresis and the dynamic delay of the measuring signals, as well as errors of rotor and stator couplings, etc. Methods of rate setting of encoder error, as well as methods of measurement of the error components and algorithms of processing of the results implemented in the setup are described.

A method and its structural realization are described for the alignment of the controlled and reference encoders in order to minimize the error of the angle transfer via a designated coupling.

Test methods for errors of external rotor coupling, as well as internal and external stator couplings are discussed.

Examples results of the error check for incremental and absolute angle encoders, encoders with external rotor coupling, encoders with built-in stator coupling, encoders with external stator coupling and encoders of a modular type are presented.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СТЕНДОВ С ИНЕРЦИАЛЬНЫМИ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНОГО ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВЫХ СКОРОСТЕЙ

Д.М. Калихман, Е.А. Депутатова, В.В. Скоробогатов, С.Ф. Нахов
Филиал ФГУП «НПЦАП им. Н.А. Пилюгина – «ПО «Корпус»
410019, Россия, г. Саратов, ул. Осипова, д.1
e-mail: lidkalihman@yandex.ru тел.: +79172166135

Кривцов Е.П., Янковский А.А.
ФГУП «ВНИИМ им Д.И. Менделеева»
190005, г. Санкт-Петербург, Московский проезд д.19
e-mail: dep253@vniim.ru тел.: +79119378660

Ермаков Р.В.,
ОАО КБПА, 410005 Россия, г. Саратов, ул. Б. Садовая, д. 239
Львов А.А.

Рассмотрена проблема разработки построения схмотехнических решений прецизионных управляемых стендов для высокоточного измерения угловых скоростей, в которых в качестве чувствительных элементов используются инерциальные измерители различного типа (прецизионные датчики угловой скорости различного

класса и принципа действия, кварцевые акселерометры линейных ускорений), применение которых позволяет существенно улучшить точностные характеристики стендов.

Ключевые слова: цифровая система управления, инерциальные чувствительные элементы, прецизионные стенды, управляемые основания.

На ПО «Корпус», г. Саратов с начала 1990-х годов ведется разработка малогабаритных высокоточных управляемых оснований (стендов) с инерциальными чувствительными элементами для высокоточного задания угловых скоростей [2-8].

Новизна предлагаемого направления в разработке стендов состоит в новом подходе к решаемой проблеме как к проблеме создания автоматизированных высокоточных систем управления движением платформы (на которую устанавливается испытуемый прибор), при этом для создания такой системы используются накопленные в теории и практике гироскопического приборостроения технические решения.

Управляемые стенды построены по принципу одноосных гиросtabilизаторов, но отличаются тем, что в качестве чувствительного элемента используются приборы навигации – измерители угловых скоростей (поплавковые датчики угловых скоростей, волоконно-оптические гироскопы, лазерные гироскопы и другие типы гироскопических приборов) и измерители кажущегося ускорения (акселерометры). Акселерометры, измеряющие тангенциальное ускорение в точке их закрепления на платформе, используются для формирования информации по первой производной от измеряемой угловой скорости, вводимой в управляющее воздействие, что повышает стабильность задания угловой скорости. Акселерометры, измеряющие центростремительное ускорение в точке их крепления на платформе стенда, используются в качестве первичных измерителей системы управления двигателем в случае необходимости расширения диапазона задаваемых и измеряемых угловых скоростей до 10000 /с и более [2-8].

Проблема исключения влияния сил сухого трения шарикоподшипниковых подвесов осуществляется за счет применения современных малогабаритных аэростатических опор или механизмов отслеживания [1, 2].

Сам принцип построения стендов как прецизионных систем, управляемых по информации инерциальных чувствительных элементов, позволяют создать **новый класс малогабаритных, высокоточных, с приводом от маломощных двигателей стендов, ориентированных на испытания современных малогабаритных измерителей угловой скорости.** Применение в едином комплексе точных измерителей угловых скоростей, кажущихся ускорений и высокоточных угловых энкодеров, замкнутых в единую систему управления, позволяет формировать информацию по углу, угловой скорости и кажущемуся ускорению, т.е. использовать измеряемую величину (мгновенное значение абсолютной угловой скорости), её первую производную (кажущееся ускорение) и интегральное значение (приращение угла разворота) одновременно в качестве управляющих воздействий в системе управления приводным двигателем стендов. Высокоточные первичные измерители различной физической природы в совокупности с современной процессорной техникой, применяемой как в системе обратной связи, так и в системе обработки информации, позволяют получить совершенно новый качественный результат в повышении точностных характеристик прецизионных стендов.

Литература

1. Havlicsek H.S., Zana L. Improving real-time communication between host and motion system in a HWIL simulation // SPIE Defense and Security Symposium, Acutronic, USA, Pittsburgh, 2004.

2. Калихман Д.М. Прецизионные управляемые стенды для динамических испытаний гироскопических приборов / под ред. В.Г. Пешехонова. СПб.: Изд-во ЦНИИ «Электроприбор», 2008. 273 с.
3. Калихман Д.М., Депутатова Е.А., Никифоров В.М., Садомцев Ю.В. Прецизионные поворотные стенды нового поколения с инерциальными чувствительными элементами и цифровым управлением // Известия РАН. Теория и системы управления. № 2. 2014. С. 130-146.
4. Калихман Д.М., Садомцев Ю.В., Депутатова Е.А. и др. Цифровая стабилизация движений прецизионных управляемых оснований с инерциальными чувствительными элементами I. Применение поплавкового измерителя угловой скорости // Изв. РАН. ТиСУ. № 1. 2011. С. 120-132; II. Применение поплавкового измерителя угловой скорости и маятниковых акселерометров // Изв. РАН. ТиСУ. № 2. 2011. С. 131-146.
5. Калихман Д.М., Калихман Л.Я., Нахов С.Ф., Ермаков Р.В., Туркин В.А., Садомцев Ю.В., Львов А.А., Янковский А.А., Кривцов Е.П. Основы разработки комплексного цифрового управления прецизионными стендами с инерциальными чувствительными элементами по сигналам с измерителей угловой скорости, кажущегося ускорения и оптического датчика угла. //23 Санкт-Петербургская Международная конференция по интегрированным навигационным системам. – СПб.: Изд-во ЦНИИ «Электроприбор», 2016, с. 302-307.
6. Патент 2494345 РФ. Универсальный широкодиапазонный стенд для контроля измерителей угловой скорости / Д.М. Калихман и др. Опубл. 27.09.2013. Бюл. № 1.
7. Патент RU № 2403538, приоритет от 22.05. 2009 г. Универсальный стенд для контроля прецизионных гироскопических измерителей угловой скорости / Калихман Д.М., Калихман Л.Я., Садомцев Ю.В., Полушкин А.В., Ермаков Р.В., Депутатова Е.А., Нахов С.Ф., Молчанов А.В., Чиркин М.В., Измайлов Е.А. Зарегистрирован в Государственном реестре патентов Российской Федерации 10 ноября 2010 г. // Б.И. №31 2010.
8. Патент RU № 2378618, приоритет от 18.02.2008, Широкодиапазонный стенд для контроля измерителей угловой скорости / Калихман Д.М., Калихман Л.Я., Садомцев Ю.В., Полушкин А.В., Ермаков Р.В., Депутатова Е.А., Нахов С.Ф. Зарегистрирован в Государственном реестре патентов Российской Федерации 10 января 2010 г. // Б.И. №1 2010.

PRINCIPLES FOR DESIGNING TEST BENCHES WITH INERTIAL SENSORY ELEMENTS FOR HIGH-PRECISION ANGULAR RATE MEASUREMENT

D.M. Kalikhman, E.A. Deputatova, V.V. Skorobogatov, S.F. Nakhov

Branch of the Federal State Unitary Enterprise “Academician Pilyugin Scientific-production Center of Automatics and Instrument-making” – Production Association “Korpus”, Saratov, Russia, 410019, Osipova st., 1

e-mail: lidkalihman@yandex.ru phone: +79172166135

Krivtsov E.P., Yankovsky A.A.

Federal State Unitary Enterprise D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM) St. Petersburg, Russia, 190005, Moskovsky pr., 19

e-mail: dep253@vniim.ru phone: +79119378660

Ermakov R.V.,

JSC Industrial Automatics Design Bureau, Saratov, Russia, 410005, B. Sadovaya st., 239 Lvov A.A.

*Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia, 410054,
Politekhnicheskaya st., 77*

The problem of creation of design solutions for precision controlled test benches, which use inertial measuring devices of different types as sensory elements (precision angular rate meters of various classes and operation principles and linear quartz accelerometers), is studied. The application of said measuring devices allows for significant improvement of accuracy characteristics of benches.

Key words: digital control system, inertial sensory elements, precision test benches, controlled bases.

Small-size high-precision controlled bases (benches) with inertial sensory elements for high-accuracy angular rate assignment [2-8] have been continuously developed at Production Association “Korpus”, Saratov, Russia, since 1990.

The novelty of the proposed direction in the development of test benches consists in a new approach to the problem being solved as to the problem of creating automated high-precision systems of platform motion control (the platform on which the tested device is mounted), while incorporating technical solutions accumulated in the theory and practice of gyroscopic instrumentation.

The controlled test benches are built on the principle of uniaxial gyrostabilizers, but differ in that they use navigation devices as their sensitive elements - angular rate meters (float angle sensors, fiber optic gyroscopes, laser gyroscopes and other types of gyroscopic devices) and apparent acceleration meters (accelerometers). Accelerometers that measure tangential acceleration at the point of their mounting on the platform are used to generate information on the first derivative of the measured angular rate introduced into the control action, which increases the stability of angular rate assignment. Accelerometers that measure centripetal acceleration at the point of their mounting on the test bench platform are used as primary meters of the engine control system in cases when there is a need to extend the range of the assigned and measured angular rates up to the value of 10000 $\frac{1}{s}$ or more [2-8].

The problem of eliminating the effect of dry friction forces in ball bearing suspensions is solved through the implementation of modern small-sized aerostatic supports or tracking mechanisms [1, 2].

The very principle of designing test benches as precision systems controlled by the information from inertial sensory elements makes it possible to create a new class of small-sized, high-precision test benches, driven by low-power engines, and aimed at testing of modern small-sized angular rate meters. The use of precision angular rate and apparent acceleration meters and high-precision angle encoders incorporated in a single control system complex allow for generation of information on the angle, angular rate, and apparent acceleration, i.e. enable one to simultaneously use the measured value (the instantaneous value of the absolute angular rate), its first derivative (apparent acceleration), and the integral value (the turn angle increment) as control actions in the test bench engine control system. High-precision primary meters of various physical nature combined with modern processor technology, used both in feedback systems and in information processing systems, allow one to achieve a qualitatively new result in increasing the accuracy characteristics of precision test benches.

References

1. Havlicsek H.S., Zana L. Improving real-time communication between host and motion system in a HWIL simulation // SPIE Defense and Security Symposium, Acutronic, USA, Pittsburgh, 2004.
2. Kalikhman D.M. Pretsizionnye upravlyaemye stendy dlya dinamicheskikh

ispytaniy giroskopicheskikh priborov (Precision Test Benches for Gyro Dynamic Tests) / Ed. by V.G. Peshekhonov. St. Petersburg, CSRI “Elektropribor”, 2008. 273 p.

3. Kalikhman D.M., Deputatova E.A., Nikiforov V.M., Sadomtsev Yu.V. New Generation Precision Motion Simulators with Inertial Sensors and Digital Control // Journal of Computer and Systems Sciences International. V.53. № 2. 2014. pp. 275-290.

4. Kalikhman D.M., Sadomtsev Yu.V., Deputatova E.A. et al. Digital Stabilization of Motion of Precision Controlled Base Platforms with Inertial Sensitive Elements. I. Application of Float Angular Velocity Sensor // Journal of Computer and Systems Sciences International. V.50. № 1. 2011. pp. 117-129; II. Application of Float Angular Velocity Sensor and Pendulum Accelerometers // Journal of Computer and Systems Sciences International. V.50. № 2. 2011. pp. 309-324.

5. Kalikhman D.M., Kalikhman L.Ya., Nakhov S.F., Ermakov R.V., Turkin V.A., Sadomtsev Yu.V., Lvov A.A., Yankovsky A.A., Krivtsov E.P. Fundamentals of Developing Integrated Digital Control of Precision Stands with Inertial Sensors using Signals from an Angular Rate Sensor, Accelerometer, and an Optical Angle Sensor // 23rd St. Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems. – St. Petersburg, CSRI “Elektropribor”, 2016, pp. 302-307.

6. Patent RU № 2494345. Universal Wide-Range Test Bench for Angular Rate Meters / D.M. Kalikhman et al. Published 27.09.2013. Bulletin № 1.

7. Patent RU № 2403538, Universal Test Bench for Precision Gyroscopic Angular Rate Meters / Kalikhman D.M., Kalikhman L.Ya., Sadomtsev Yu.V., Polushkin A.V., Ermakov R.V., Deputatova E.A., Nakhov S.F., Molchanov A.V., Chirkin M.V., Izmailov E.A. Published 10.11.2010. Bulletin №31.

8. Patent RU № 2378618. Wide-Range Test Bench for Angular Rate Meters / Kalikhman D.M., Kalikhman L.Ya., Sadomtsev Yu.V., Polushkin A.V., Ermakov R.V., Deputatova E.A., Nakhov S.F. Published 10.01.2010. Bulletin №1.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ОТКЛОНЕНИЯ ОТ ПОСТОЯНСТВА ОСИ ВРАЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ ТОЧНЫЕ РОТАЦИОННЫЕ ДВИЖЕНИЯ

Радев Х.К.¹, Богев В.Й.¹, Василев В.А.¹, Благов И.Х.¹

¹ *Технически университет – София*

hradev@tu-sofia.bg

Постоянство оси вращения является основным требованием к объектам, осуществляющим точные ротационные движения (предметные столы кругломерных приборов, ротационные модули измерительных систем или станков и др.).

Отклонение от постоянства оси вращения оценивается через радиальное, аксиальное и угловое биения оси.

Биение оси в данной плоскости или направлении рассматривается как геометрическое место точек мгновенной оси вращения объекта и представляет собой, соответственно, сложную замкнутую кривую или совокупность точек, расположенных по линии измерения.

Количественно биение оси оценивается через размах отклонений относительно виртуальной базы или через мгновенные положения оси относительно виртуальной базовой оси.

Оценивание биения оси основывается на результатах измерения биения плоских или сферических поверхностей эталонных деталей (стеклянных интерференционных пластин или стеклянных полусфер), установленных определенным способом на

вращающиеся элементы соответствующих объектов [1, 2]. Последующая обработка этой первичной измерительной информации осуществляется по определенным алгоритмам, использующим Фурье-анализ для той или иной формы эталонной детали.

В случаях, когда значение отклонения формы поверхностей эталонных деталей соизмеримо со значением биения, особенно при измерениях в нанометровом диапазоне, используются реверсивные методы [2-5]. При реверсивных методах влияние отклонения формы эталонных деталей исключается применением т.н. инверсии входных величин (методом исключения погрешности по знаку).

В настоящем докладе рассматриваются четыре нереверсивных метода оценки биения оси вращения, нашедшие применение в метрологической практике. Оценивается радиальное, аксиальное и угловое биения оси вращения двух ротационных модулей, характеризующихся значительной разницей в точности вращения. Оценка осуществляется использованием каждого из четырех методов при одинаковых условиях измерения, что позволяет количественно сравнить метрологические и эксплуатационные возможности исследуемых методов.

Литература

1. ISO 230-7:2015 Test code for machine tools -- Part 7: Geometric accuracy of axes of rotation.
2. Salsbury, J. G., 2003, "Implementation of the Estler Face Motion Reversal Technique," *J. Soc. Precis. Eng.*, 27(2), p. 189–194.
3. Donaldson, R. R., 1972, "A Simple Method for Separating Spindle Error From Test Ball Roundness Error," *CIRP Ann.*, 21(1), p. 125–126.
4. Estler WT. Calibration and use of optical straightedges in the metrology of precision machines. *Optical Engineering* 1985;24(3):372-9.
5. Grejda, R. D., Marsh, E. R., and Vallance, R. R., 2005, "Techniques for Calibrating Spindle With Nanometer Error Motion," *ASPE Journal of Precision Engineering*, 29(1), p. 113–123.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE METHODS OF ESTIMATION OF THE CONSISTENCY OF THE AXIS OF ROTATION OF OBJECTS PERFORMING EXACT ROTATIONAL MOVEMENTS

Hristo K. Radev¹, Vassil J. Boge¹, Velizar A. Vassilev¹, Ivailo H. Blagov¹

¹ *Technical University of Sofia*

hradev@tu-sofia.bg

The constancy of the axis of rotation is the main requirement for objects that perform precise rotational movements (object tables of roundness measuring instruments, rotary modules of measuring systems or machine tools, etc.).

This inconsistency is estimated through the radial, axial and angular run-out of the axis.

The run-out of an axis in a given plane or direction is considered as the locus of the points of the instantaneous axis of rotation of the object and represents, respectively, a complex closed curve or a set of points located along the line of measurement.

Quantitatively, the run-out of the axis is estimated through the range of the deviations relative to the virtual datum or via the instantaneous positions of the axis relative to the virtual reference axis.

The estimation of the runout of an axis is based on the results of measuring the runout

of an optical flat or a spherical surfaces of reference parts (glass optical interference plates or glass hemispheres) installed in a certain way on the rotating elements of the corresponding objects [1, 2]. The subsequent processing of this primary measurement information is carried out according to certain algorithms, using Fourier analysis under one or the other form.

In cases where the value of the form deviation of the surfaces of the reference parts is commensurable with the run-out value, especially when measuring in the nanometric range, the reverse methods are used [2-5]. In reverse methods, the influence of the form deviation of the reference parts is excluded using the so-called “inversion of input quantities” (by eliminating the error in sign).

In this report, four non-reverse methods for estimating the run-out of the axis of rotation, which have found their place in metrological practice, are considered. The radial, axial and angular run-out of the rotational axis of two rotary modules are estimated, which modules have a significant difference in the accuracy of rotation. The evaluation is performed using each of the four methods under the same measurement conditions. This allows us to evaluate and compare the metrological and exploitation capabilities of the methods studied.

References:

1. ISO 230-7:2015 Test code for machine tools -- Part 7: Geometric accuracy of axes of rotation.
2. Salsbury, J. G., 2003, Implementation of the Estler Face Motion Reversal Technique, J. Soc. Precis. Eng., 27(2), p. 189–194.
3. Donaldson, R. R., 1972, A Simple Method for Separating Spindle Error From Test Ball Roundness Error, CIRP Ann., 21(1), p. 125–126.
4. Estler WT. Calibration and use of optical straightedges in the metrology of precision machines, Optical Engineering 1985;24(3):372-9.
5. Grejda, R. D., Marsh, E. R., and Vallance, R. R., 2005, Techniques for Calibrating Spindle With Nanometer Error Motion, ASPE Journal of Precision Engineering, 29(1), p. 113–123.

ДИНАМИЧЕСКАЯ ГОНИОМЕТРИЯ: УСПЕХИ И ПРОБЛЕМЫ

Иващенко Е.М.¹, Кривцов Е.П.², Павлов П.А.¹, Филатов Ю.В.¹

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

²ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

pavl-petr@yandex.ru

Зарождение динамической гониометрии связано с созданием кольцевого лазера. Первые образцы лазерного динамического гониометра появились в 70-х годах во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева. Дальнейшее развитие динамической гониометрии происходило в ЛЭТИ и ряде других организаций как в нашей стране, так и за рубежом. Востребованность динамических гониометров промышленностью обусловлена бурным развитием оптических цифровых преобразователей угла (ЦПУ), необходимостью определения их метрологических характеристик в широком диапазоне рабочих скоростей. Для этих целей был создан ряд гониометрических установок различной точности. Наибольшее распространение получили динамические гониометры использующие кольцевые лазеры в комплексе с высокоточными ЦПУ, установка такого типа входит в состав Государственного первичного эталона плоского угла.

Несмотря на неоспоримые достоинства динамических гониометров для контроля параметров цифровых преобразователей угла, существуют проблемы метрологического обеспечения таких гониометров. Передача единицы плоского угла от эталонных средств

гонометру традиционными методами не всегда удовлетворяют требованиям по достоверности, и как правило, связана с потерей точности. В докладе рассматриваются методы, позволяющие решить указанные проблемы и обеспечить повышение точности динамических гониометров.

DYNAMIC GONIOMETRY: ACHIEVEMENTS AND CHALLENGES

Ivaschenko E.M.¹, Krivtsov E.P.², Pavlov P.A.¹, Filatov Yu.V.¹

Saint Petersburg State Electrotechnical University

D.I. Mendeleev Institute for Metrology

pavl-petr@yandex.ru

The emergence of dynamic goniometry is associated with the creation of the ring laser. The first prototypes of the laser dynamic goniometer appeared in 70s at D. I. Mendeleev VNIIM. Further developments in dynamic goniometry took place in LETI and other organizations both in our country and abroad. The relevance of dynamic goniometers for industry is due to the rapid development of optical encoders (OE), the need to determine their metrological characteristics in a wide range of operating speeds. For these purposes, a number of goniometric systems of various accuracy have been produced. Ring laser dynamic goniometers comprising high-precision OE, are most widely used. The system of this type is included in the State primary standard of the plane angle.

Despite the undeniable merits of dynamic goniometers in monitoring the parameters of digital rotary optical encoders, there are problems of metrological provision for such goniometers. Traditional methods of disseminating a plane angle unit from the standard means to a goniometer does not always satisfy the reliability requirements and, as a rule, is associated with a loss in accuracy. The report considers methods that allow for solving these problems and ensuring an increase in the accuracy of dynamic goniometers.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СОВРЕМЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С МЕТРОЛОГИЧЕСКИ АТТЕСТОВАННЫМ ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ

Полушкин А.В.¹, Борчианов Д.Г.¹, Нахов С.Ф.¹, Янковский А.А.², Косьмина М.А.²

¹ *Филиал ФГУП «НПЦАП» - «ПО «Корпус»*

² *ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»*

avpolushkun@yandex.ru

Современные требования к измерительным системам заставляют разработчиков включать в их состав не только высокоточные преобразователи, но и процессорные модули, которые обеспечивают математическую обработку результатов измерений, цифровую фильтрацию и алгоритмическую компенсацию погрешностей, а также вывод результатов измерений в удобном для оператора виде (протоколов, таблиц, диаграмм, графиков и т.п.), а также передачу ее в ПЭВМ для архивации и хранения.

Порой в сложных лабораторных экспериментах приходится одновременно получать информацию с нескольких измерительных приборов (преобразователей, измерительных систем и т.п.), обрабатывать ее по алгоритмам, написанным для конкретной задачи перед началом испытаний, и за счет сопоставления результатов с нескольких источников исключать недостоверную информацию, либо оценивать погрешности менее точных приборов по эталонным рабочим образцам.

Обеспечение взаимодействия приборов при выполнении измерительной задачи

зачастую требует намного больше усилий и времени, чем проведение самых достоверных измерений каждым прибором по отдельности. Задача осложняется отсутствием унификации при разработке программного обеспечения (ПО) у различных производителей. Перед проведением эксперимента можно столкнуться с проблемой аппаратной и программной несовместимости измерительных приборов, входящих в систему.

В докладе рассмотрены аспекты совместного использования нескольких (2-х или более) высокоточных измерительных систем, для которых проведена метрологическая аттестация как измерительного тракта, так и программного обеспечения. Особенности объединения нескольких устройств в измерительный комплекс проиллюстрированы примерами использования прецизионного углоизмерительного поворотного стола СПЦ-383 собственной разработки (погрешность измерения угла $\pm 0,35''$, внесен в госреестр СИ под №56458-14) совместно с контрольно-испытательной аппаратурой (КИА) приборов, выпускаемых на предприятии.

В докладе показана возможность программной адаптации углозадающего цифрового поворотного стола СПЦ-383 под задачу пользователя (для использования в составе автоматизированных рабочих мест (АРМ) различных приборов) как на производственных участках ПО «Корпус», так и в других организациях. Для программной адаптации предложено использование файла сценариев (текстового файла последовательности выполняемых операций, написанного пользователем по шаблону, приведенному в руководстве по эксплуатации СПЦ-383), который позволяет быстро настроить работу поворотного стола под измерительную задачу. Кроме того, в сценарии может быть заложена возможность подключения дополнительных СИ, имеющих стандартный интерфейс обмена, за счет использования их динамических библиотек. В докладе рассмотрена структура программного обеспечения цифрового поворотного стола СПЦ-383, структура программного обеспечения дополнительных средств измерения и испытания, входящих в состав АРМ, выделены в структуре ПО неизменные (метрологически значимые части) и изменяемые части (дополнительное и пользовательское ПО). На примерах показано использование механизма сценариев, обеспечивающих взаимодействие различных измерительных систем с поворотным столом без затрагивания метрологически значимого ПО.

Кроме того, показана возможность протоколирования последовательности выполняемых действий в процессе измерений в log-файле и использование единой защищенной базы данных для хранения всех полученных результатов испытаний, как «сырых» данных, так и результатов обработки информации, а также опыт быстрого поиска информации и синхронизации больших объемов данных, полученных в процессе измерения.

SOME ASPECTS OF MODERN USE OF HIGH-PRECISION MEASURING SYSTEMS WITH METROLOGICALLY CERTIFIED SOFTWARE

Polushkin A.V.¹, Borchaninov D.G.¹, Nakhov S.F.¹, Yankovskiy A.A.², Kosmina M.A.²

¹ *Academician Pilyugin Center FSUE "PA "Korpus"*

² *D.I. Mendeleev Institute for Metrology*

avpolushkun@yandex.ru

Modern requirements to measuring systems make developers include both high-precision converters, and processor modules that provide computing of measurement results, digital filtering, and algorithmic compensation of errors, as well as output of measurement results in a form that is convenient for the operator (protocols, tables, diagrams, graphs, etc.),

and transfer of information to PC for archiving and storage.

Sometimes, for complex laboratory experiments it is necessary to simultaneously obtain information from several measuring instruments (converters, measuring systems, etc.), to process it in accordance with algorithms pre-written for a specific task, and while comparing the results from several sources, to exclude unreliable information, or to estimate errors of less accurate instruments basing on reference working samples.

Ensuring the interaction of devices when performing a measurement task often requires much more effort and time than conducting most reliable measurements by every device separately. The problem is further complicated by the lack of unification in the software development by various manufacturers. Before the experiments, one often faces the problem of hardware and software incompatibility of measuring instruments included in the system.

The paper considers the aspects of joint use of several (two or more) high-precision measuring systems, whose measuring paths and software packages have been metrologically certified. The issues of combining several devices into a single measuring complex are illustrated by examples of the precision angle-encoding rotary table SPC-383 of proprietary design (angle measurement error $\pm 0.35''$, state register of measurement devices No. 56458-14), combined with test and monitoring equipment (TME) of some devices produced by the enterprise.

The paper shows the possibility of adaptation of the SPC-383 angle-encoding digital rotary table to user needs (for use in automated workstations coupled with various devices) both at the sites of "Korpus" factory, and in other organizations. The use of a script file (a text file of a sequence of performed operations, written by the user in accordance with the template given by the SPC-383 user guide), which allows for quick reconfiguration of the table's operation for the measurement task at hand, is suggested as a means for software adaptation. Additionally, the scenario might include a possible connection of additional measurement instruments via a standard exchange interface with the help of their dynamic libraries.

The paper examines the structure of the digital rotary table SPC-383 software, the software structure of additional measurement instruments and test devices included in workstations. The paper distinguishes the set parts (metrologically significant) and the adjustable parts (additional and user software) in the software structure. The examples illustrate the use of the scenarios that ensure the interaction between various measuring systems with the rotary table without affecting the metrologically significant software.

In addition, the paper shows the possibility of keeping track of the actions taken during the measurements in a log file; the possibility of using a single secure database for storing all the obtained test results (both raw data, and the results of information processing). Also, experience is summarized of quick retrieval and synchronization of large volumes of data obtained during the measurement.

**НОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ НАЦИОНАЛЬНОГО ЭТАЛОНА
ПЛОСКОГО УГЛА**

Королев А.Н.¹, Лукин А.Я.²

¹ ООО «ИНЕРТЕХ»

² Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

al_korolev@mail.ru

Доклад посвящен применению новых концепций и технологий для создания

измерителей плоского угла с метрологическими характеристиками на уровне требований национального эталона. Новые технологии базируются на использовании цифровых телевизионных камер, выполняющих одновременно роль сенсора для получения изображения измерительной марки и роль отсчетного устройства для измерения координат изображения элементов марки. При этом повышение метрологических характеристик достигается, в первую очередь, использованием в алгоритмах обработки информационной избыточности изображения множества элементов марки. Классические измерители на основе радиальных шкал достигли технологического предела и дальнейшее повышение их точности ограничено реальными размерами таких шкал. Поэтому предложена новая концепция построения измерителей угла на основе 2D шкал, которая позволяет сформировать угловую шкалу на значительно меньшей площади. Так шкала диаметром 10 мм позволяет в новой технологии выполнять измерения угла в диапазоне $0 - 360^\circ$ с погрешностью $0.5''$. Кроме того, предложенная технология позволяет с высокой точностью измерять угол поворота дистанционно, в том числе в случаях, когда ось вращения не может находиться в поле зрения камеры. Информационная избыточность многоэлементной марки позволяет также выявить и скорректировать aberrации оптической системы.

В докладе приведены результаты модельных и экспериментальных исследований цифрового автоколлиматора и цифрового измерителя угла для поворотных платформ на основе измерения и анализа координат множества элементов марки.

Отдельно рассмотрена полностью цифровая технология измерения угла с использованием виртуальных носителей угловой шкалы – цифровых изображений и динамической электронной марки.

Многолетние исследования макетов и опытных образцов таких приборов, совершенствование программного обеспечения позволяют в настоящее время использовать для измерений массивы данных, описывающих координаты ста и более тысяч элементов марки.

Обсуждаются особенности построения и элементная база для создания цифрового автоколлиматора и цифрового измерителя угла с погрешностью измерения менее $0,01''$.

Литература

1. Королев А.Н., Гарцуев А.И. "Цифровой двухкоординатный автоколлиматор с разрешением 0.001 угловых секунды", Измерительная техника, 2004, №12, С. 29-32.
2. Королев А.Н., Гарцуев, Полищук Г.С, Трегуб В.П "Метрологические исследования и выбор формы оптической марки в цифровых измерительных системах", Оптический журнал, 2010, том 77, № 6, С. 25-27.
3. Королев А.Н., Лукин А.Я., Полищук Г.С. "Новая концепция измерения угла. Модельные и экспериментальные исследования", Оптический журнал, 2012, том 79, №6, С.52-58.
4. Королев А.Н., Лукин А.Я., Полищук Г.С. «Использование информационной избыточности в оптических цифровых измерительных системах с 2D-сенсором», Измерительная техника, 2017, №3 (в печати).

NEW MEASUREMENT TECHNOLOGIES FOR NATIONAL STANDARD OF PLANE ANGLE

Korolev A.N.¹, Lukin A.Ya.²

¹ *INERNECH.Ltd*

² Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University

al_korolev@mail.ru

The paper discusses the new technology for plane angle measurements with metrological characteristics consistent with the national standard. The proposed technology is based on the use of digital TV camera, which serves both as a sensor for obtaining the image of the floating mark and as a reading device for measuring the coordinates of mark elements. The improvement in metrological characteristics is achieved primarily by taking advantage of the information redundancy of mark elements image. Standard measuring devices based on radial scales have reached their technological limit and further improvements in their accuracy are limited by the dimensions of such scales. Therefore, the paper proposes a new approach to the development of angle measurement devices based on 2D scales that allows to form an angle scale on a much smaller area. In this approach, a 10 mm diameter scale allows to take angle measurements in the 0-360° range with the error of 0.5". Moreover, the suggested technology allows for remote high accuracy rotation angle measurements, including the cases when rotation axis is outside the camera field of vision. In addition, the information redundancy of multiple-element mark allows for detecting and correcting of the optical system aberrations.

The paper presents the results of the simulations and experimental studies of digital autocollimator and a digital angle measurement device for rotation platforms based on measuring and analysis of the coordinates of the multitude of the mark elements.

The paper also discusses a completely digital technology for angle measurement using virtual carriers of angle scales - digital images and dynamic electronic mark.

Multiple research prototypes of such devices and continuous software improvement have made it possible to use data arrays containing coordinates of more than hundreds of thousands of mark's elements.

The details of construction and the element base for the development of digital autocollimator and digital angle measurement device with measurement error of less than 0,01" are discussed.

References:

1. Korolev A.N., Gartsuev A.I. Digital two-coordinates autocollimator with resolution 0.001", Measurement Techniques, 2004, №12, p. 29-32 (In Russian).
2. Korolev A.N., Gartsuev A.I., Polishchuk G.S., Tregub V.P. Metrological studies and the choice of the shape of an optical mark in digital measuring systems. Journal of Optical Technology. Vol. 77 Issue 6. pp.370-372 (2010)
3. Korolev, A N; Lukin, A Ya; Polishchuk, G S. New concept of angular measurement. Model and experimental studies Journal of Optical Technology, Vol. 79 Issue 6, pp.352-356 (2012)
4. Korolev, A N; Lukin, A Ya; Polishchuk, G S. Information redundancy in optical digital measurement systems with 2D sensor, Measurement Techniques, 2017, №3 (in print, In Russian).

МЕТРОЛОГИЯ СОВРЕМЕННЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ

Стучебников В.М.

ЗАО МИДАУС

mida@mv.ru

Современные датчики для измерения давления, одного из основных параметров систем контроля и автоматизации, быстро прогрессируют, расширяя область применения, повышая точность, надёжность. При этом, российским разработчикам и производителям датчиков приходится сталкиваться с ограничениями, накладываемыми устаревшими нормативными документами, в первую очередь с действующим ГОСТ 22520-85. Особенно требования ГОСТа противоречат характеристикам интегральных полупроводниковых датчиков, доля которых в общей массе приборов непрерывно растёт. Существующий ГОСТ не согласуется также с метрологическими характеристиками зарубежных датчиков, успешно продвигаемых на российском рынке и вносимых в Реестр средств измерений.

Совершенно не оправдано ограничение по виду выходного сигнала постоянного напряжения. Кроме того, что нулевой начальный сигнал создаёт трудности при его установке и идентификации отказа датчика, в настоящее время широко распространены выходные сигналы 0,4-2 В, 0,5-4,5 В и др. Соответственно неоправданно ограничены значения напряжения питания; в современных автономных измерительных системах величина питания составляет 3-5 В.

Представляется нецелесообразным сохранение параметра «основная погрешность», в который кроме собственных характеристик датчика входит погрешность установки начального и конечного значений выходного сигнала, которые, в конечном итоге, часто контролируются потребителем. Более точное представление о датчике даёт параметр «точность» (корень квадратный из суммы квадратов нелинейности, вариации и повторяемости), который повсеместно используется за рубежом. Кстати, максимальная величина вариации, равная основной погрешности, также для современных датчиков неоправданно завышена.

Совершенно неправильным является нормирование дополнительной температурной погрешности в процентах на 10°C – рудимент старых датчиков с высокой погрешностью и близкой к линейной температурной зависимостью. Большинство современных датчиков, особенно на основе полупроводников, имеет существенно нелинейную температурную зависимость выходного сигнала, так что более адекватной оценкой поведения датчика в области рабочих температур является зона температурной погрешности, за которую не выходит погрешность датчика при допустимом изменении температуры [1]. Кстати, давно пора разделять рабочую область температур для измеряемой среды и для окружающей среды (которой не обязательно является воздух; например, для погружных датчиков – это окружающая жидкость). Для современных высокоточных датчиков с, как правило, цифровой схемой коррекции температурной зависимости, нецелесообразно обязательно разделять основную погрешность (в нормальных условиях) и температурную погрешность, а следует допустить использование термина «суммарная погрешность», которую датчик не превышает во всём рабочем интервале температур.

Устаревшими являются значения давления, при которых датчики «должны быть прочными и герметичными», т.е. фактически давления разрушения (105-125% верхнего предела измерений). Уже сегодня большинство потребителей требуют сохранения метрологических характеристик после полутора-, а иногда двукратной перегрузки, а давление разрушения у большинства датчиков достигает 5-10-кратной величины верхнего предела измерений.

Таким образом, имеющиеся нормативные документы по датчикам давления нуждаются в серьёзном пересмотре.

Литература

1. Стучебников В.М. Датчики и системы управления, 2004, № 9, с.15-19.

METROLOGY OF CONTEMPORARY PRESSURE MEASURING INSTRUMENTS

Stuchebnikov V.M.

JSC MIDAUS

mida@mv.ru

Currently, fast developments in pressure measuring instruments (PMI) can be observed, their fields of application are expanding, accuracy and reliability are improving. At the same time, Russian research and product engineers meet certain difficulties because of restrictions of out-dated regulations, in the first place of standard GOST 22520-85. Particularly seriously, the requirements of GOST contradict characteristics of semiconductor PMIs, whose share of all PMIs is constantly increasing. This GOST also contradicts the metrological characteristics of foreign PMIs present on the Russian market and registered in the Registrar of measuring instruments.

The restriction of constant voltage output set by GOST is unjustified. The demand for zero value of initial output is difficult to set and hampers the identification of a PMI's failure; many latest PMIs feature the output of 0,4-2 V, 0,5-4,5 V, and similar. Correspondingly, the restriction of values for supply voltage is also unjustified: many contemporary autonomous measuring systems have supply voltage of 3-5 V.

It seems unreasonable to keep “the intrinsic error” as a metrological parameter, which includes, in addition to metrological characteristics of PMI, errors of setting of the initial and final output, which are usually controlled by customers. A more accurate characteristic of PMI is “accuracy” defined as a root square of the sum of squared nonlinearity, variation and repeatability, which is commonly used in devices produced in other countries but Russia. By the way, the maximum value of variation defined by GOST as equal to PMI's intrinsic error is also unreasonably high for contemporary devices.

A serious defect of GOST is rationing of additional temperature error in % to 10 °C, which is an outdated demand, typical of older PMIs with low accuracy and almost linear output temperature dependence. The bulk of contemporary PMIs especially those based on semiconductors have highly nonlinear output temperature dependence. Therefore, a more accurate characteristic of temperature-related characteristics of such PMIs would be the temperature error band: the PMI error stays within this band in all working temperature range [1]. Also, it is time such notions were separated as working temperature ranges for the measured medium and the environment, which is not necessarily air but could be fluid, as well, for immersion PMIs. For contemporary high-accuracy PMIs with predominantly digital correction of output temperature dependence, it is not necessary to divide the intrinsic error (defined in normal conditions) and temperature error: instead, the term “total accuracy” or “total error” should be used, which is not exceeded in the working temperature range.

The values of pressure at which the PMI “must be strong and hermetic”, which are effectively the burst pressure (105-125 % of the highest measure value) are outdated. Today, most consumers demand that metrological characteristics should remain the same after exposure to pressures exceeding the upper limit of the measurement range by the factor of 1,5 or 2, while burst pressure values of most PMIs are 5-10 times the upper range value.

Therefore, the present regulations for pressure measuring instruments need a thorough revision.

References

1. Stuchebnikov V.M. Sensors & Systems, 2004, № 9, p.15-19.

ВЫСОКОТОЧНАЯ ПРОФИЛОМЕТРИЯ С СУБНАНОМЕТРОВЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ НИЗКОКОГЕРЕНТНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Сысоев Е.В.¹, Выхристюк И.А.¹, Куликов Р.В.¹, Широков В.В.¹

¹ *Федеральное Государственное бюджетное учреждение науки Конструкторско-технологический институт научного приборостроения СО РАН, 630058, г. Новосибирск, ул. Русская, 41
evsml@mail.ru*

В работе представлены результаты исследования случайных и систематических погрешностей, влияющих на метрологию профилометрии поверхностей с использованием методов низкокогерентной интерферометрии.

Показано, что оптический канал интерферометра трансформирует исходный спектр источника света и приводит к возникновению систематической погрешности при проведении интерференционных измерений с использованием фазы рассеянного света. Предложен эффективный способ учета этой систематической погрешности.

Измеряемый нанорельеф поверхности в интерферометрах продольного сдвига рассчитывается по изменению разности оптических путей между сопряженными точками опорного и измерительного плеч интерферометра. Одним из источников случайной погрешности измерений в субнанометровом диапазоне является шероховатость опорного зеркала интерферометра. Для радикального снижения этой погрешности предложена новая конструкция интерферометра, в опорном плече которого установлена атомно-гладкая поверхность [1].

В работе приведены результаты измерений среднего значения межатомного расстояния в кристаллической решетке кристалла кремния. Измерения выполнены с использованием интерферометра продольного сдвига [2]. Погрешность измерений составила величину менее 0.01 Å. Экспериментально показано, что это расстояние составляет 3.140.01 Å.

Литература

1. Latyshev A.V. Precision measuring in nanoscale range // Proc. ISMTII-2009 (The 9th Intern. Symp. On Measurement Technology and Intelligent Instruments). St.-Peterburg, Russia, 29 June – 2 July, 2009. Russia: Publ. by D.S. Rozhdestvensky Optical Soc. – 2009. – Vol. 1. – P. 089-095.
2. Е.В. Сысоев, И.А. Выхристюк, Р.В. Куликов, А.К. Поташников, В.А. Разум, Л.М. Степнов. Интерференционный микроскоп-профилометр // Автометрия. – 2010. – №2. – Т. 46. – С. 119-128.

HIGH PRECISION PROFILOMETRY WITH SUBNANOMETER RESOLUTION BY METHODS OF WHITE LIGHT INTERFEROMETRY

Sysoev E.V.¹, Vykhristyuk I.A.¹, Kulikov R.V.¹, Shirokov V.V.¹

¹ *Technological Design Institute of Scientific Instrument Engineering, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 630058, Novosibirsk, 41, Russkaya str.*
evsml@mail.ru

The paper presents the results of an investigation of random and systematic errors affecting the metrology of surfaces profilometry by white light interferometry.

It is shown that the optical channel of the interferometer transforms the original spectrum of the light source, which leads to systematic error in the interference measurements by phase of scattered light. An effective way of correction for this systematic error is proposed.

The measured nanorelief of the surface in longitudinal shift interferometers is calculated from the difference in the optical paths between the conjugate points of reference and measuring arms of the interferometer. One of the sources of the random measurement error in the subnanometer range is the roughness of the interferometer's reference mirror surface. In order to radically reduce this error, a new interferometer design has been proposed, in which an atomically smooth surface [1] is installed in the reference arm.

The results of measurements of the average value of the interatomic distance in the lattice of silicon crystal are presented. The measurements were performed using a longitudinal shift interferometer [2]. The measurement error was less than 0.01Å. It was experimentally shown that the mentioned interatomic distance is 3.140.01Å.

References

1. Latyshev A.V. Precision measuring in nanoscale range // Proc. ISMTII-2009 (The 9th Intern. Symp. On Measurement Technology and Intelligent Instruments). St.-Peterburg, Russia, 29 June – 2 July, 2009. Russia: Publ. by D.S. Rozhdestvensky Optical Soc. – 2009. – Vol. 1. – P. 089-095.

2. E.V. Sysoev, I.A. Vykhristyuk, R.V. Kulikov, A.K. Potashnikov, V.A. Razum, L.M. Stepnov. Interference microscope-profilometer // Avtometriya. – 2010. – No 2. – Vol. 46. – P. 119-128.

ОПЫТ СОТРУДНИЧЕСТВА ООО «ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ» С ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА»

Глейзер В.И., Алексеев М.Д.
ООО «Геодезические приборы»
gvi@geopribori.ru

Приведены примеры сотрудничества ООО «Геодезические приборы» с ВНИИМ им. Д.И. Менделеева. Сотрудничество направлено на внедрение в геодезическую практику современных высокотехнологичных средств измерений.

В настоящее время измерения как процесс пронизывают практически все сферы жизни. Как известно, наука, которая занимается процессом измерений в широком смысле, называется метрологией. Термин «метрология» определяет науку весьма значимую для многих прикладных отраслей, в том числе и для геодезии, имеющей, как метрология, глубокие исторические корни. В истории развития отечественной метрологии решением государственной важности был Указ Николая I о создании первого метрологического учреждения России – Депо образцовых мер и весов (16 июня

1842г.) С тех пор прошло 175 лет, и сегодня первое метрологическое учреждение России представляет собой один из крупнейших центров научной и практической метрологии Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева (ВНИИМ).

С развитием техники и совершенствованием технологий непрерывно повышаются требования к качеству измерений, к их достоверности и надёжности. Возрастает роль метрологии и применительно к геодезии, в которой измерительный процесс является основой. В связи с этим отметим взаимосвязь Федерального закона № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» с Федеральным законом № 209-ФЗ «О геодезии и картографии», а затем с Федеральным законом № 431-ФЗ «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», который вступил в силу 1 января 2017г. и заменил предыдущий.

Стараясь совершенствовать и развивать свою деятельность в направлении метрологического обслуживания геодезических средств измерений (СИ) и опираясь при этом на современную нормативную базу, компания «Геодезические приборы» успешно сотрудничает с ВНИИМ им. Д.И. Менделеева. Начало сотрудничеству было положено в 2001 году, когда сотрудники института ВНИИМ решали задачу производства рулеток с лотом для контроля уровня нефтепродуктов в резервуарах, и речь шла о выборе и поставках полотна рулеток. Затем уровень решаемых задач стал сложнее. Так, на базе института им. Д.И. Менделеева сотрудниками научно-исследовательского отдела эталонов и научных исследований в области измерений линейных ускорений, гравиметрии и угла под руководством А.А. Янковского были успешно проведены испытания утверждения типа нового автоматизированного гироскопического прибора производства фирмы «SOKKIA» - гиростанции GYRO X. Этот прибор предназначен для производства специальных геодезических и маркшейдерских работ, и к настоящему времени внесён в Государственный реестр СИ и внедрён в практику ряда горнодобывающих и других предприятий РФ, а также в учебный процесс Санкт-Петербургского горного университета.

К современным технологиям, широко применяемым в геодезической практике, относится технология наземного лазерного сканирования. Эта технология является одной из самых оперативных по сбору геометрической информации об объектах изысканий. Она ещё более оперативна, когда размещена на движущемся транспорте, обеспечивая при этом точную позиционную съёмку и одновременное фотографирование объектов. Испытания утверждения типа такой системы - системы мобильного сканирования IP-S2 производства фирмы TOPCON, были проведены при участии специалистов научно-исследовательского отдела геометрических измерений ВНИИМ (руководитель Н. А. Кононова). В настоящее время система IP-S2 находится в эксплуатации в известной Санкт-Петербургской изыскательской компании «ТРЕСТ ГРИИ». Прогрессивные современные технологии продолжают развиваться, и уже следующее поколение системы мобильного сканирования IP-S3 внедряется в ряде дорожно-строительных предприятий.

Приведённые примеры лишь небольшая часть спектра работ, в которых сотрудничество ВНИИМ им. Д.И. Менделеева и ООО «Геодезические приборы» обеспечило успешное внедрение в современную геодезическую практику новых высокотехнологичных СИ. Наше сотрудничество продолжается, и следует надеяться, что результаты его, как и прежде, будут положительны.

**THE EXPERIENCE OF COOPERATION
BETWEEN LLC “SURVEYING INSTRUMENTS”
AND D.I. MENDELEYEV INSTITUTE FOR METROLOGY (VNIIM)**

V.I. Gleizer, M.D. Alekseev
LLC “Surveying Instruments”
gvi@geopribori.ru

The paper provides some examples of cooperation between LLC "Surveying instruments" and D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM). The cooperation is aimed at introducing modern high-tech geodetic measuring instruments into practical use.

Currently, measurements permeate practically every sphere of life. The science that deals with the measurement process in the wide sense is known as metrology. The term ‘metrology’ defines the science that is very important for many application areas, including geodesy, which, like metrology, is deeply rooted in history. For the development of Russian metrology, Nicholas I’s decree issued on 16 June 1842 was of utmost importance. It ordered to create the first metrological institution in Russia – the Depot of exemplary measures and weights. Since then, 175 years have passed. Today the first metrological institution of Russia is one of the largest centers for scientific and practical metrology - the All-Russian Institute for Metrology (VNIIM) named after D.I. Mendeleev.

Developing technologies lead to continuous increase in requirements to quality, accuracy and reliability of measurements. The role of metrology in geodesy, where the measurements are critical, also increases. In this regard, the connection should be noted between Federal Law No. 102-FZ “On ensuring the uniformity of measurements” with Federal Law No. 209-FZ “On Geodesy and Cartography”, and with Federal Law No. 431-FZ “On Geodesy, Cartography and Spatial Data and on Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation” which became effective as of 1 January 2017 and replaced the previous law.

Trying to improve and develop its activity in the field of metrological service of geodetic measuring instruments and basing on the present-day law, the company “Surveying Instruments” has been successfully cooperating with D.I. Mendeleev Institute for Metrology. The cooperation started in 2001, when the Institute staff was working on the production of measuring gauges for the control of oil product levels in tanks. The task was to select and supply gauge tapes. Later, the tasks became more complicated. Thus, on the premises of D.I. Mendeleev Institute, the employees of the scientific department of standards and scientific research in the field of linear acceleration, gravimetry and angle measurements headed by A.A. Yankovsky carried out the type-approval tests for the new automated gyroscopic device manufactured by SOKKIA – Gyro Station GYRO X. This device is designed for special geodetic and surveying works. By now, it has been included into the State Register of measuring instruments and is currently used by a number of mining and other enterprises in the RF. It has also become a part of the training process at St Petersburg Mining University.

The modern technologies widely used in geodetic practice include laser scanning. This technology is one of the most efficient in collecting geometric information about the objects surveyed. It is even more efficient when the device is placed on moving vehicles, ensuring accurate positioning survey while simultaneously photographing the objects. The type-approval tests for such a system – a mobile scanning system IP-S2 by TOPCON, were carried out together with the experts from the research department of geometrical measurements of D.I. Mendeleev Institute (headed by N.A. Kononova). Currently, the IP-S2 system is operated by the well-known St Petersburg surveying company “TREST GRII”. Advanced modern technologies keep being developed and the next generation of mobile scanning system

IP-S3 is being introduced in a number of road construction companies.

The given examples only represent a small part of cooperative projects between D.I. Mendeleev Institute and LLC “Surveying Instruments” that have ensured successful introduction of new high-tech measuring instruments into the present-day geodetic practice.

Our cooperation continues and, hopefully, for further positive results.

**ПРИМЕНЕНИЕ ШИРОКОДИАПАЗОННОГО КВАРЦЕВОГО
МАЯТНИКОВОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА С ЦИФРОВОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ
В КАЧЕСТВЕ ИНЕРЦИАЛЬНОГО ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА В
ВЫСОКОТОЧНЫХ УСТАНОВКАХ ДЛЯ ЗАДАНИЯ УГЛОВЫХ СКОРОСТЕЙ**

Калихман Д.М., Калихман Л.Я., Депутатова Е.А., Скоробогатов В.В.

Филиал ФГУП «НПЦАП им. Н.А. Пилюгина – «ПО «Корпус»

410019 Россия, г.Саратов ул. Осипова д.1

lidkalihman@yandex.ru, тел.: +79172166135

В докладе рассмотрены результаты экспериментальной отработки макетного образца кварцевого маятникового акселерометра с цифровой обратной связью, реализованной на отечественной электронной компонентной базе; в контроллере выполнена алгоритмическая компенсация температурных погрешностей акселерометра, применены схемотехнические решения, позволяющие за счет перепрограммирования контроллера обеспечивать без изменения конструктивных и схемотехнических решений изменение диапазона измерения от ± 10 g до ± 50 g. Акселерометр может быть применен в качестве инерциального чувствительного элемента в стендах для высокоточного задания угловых скоростей.

Ключевые слова: кварцевый маятниковый акселерометр, цифровая система управления, цифровой усилитель обратной связи, масштабный коэффициент, нулевой сигнал, стенд для задания угловых скоростей.

Кварцевые маятниковые акселерометры (КМА) с конца 1980-х годов применяются в ракетно-космической и авиационной технике, благодаря высоким точностным характеристикам в качестве измерителей линейных ускорений как автономно, так и в составе бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС). Как правило, диапазон измерения прецизионных КМА составляет ± 10 g. В последнее время остро встает задача расширения диапазона измерения ускорений с сохранением высокого уровня их точностных характеристик для применения приборов данного класса в высокоманевренных объектах.

Расширение диапазона измерения приводит к ряду трудностей. Так при увеличении диапазона измерения от 20 до 50 g у кварцевых маятниковых акселерометров начинает проявляться существенная нелинейность выходной характеристики за счет разбалансировки маятника, вследствие несовпадения точек приложения инерционной, электромагнитной и газодинамической сил, действующих на маятник в процессе работы в высоком диапазоне ускорений. Кроме того, увеличенный ток датчика момента чувствительного элемента приводит к его разогреву. Следствием указанных факторов является резкое увеличение погрешности масштабного коэффициента и систематической составляющей нулевого сигнала, что понижает класс прибора.

Кварцевый маятниковый акселерометр строится по компенсационному принципу, то есть в его составе есть усилитель обратной связи, который совместно с датчиком момента чувствительного элемента образует так называемую электрическую пружину. Одним из недостатков КМА является нелинейная зависимость масштабного

коэффициента и нулевого сигнала от температуры, обусловленные свойствами кварцевого стекла [1]. Данная проблема до сих пор решалась, как правило, двумя способами:

алгоритмической компенсацией или же подогревом блока акселерометров с выводом рабочей точки температурной характеристики на линейный участок [2].

Задачей исследования, рассматриваемой в настоящем докладе, является задача создания универсального термоинвариантного акселерометра с диапазоном измерения ± 50 g, рабочим диапазоном температур от -60 °C до $+80$ °C с погрешностью масштабного коэффициента не хуже 0,01 % и случайной составляющей смещения нуля – не более $5 \cdot 10^{-5}$ g.

Учитывая развитие современной процессорной техники и элементной базы, специалистами «ПО Корпус» было принято решение разработать кварцевый маятниковый акселерометр с цифровым усилителем обратной связи, применение которого совместно с чувствительным элементом акселерометра дает возможность вносить алгоритмические поправки масштабного коэффициента и систематической составляющей нулевого сигнала от температуры, а также, корректировать величину выходной информации в зависимости от измеряемого ускорения, повышая таким образом линейность выходной характеристики [3-5]. Акселерометр может быть использован в качестве инерциального чувствительного элемента в стендах для точного задания угловых скоростей как измеритель центроостремительного и тангенциального ускорений.

Литература

1. Мельников В.Е. Электро-механические преобразователи на базе кварцевого стекла. М.: Машиностроение, 1984. 159 с.
2. Калихман Д.М., Калихман Л.Я., Калдымов Н.А., Нахов С.Ф. Блок измерителей линейных ускорений с прецизионными кварцевыми акселерометрами в качестве чувствительных элементов. // 9 Санкт-Петербургская Международная конференция по интегрированным навигационным системам. СПб.: Изд-во ЦНИИ «Электроприбор», 2002. С. 216-220.
3. Калихман Д.М., Калихман Л.Я., Гебенников В.И., Скоробогатов В.В., Поздняков В.М., Нахов С.Ф., Межирицкий Е.Л., Сапожников А.И., Смирнов Е.С. Термоинвариантные измерители угловой скорости и кажущегося ускорения // 21 Санкт-Петербургская Международная конференция по интегрированным навигационным системам. СПб.: Изд-во ЦНИИ «Электроприбор», 2014, с. 203-219.
4. Калихман Д.М., Гебенников В.И., Калихман Л.Я., Скоробогатов В.В., Нахов С.Ф., Сапожников А.И., Смирнов Е.С. Виброустойчивый маятниковый акселерометр линейных ускорений с цифровой обратной связью // 22 Санкт-Петербургская Международная конференция по интегрированным навигационным системам. СПб.: Изд-во ЦНИИ «Электроприбор», 2015, С. 368-376.
5. Калихман Д.М., Гебенников В.И., Калихман Л.Я., Скоробогатов В.В., Нахов С.Ф., Ермаков Р.В. Результаты экспериментальной отработки термоинвариантного кварцевого маятникового акселерометра с цифровой обратной связью и перепрограммируемым диапазоном измерения // 23 Санкт-Петербургская Международная конференция по интегрированным навигационным системам. СПб.: Изд-во ЦНИИ «Электроприбор», 2016, С. 139-157.

**APPLICATION OF A WIDE-RANGE QUARTZ PENDULUM
ACCELEROMETER WITH DIGITAL FEEDBACK AS AN INERTIAL SENSORY
ELEMENT IN HIGH-PRECISION TEST BENCHES FOR ANGULAR RATE
ASSIGNMENT**

Kalikhman D.M., Kalikhman L.Ya., Deputatova E.A., Skorobogatov V.V.

*Branch of the Federal State Unitary Enterprise “Academician Pilyugin Scientific-
production Center of Automatics and Instrument-making” – Production Association
“Korpus”, Saratov, Russia, 410019, Osipova st., 1
e-mail: lidkalihman@yandex.ru, phone: +79172166135*

The paper considers the results of experimental development of a quartz pendulum accelerometer prototype with digital feedback performed on the basis of domestic electronic component base; the controller features algorithmic compensation of temperature errors of accelerometer, several design solutions are introduced that by means of controller reprogramming provide a stable measurement range of $\pm 10g$ to $\pm 50g$ without altering the construction of the device. The studied accelerometer can be applied as an inertial sensory element in test benches for highly accurate assignment of angular rates.

Key words: quartz pendulum accelerometer, digital control system, digital feedback amplifier, scale factor, zero signal, angular rate assigning test bench

Quartz pendulum accelerometers (CPA) have been used in rocket, space, and aircraft engineering since the late 1980s. Such longevity is due to high accuracy characteristics that are necessary in linear accelerations meters both autonomously and when incorporated in platformless inertial navigation systems (platformless INS). As a rule, the measurement range of precision CPAs is ± 10 g. Recently, an urgent need for the extension of the linear accelerations measurement range has appeared, while it is also necessary to maintain a high level of accuracy characteristics of devices in this class in highly maneuverable objects.

Extension of the measurement range leads to a number of difficulties. Thus, with an increase in the measurement range from 20 to 50 g, quartz pendulum accelerometers begin to demonstrate significant nonlinearity of the output characteristic due to the pendulum unbalancing, which is due to the mismatch of the points of application of inertial, electromagnetic and gas-dynamic forces, which influence the pendulum during operation in a high accelerations range. In addition, the increased electric current in the torque sensor of the sensory element leads to heating. All these influences lead to a sharp increase in the scale factor error and in the the zero signal systematic component error, thus lowering the device class.

A quartz pendulum accelerometer is built on the compensation principle, that is it incorporates a feedback amplifier, which, together with a sensory element torque sensor forms the so-called “electric spring”. One of the drawbacks of the CPA is the nonlinear dependency of the scale factor and the zero signal from temperature, such dependencies are due to the quartz glass inherent properties [1]. So far, this problem has been solved in two ways: by means of algorithmic compensation or by heating the accelerometer unit while leading the operating point of the temperature characteristic to the linear segment [2].

This report aims to solve the problem of creating a universal thermoinvariant accelerometer with the measurement range of ± 50 g, operating temperature range from -60 °C to $+80$ °C, with a scale factor error of not worse than 0,01 %, and the random component of zero bias of no more than $5 \cdot 10^{-5}$ g.

Given the development of modern processor technology and element base, specialists at the production association “Korpus” decided to develop a quartz pendulum accelerometer with a digital feedback amplifier, the application of which in conjunction with the accelerometer sensory element makes it possible to introduce algorithmic corrections to the

scale factor and the temperature zero signal systematic component, as well as to correct the value of the output information depending on the measured acceleration, thus improving the linearity of the output characteristic [3-5]. Such an accelerometer can be used as an inertial sensory element in test benches for precise assignment of angular rate as a centripetal and tangential accelerations meter.

References

1. Melnikov V.E. Elektro-mekhanicheskie preobrazovateli na baze kvartsevogo stekla (Electromechanical Converters Based on Quartz Glass). M.: Mashinostroenie, 1984. 159 p.
2. Kalikhman D.M., Kalikhman L.Ya., Kaldymov N.A., Nakhov S.F. The Linear Acceleration Meters Unit with Precision Quartz Accelerometers as Sensitive Devices // 9th St. Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems. St. Petersburg, CSRI "Elektropribor", 2002. pp. 216-220.
3. Kalikhman D.M., Kalikhman L.Ya., Grebennikov V.I., Skorobogatov V.V., Pozdnyakov V.M., Nakhov S.F., Mezhiritsky E.L., Sapozhnikov A.I., Smirnov E.S. Heatless Thermo-Invariant Angular Velocity and Linear Acceleration Sensors // 21st St. Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems. St. Petersburg, CSRI "Elektropribor", 2014, pp. 203-219.
4. Kalikhman D.M., Grebennikov V.I., Kalikhman L.Ya., Skorobogatov V.V., Nakhov S.F., Sapozhnikov A.I., Smirnov E.S. Vibrostability of the Quartz Pendulum Accelerometer with Digital Feedback // 22nd St. Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems. St. Petersburg, CSRI "Elektropribor", 2015, pp. 368-376.
5. Kalikhman D.M., Grebennikov V.I., Kalikhman L.Ya., Skorobogatov V.V., Nakhov S.F., Ermakov R.V. The Results of Experimental Testing of a Thermally Invariant Quartz Pendulum Accelerometer with Digital Feedback and Reprogrammable Measurement Range // 23rd St. Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems. St. Petersburg, CSRI "Elektropribor", 2016, pp. 139-157.

ГАРМОНИЗАЦИЯ РОССИЙСКИХ И ЕВРОПЕЙСКИХ СТАНДАРТОВ В ОБЛАСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Голубев С.С.¹, Сясько В.А.², Смирнова Н.И.³

¹ Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии РОССТАНДАРТ

² «КОНСТАНТА» ООО

³ ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

office@constanta.ru

Подробно рассмотрены основные общие и отличительные особенности систем метрологического обеспечения неразрушающего контроля в Российской Федерации и странах западноевропейского региона. Дан анализ проблем гармонизации стандартов ISO в России с учетом исторического опыта и сформулированы предложения по их решению для обеспечения единства измерений в области неразрушающего контроля с использованием оборудования российского и европейского производства как основы международного промышленного сотрудничества в рамках ВТО.

HARMONIZATION OF THE RUSSIAN AND EUROPEAN STANDARDS IN THE FIELD OF METROLOGICAL ASSURANCE OF NON-DESTRUCTIVE TESTING. STATUS AND PERSPECTIVES

Sergei S. Golubev¹, Vladimir A. Syasko², Nadezhda I. Smirnova³

¹ Federal Agency on Technical Regulating and Metrology, Moscow, Russia;

² Constanta ltd, St-Petersburg, Russia;

³ D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM), St-Petersburg, Russia

office@constanta.ru

The basic general and distinctive features of the system of metrological assurance of non-destructive testing means in the Russian Federation and the countries of the Western European region are given in the work. An analysis of the ISO standards harmonization problems with considering historical experience and also ways of their solutions to ensure measurements uniformity when using equipment of the Russian and European manufacture as bases for international industrial cooperation within the WTO is presented in the work.

**СЕКЦИЯ «ИЗМЕРЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ
ИЗЛУЧЕНИЙ»
SECTIONAL MEETING «IONIZING RADIATION MEASUREMENTS»**

**К СТОЛЕТИЮ ОТДЕЛА ИЗМЕРЕНИЙ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ
ВНИИМ ИМ. Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА**

Харитонов И.А.

ВНИИМ им. Д.И. Менделеева

khia@vniim.ru

Первые измерения свойств радиоактивного препарата радия были выполнены в Главной Палате Мер и Весов в 1903-1904 г.г. при жизни Д.И.Менделеева. В период 1906-1918 в институте проводились работы по исследованию урановых руд и изготовлению источников на основе радия. В связи с важностью задачи промышленного получения отечественного радия, Министерством народного просвещения в январе 1914 г. было проведено особое совещание, в решении которого была отмечена необходимость организации при Главной Палате Мер и Весов «специальной лаборатории для проверки качества радиевых препаратов и установления эталона для их оценки». Это решение предопределило развитие метрологических исследований в области ионизирующих излучений в Главной Палате Мер и Весов и привело к созданию во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева (Главной Палате Мер и Весов) сначала лаборатории, а впоследствии-отдела измерений ионизирующих излучений.

Руководителем радиологической лаборатории, созданной во ВНИИМ в 1918 г., был назначен Л.С.Коловрат-Червинский. Лаборатория, которой с 1921 по 1940 г руководил Л.Н. Богоявленский, разрабатывала инструментальные методы разведки урановых руд и способы изготовления, эталонирования и исследования источников излучения на основе радия и других естественных радионуклидов.

В 1925 году во ВНИИМ начались работы в области рентгенометрии, которые завершились в 1931 году созданием национального эталона единицы рентгена и организацией рентгенометрической лаборатории, руководителем которой был назначен И.В.Поройков

В 1947 г. был организован отдел измерений ионизирующих излучений в составе радиологической (радиометрической), рентгенометрической (дозиметрической), нейтронной и лаборатории ядерной спектроскопии (1956 г.). В отделе работали выдающиеся ученые: П.И.Лукирский, К.К.Аглинцев, А.С.Карамян, Б.С.Джелепов, А.А.Константинов, Ф.М.Караваев, М.Ф.Юдин и др.[1,2]. Основная задача, которая была поставлена перед отделом, заключалась в разработке и создании точных методов и средств измерений физических величин, которые используются в военной и атомной технике, ядерно-топливном цикле и радиационной защите.

В период 1964-1969 г. во ВНИИМ были разработаны методы измерений и созданы прецизионные средства измерений в области измерений ионизирующих излучений, которые в 1969 г. Госстандарт СССР утвердил в качестве государственных первичных эталонов СССР. В дальнейшем эталоны неоднократно модернизировались и совершенствовались с учетом новых требований со стороны системы метрологического обеспечения атомной науки и техники, ядерной энергетики, радиационных технологий, а также в связи с широким применением источников и ускорителей заряженных частиц в медицине для диагностики и лечения заболеваний[3].

Высокий уровень эталонов РФ в области ионизирующих излучений, поддерживаемых во ВНИИМ, подтвержден по результатам более чем 60 международных сличений национальных эталонов, в которых ВНИИМ участвует с 1961 г.

Система метрологического обеспечения средств измерений ионизирующих излучений, опирающаяся на эталоны, поддерживаемые в отделе измерений ионизирующих излучений во ВНИИМ, служит фундаментом для развития радиационных технологий, производства радионуклидной продукции, фармпрепаратов, при контроле радиационной безопасности, радиозокологическом мониторинге, в радиационной диагностике и лучевой терапии в медицине.

Литература

1. Аглинцев К.К. Дозиметрия ионизирующих излучений. — М., 1962.
2. Караваев Ф.М. Измерение активности нуклидов. — Л., 1972.
3. Харитонов И.А. Метрология и приборостроение в условиях рыночной интеграции, Атомная стратегия XXI, декабрь 2002, С. 16-17.

HUNDRED YEARS TO THE FOUNDATION OF THE IONIZING RADIATION DEPARTMENT OF THE D.I. MENDELEYEV INSTITUTE FOR METROLOGY

I.A. Kharitonov

(VNIIM)

khia@vniim.ru

The first measurements of radium were done in the Main Chamber of Weights and Measures in 1903 – 1904, in Mendeleev's lifetime. From 1906 to 1918 the Institute carried out a number of studies on uranium ores and produced radiation sources based on radium. To meet the challenge of obtaining Russian-produced radium, in January, 1914, the Ministry of Education convened a special meeting, which decided to set up a “special laboratory for testing the quality of radium preparations and establishing a measurement standard for their evaluation”. This decision gave rise to metrological research in the field of ionizing radiation at VNIIM (former Main Chamber of Weights and Measures), for which purpose a radiology laboratory was set up, which later was transformed into the Department of ionizing radiations measurements.

This laboratory, created in 1918, was headed by Dr. Leon Kolovrat-Chervinsky. From 1921 to 1949 its work was supervised by Prof. Leonid Bogoyavlensky, who developed instrumental methods for prospecting uranium ores and methods for manufacturing, calibration and studying radium based radiation sources and other natural radionuclides.

In 1925, VNIIM started work in the field of X-ray measurements, as a result of which the national measurement standard for the X-ray unit was created in 1931, and an X-ray measurement laboratory was set up. It was headed by Prof. Ivan Poroykov.

In 1947, the Department of ionizing radiations measurements was organized, which included laboratories for radiology (radiometrics), X-ray measurement (dosimetry), and neutron and nuclear spectroscopy - from 1956. Outstanding Russian scientists such as Piotr Lukirsky, Konstantin Aglintsev, Artashez Karamyan, Boris Dzhelepov, Aleksey Konstantinov, Teodor Karavaev, Mikhail Yudin, and others worked in the Department [1,2]. The main task of the Department was the development of methods and instruments for measuring physical quantities, used in military and nuclear industries, nuclear fuel cycle and in radiation protection.

From 1964 up to 1969, specialists of the Department developed measurement methods, created high precision measuring instruments which were approved by the GOSSTANDART of the USSR in 1969 as national measurement standards. Later on, they were upgraded and improved several times to meet new requirements established by the System of Metrological Assurance for Nuclear Science and Technology, Nuclear Energy and Radiation Technology, taking into account wide application of sources and accelerators of charged particles in medicine for diagnosis and treatment of diseases [3].

The high level of Russian measurement standards in the field of ionizing radiations, maintained at the VNIIM, was confirmed by the results of more than 60 international comparisons of national measurement standards, in which the VNIIM has been participating since 1961.

The system of metrological assurance of instruments for measuring ionizing radiations based on the measurement standards maintained at the Department of VNIIM, provide invaluable support to development of radiation technologies, fabrication of radionuclide products and pharmaceuticals, to radiation and radio-ecological monitoring, radiation diagnosing, and radiation therapy in medicine.

References

- 1 Anglinton K.K. Dosimetry of ionizing radiations, M., 1962.
- 2 Karavaev F.M. Measurement of nuclide activity. L., 1972.
- 3 Kharitonov I.A. Metrology and instrumentation under conditions of market integration. Atomic strategy XXI, December 2002, pp. 16-17.

КОМПЛЕКС ГОСУДАРСТВЕННЫХ ПЕРВИЧНЫХ ЭТАЛОНОВ ВНИИМ ИМ. Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА В ОБЛАСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Трофимчук С.Г., Оборин А.В., Моисеев Н.Н., Алексеев И.В.
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»
tsg@vniim.ru

В этом году отмечается 175 лет со дня основания Всероссийского научно-исследовательского института им. Д.И. Менделеева – преемника старейшего в мире и первого в России государственного метрологического учреждения – Депо образцовых мер и весов.

Сегодня ВНИИМ им. Д.И. Менделеева – один из крупнейших мировых центров научной и практической метрологии, – главный центр Государственных первичных эталонов Российской Федерации. Более 50 государственных первичных эталонов (ГЭТ) в области электрических, аналитических, теплофизических и других измерений хранятся в институте. В их число входит восемь ГЭТ в области измерений ионизирующего излучения, обеспечивающих воспроизведение и передачу:

- единиц активности радионуклидов, потока и плотности потока альфа-, бета-частиц и фотонов радионуклидных источников;
- единицы массы радия;
- единиц кермы в воздухе, мощности кермы в воздухе, экспозиционной дозы, мощности экспозиционной дозы и потока энергии рентгеновского и гамма-излучений;
- единиц поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы бета-излучения в тканеэквивалентном веществе;
- единиц потока и плотности потока нейтронов;
- единицы поглощенной дозы рентгеновского излучения с максимальной

энергией фотонов от 20 до 60 кэВ;

- единиц экспозиционной дозы, мощности экспозиционной дозы, потока и плотности потока энергии импульсного рентгеновского излучения;

- единиц потока электронов, плотности потока электронов и флюенса (переноса) электронов, потока энергии, плотности потока энергии и флюенса (переноса) энергии тормозного и электронного излучения.

Комплекс эталонов создан в целях обеспечения единства измерений величин, характеризующих источники и поля ионизирующего излучения, эффекты взаимодействия этого излучения с веществом.

Сегодня количество средств измерения ионизирующего излучения насчитывает десятки тысяч штук, которые находят применение в атомной отрасли, медицине, радиоэкологии, геологии, космических исследованиях и других областях. Передача единиц величин этим средствам измерений осуществляется согласно поверочным схемам, которые возглавляет соответствующий ГЭТ.

В соответствии с Соглашением СИРМ МРА ВНИИМ им. Д.И. Менделеева принимает участие в ключевых и дополнительных сличениях, проводимых консультативными комитетами ССRI, ВРМ и региональными метрологическими организациями, в области измерений ионизирующих излучений. За последние 10 лет эквивалентность ГЭТ была подтверждена в семи сличениях в области измерений активности радионуклидов, четырех сличениях в области дозиметрии рентгеновского, гамма-излучений и четырех сличениях в области нейтронных измерений.

ВНИИМ им. Д.И. Менделеева постоянно проводит работы по совершенствованию ГЭТ. Последние работы в этом ряду были связаны с совершенствованием ГЭТ единиц активности радионуклидов, потока альфа-бета-частиц и фотонов радионуклидных источников, которые завершились в 2016 г. В наших планах проведение новых исследований, направленных на совершенствование ГЭТ в области дозиметрических, радиометрических измерений и измерений активности радионуклидов. При этом основу критериев и подходов к совершенствованию ГЭТ будут составлять ориентиры, определяющие востребованность эталонов для решения задач практической метрологии.

PRIMARY STANDARDS OF UNITS OF IONIZING RADIATION IN D.I. MENDELEEV INSTITUTE FOR METROLOGY

Trofimchuk S.G., Oborin A.V., Moiseev N.N., Alekseev I.V.

D.I. Mendeleev Institute for Metrology

tsg@vniim.ru

This year is the 175th anniversary of the foundation of the All-Russian Scientific Research Center - D.I. Mendeleev Institute for Metrology - successor to the world's oldest and the first national metrological institution in Russia - the Main Chamber of Measures and Weights.

Today D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM) – is one of the world's largest centers for scientific and practical metrology, it is the main center for the State primary standards of the Russian Federation. More than 50 state primary standards in the field of electrical, analytical, thermophysical and other measurements are stored at the Institute. Eight of them are standards in the field of ionizing radiation measurements. They provide realization, reproduction and dissemination of:

- units of activity of radionuclides, flux of alpha, beta particles and photons of radionuclide sources;

- units of mass of radium;
- units of kerma in air, kerma rate in air, exposure dose, exposure dose rate and energy flux of X-ray and gamma radiation;
- units of absorbed dose and absorbed dose rate of beta radiation in tissue equivalent material;
- units of neutron source emission rate and neutron fluence rate;
- units of absorbed dose of X-rays with a maximum photon energy from 20 to 60 keV;
- units of exposure dose, exposure dose rate, flux and density of pulsed X-ray energy flux;
- units of electron flux, electron flux density and electron fluence (transfer), energy flow, energy flux density and fluence (transfer) of the energy of bremsstrahlung and electron radiation.

The set of standards was created in order to ensure the uniformity of measurements of quantities that characterize the sources and fields of ionizing radiation, the effects of radiation on matter.

Today, the number of measuring instruments for ionizing radiation amounts to tens of thousands of pieces, which are used in nuclear industry, medicine, radio-ecology, geology, space research and other fields. The dissemination of units of quantities to these measuring instruments is carried out according to the verification schemes, which are headed by the corresponding standards.

In accordance with the CIPM MRA VNIIM takes part in key and additional comparisons conducted by the CCRI, BIPM and regional metrology organizations in the field of ionizing radiation measurements. Over the past 10 years, the equivalence of standards has been confirmed in seven comparisons in the field of radionuclide activity measurements, four comparisons in the dosimetry of X-ray, gamma radiation and four comparisons in the neutron measurement domain.

VNIIM also continuously works on improving primary standards. Some recent works in this series were related to the improvements in the standard of units of activity of radionuclides, flux of alpha, beta particles and photons of radionuclide sources, which were completed in 2016. There is some new research planned, aimed at improving the standards in dosimetry, neutron measurements and measurements of radionuclide activity. The improvement of standards will be performed in accordance with the current issues and tasks of practical metrology.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕРВИЧНЫЙ ЭТАЛОН ЕДИНИЦЫ ОБЪЁМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ – УНИКАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Бирюков С.Г.

ФГУП «ВНИИФТРИ», г. Москва

sgbir@vniiftri.ru

Государственный первичный эталон единицы объёмной активности радиоактивных аэрозолей ГЭТ 39-2014 (ГПЭ), усовершенствованный во ФГУП «ВНИИФТРИ» в 2014 г., представляет собой уникальный комплекс оборудования, возможности которого позволяют использовать его помимо своего прямого назначения также и для проведения научно-исследовательских работ с максимально возможной на сегодня точностью измерений в воспроизводимых только на нём условиях.

ГПЭ был создан в 1973 году, утверждён в 1978, и сейчас, после работ по его совершенствованию, проведённых в период с 2011 по 2014 гг, он приобрёл уникальные

возможности, которых не было ранее.

В состав эталона была введена уникальная радоновая камера внутренним объёмом 17,5 м³. Большие внутренние размеры камеры позволяют пренебречь стеночными эффектами при измерениях объёмной активности дочерних продуктов распада радона, а эффективный и высокопроизводительный очиститель воздуха Airisage позволяет очень быстро удалить дочерние продукты распада радона в атмосфере камеры при необходимости. Такие параметры атмосферы в камере как температура и влажность можно регулировать. В камеру можно ввести зонд, позволяющий произвести отбор пробы на фильтр АФА-РСП как из центральной точки камеры, так и вблизи её стенок, и в любой промежуточной точке.

В состав эталона вошли совершенно новые по конструкции генераторы искусственных радиоактивных аэрозолей, позволяющие формировать радиоактивный аэрозоль с задаваемыми параметрами объёмной активности и контролируемыми параметрами дисперсности аэрозольных частиц. Также появилась уникальная возможность работать с полинуклидными радиоактивными аэрозолями [1, 2], т. е. аэрозолями, состоящими из смеси различных альфа-, бета- и гамма-излучающих радионуклидов.

В размещении оборудования для генерирования искусственных радиоактивных аэрозолей применена трехзональная компоновка оборудования. Теперь система подготовки газовой среды отделена от генераторов, а генераторы отделены от системы отбора проб дисперсной фазы искусственных радиоактивных аэрозолей, что позволяет обеспечить лучшие условия радиационной безопасности при работе на ГЭТ.

Совершенно новая система подготовки газовой среды для генераторов искусственных радиоактивных аэрозолей позволяет точно, с погрешностью не превышающей 1%, дозировать объём пропускаемого через активную зону генератора газа, а система отбора проб дисперсной фазы искусственных радиоактивных аэрозолей также с погрешностью не превышающей 1%, измерять объём отобранной пробы. В системе используется очищенный воздух, но может быть также использован и любой другой газ, например азот.

В генераторах искусственных радиоактивных аэрозолей используются реперные радионуклиды по каждому виду излучения – ²³⁹Pu (альфа), ⁹⁰Sr+⁹⁰Y (бета), ¹³¹I (гамма), но могут быть также использованы и другие радионуклиды при необходимости.

Литература

1. Методы и средства воспроизведения объёмной активности радиоактивных аэрозолей на совершенствуемом ГЭТ 39-78. Бирюков С.Г., Солодских П.И., Метрология в XXI веке. Доклады научно-практической конференции молодых учёных, аспирантов и специалистов, 20 марта 2014 г., Менделеево Московской области, ФГУП «ВНИИФТРИ», 2014, с. 25-30.

2. Государственный первичный эталон единицы объёмной активности радиоактивных аэрозолей ГЭТ 39-2014, Бирюков С.Г., Альманах современной метрологии № 7, 2016 г.

**THE NATIONAL PRIMARY STANDARD OF
VOLUMETRIC ACTIVITY OF RADIOACTIVE AEROSOLS UNIT:
UNIQUE OPPORTUNITIES**

Biryukov S. G.

FSUE "VNIIFTRI", Moscow

sgbir@vniiftri.ru

The national primary standard of unit of volumetric activity of radioactive aerosols GET 39-2014 was improved at the FSUE "VNIIFTRI" in 2014 and now it is a unique complex of equipment, which, beside its immediate purpose, allows for carrying out scientific research with the highest measuring accuracy possible today, in unique conditions.

The GET 39-2014 was established in 1973, approved in 1978, and now, after works on its improvement, conducted from 2011 to 2014, it has acquired unique capabilities that had not existed previously.

As a part of the standard, the unique radon chamber of internal volume of 17.5 m³ was created. Large internal dimensions of the chamber allow to neglect edge effects in the measurements of volumetric activity of radon progeny, while effective and powerful Amaircare air cleaner allows for quick removal of the radon progeny from the atmosphere of the chamber if necessary. Such parameters of the atmosphere in the chamber as temperature and humidity can be adjusted. The chamber allows for samples to be taken with a probe sampling filter AFA-RSP from the central volume of the chamber, near its walls and at any intermediate point.

As a part of the standard, generators of artificial radioactive aerosols of completely new design were created, allowing for production of radioactive aerosol with assigned parameters of volumetric activity and monitoring dispersion parameters of the aerosol particles. Also, a unique opportunity has appeared to work with polynuclide radioactive aerosols [1, 2], i.e. aerosols composed of a mixture of different alpha-, beta - and gamma-emitting radionuclides.

Equipment for generating artificial radioactive aerosols is located in three separate zones. Now the system of preparation of gas medium is separated from the generators, and the generators are separated from the sampling system of the dispersed phase of artificial radioactive aerosols, allowing for better conditions for radiation safety during work on the GET 39-2014.

A completely new system of gas preparation for use in artificial radioactive aerosols generators allows for an error not exceeding 1% while dosing the gas flow through the active zone of the gas generator, and the sampling system for the dispersed phase of artificial radioactive aerosols also features the error as low as 1% in measuring the volume of a sample.

The system uses purified air, but can also be used with any other gas, for example nitrogen.

In generators of artificial radioactive aerosols, the reference radionuclides for each type of radiation – ²³⁹Pu (alpha), ⁹⁰Sr+⁹⁰Y (beta), ¹³¹I (gamma) are used, but other radionuclides can also be used if necessary.

References

1. Methods and means for reproducing the volumetric activity of radioactive aerosols at the improved SST 39-78. Biryukov S. G., Solodsky P. I., Metrology in the XXI century. Reports scientific-practical conference of young scientists, graduate students and professionals March 20, 2014, Moscow region, Mendeleev, FSUE "VNIIFTRI", 2014, pp. 25-30.

2. The state primary standard of unit of volumetric activity of radioactive aerosols

МЕТОД УМЕНЬШЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ, ОБУСЛОВЛЕННОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТЬЮ АКТИВНОГО СЛОЯ ИСТОЧНИКОВ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДЕТЕКТОРА

Васильев И.О., Стяжкин В.А.
ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России

Передача единицы активности радионуклидов (АРН) осуществляется методом сравнения рабочих эталонов (РЭ) с однотипными эталонными мерами при помощи компараторов. Анализ составляющих погрешности передачи единицы АРН показал, что одной из основных является неисключённая составляющая погрешности (НСП), обусловленная неравномерностью активного слоя источников и детектора компаратора θ_k . Значение θ_k определяется по формуле [1, 2]:

$$\theta_k = 1,1 \sqrt{\frac{\eta_o^2}{2E} + \frac{\eta_n^2}{2E} \frac{S_o}{S_o} \frac{|\bar{I} - \bar{I}|}{s_o / S_o}} \quad (1)$$

где η_o и η_n – неравномерность активного слоя у эталонного и поверяемого источников соответственно, %; s_o и S_o – площадь с максимальным отклонением АРН и площадь активной поверхности всего источника соответственно; $\frac{|\bar{I} - \bar{I}|}{s_o / S_o}$ – относительное изменение чувствительности всего детектора для краевых участков источников по отношению к среднему.

Согласно [1, 2] отношение определяется перемещением источников в двух взаимно перпендикулярных направлениях в пределах площади активной поверхности источника с измерением скорости счёта импульсов n_i в каждой точке. Величины η_o и η_n определяются и нормируются только заводом-изготовителем источников в виде $\eta \leq 20\%$.

Предлагаемый метод можно условно разделить на два этапа:

1) Определять значение перемещением источников минимальной площади в восьми направлениях относительно центра детектора. Исследования компараторов на данном этапе показали, что определение предложенным способом позволяет уменьшить θ_k на 30-45 %.

2) В связи со сложностью и высокой трудоёмкостью определения точного значения η прямыми измерениями предлагается косвенно оценивать величины η_o и η_n при вращении источников вокруг своей оси с измерением скорости счёта импульсов. Для нивелирования вклада анизотропии источников в НСП необходимо:

- а) зафиксировать первоначальное значение скорости счёта импульсов n_b ;
- б) непрерывно или бесконечно много раз поворачивать источник вокруг своей оси с шагом, стремящимся к нулю, до достижения угла в 360° ;
- в) на каждом шагу проводить измерения n_i и определять погрешность измерений δ_i в каждой точке относительно n_o ;
- г) оценить уменьшение η_i с помощью выражения:

$$N = \delta_i / \delta_{cp} \quad (2)$$

где δ_{cp} – модули средних относительных НСП, величина которых в соответствии с [3] позволяет оценить вклад значения η_i в суммарную погрешность поверки РЭ АРН.

Экспериментальная апробация предложенного метода показала, что оценка анизотропии источников, позволяет уменьшить θ_k на 20-80 %.

Таким образом, в результате проведённых исследований определено, что применение предложенного метода при периодической поверке компараторов и радиометрических источников позволяет уменьшить погрешность передачи единицы

АРН на 5-10 %.

Литература

1. ГОСТ 8.581-2003. Источники альфа-излучения радиометрические эталонные. Методика поверки. –М.: Издательство стандартов, 2003. – 13 с.;
2. ГОСТ 8.582-2003. Источники бета-излучения радиометрические эталонные. Методика поверки. –М.: Издательство стандартов, 2003. – 13 с.;
3. Кондрашов А.П., Шестопапов Е.В. Основы физического эксперимента и математическая обработка результатов измерений. –М.: Атомиздат, 1977. – 200 с.

METHOD OF REDUCING COMPONENT OF THE ERROR OF MEASUREMENT OF RADIONUCLIDE ACTIVITY DUE TO THE UNEVENNESS OF THE ACTIVE LAYER SOURCES AND THE SENSITIVITY OF THE DETECTOR

Vasiliev I.O., Styazhkin V.A.

FSBI «CSMC» Ministry of defense of Russia

The dissemination of the activity of radionuclides unit (ARN) is carried out by comparison of working standards (WS) with the same type of reference measures via comparators. Analysis of the errors accompanying the dissemination of ARN unit showed that one of the main error components is a non-excluded error (NEE) due to the unevenness of the active layer of radiation source and the comparator detector θ_{κ} . The value θ_{κ} is identified by the formula [1, 2]:

(1)

where η_o and η_n is the unevenness of the active layer from the reference and test sources, respectively, %; s and S is a square with a maximum deviation of ARN and the active surface area of the entire source, respectively; $\frac{\Delta I}{I}$ is the relative change in the sensitivity of the entire detector for the regional sections of the sources with respect to the average.

The dissemination of the activity of radionuclides unit (ARN) is carried out by comparison of working standards (WS) with the same type of reference measures via comparators. Analysis of the errors accompanying the transfer of ARN unit showed that one of the main error components is a non-excluded error (NEE) due to the unevenness of the active layer of radiation source and the comparator detector θ_{κ} . The value θ_{κ} is identified by the formula [1, 2]:

$$\theta_{\kappa} = 1,1 \sqrt{\frac{\eta_o^2}{2E} + \frac{\eta_n^2}{2E} \frac{s_o}{S_o} \frac{\frac{\Delta I}{I}}{s_o/S_o}} \quad (1)$$

where η_o and η_n is the unevenness of the active layer in the reference and test sources, respectively, %; s_o and S_o is the area with the maximum ARN deviation and the active surface area of the entire source, respectively; $\frac{\Delta I}{I}$ is the relative change in the sensitivity of the entire detector for the edge sections of the sources in relation to the average.

According to [1, 2] the relationship is determined by moving the sources in two perpendicular cross directions within the area of the active surface of the source while measuring the count rate of pulses n_i at each point. Values η_o and η_n are defined and standardized solely and exclusively by the manufacturer of the sources in the form $\eta \leq 20\%$.

Application of the proposed method can be divided into two stages:

1) To determine the value by moving sources of minimum area in eight directions relative to the center of the detector. Study of comparators at this stage showed that the measurements by the proposed method allows for reduction of θ_{κ} by 30-45 %.

2) Due to the complexity and high labour-intensity of determining the exact values of

η , direct measurements are proposed to indirectly estimate values for η and η_i by rotating sources around their axes while measuring the rate of pulses counting. To compensate for the contribution of anisotropy of the sources in the NEE the following should be done:

- a) fix the initial value of the counting rate of pulses n_0 ;
- b) continuously, or by near-zero steps turn the source full circle around its axis;
- c) measure n_i at each step and determine the measurement error δ_i at each point with respect to n_0 ;
- d) assess the reduction of n_i by the expression:

$$N = \delta_i / \delta_{cp} \quad (2)$$

where δ_{cp} – modules of the average relative NEE, the value of which, according to [3] allows estimation of η_i contribution to the total error of the calibration WS ARN.

A trial of the proposed method showed that the estimation of sources anisotropy, allows for the reduction in θ_k of 20-80 %.

Thus, as a result of the conducted research, it has been determined that the application of the proposed method for periodic calibration of comparators and radiometric sources allows to improve the accuracy of the transmission unit ARN 5-10 %.

References

1. GOST 8.581-2003. Sources of alpha radiation radiometric reference. The method of verification. –M.: Publishing house of standards, 2003. – 13 p.;
2. GOST 8.582-2003. Sources of beta radiation radiometric reference. The method of verification. –M.: Publishing house of standards, 2003. – 13 p.;
3. Kondrashov A.P., Shestopalov E.V. Foundations of physical experiment and mathematical processing of measurement results. –M.: Atomizdat, 1977. – 200 p.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЯ УСТАНОВКИ ИЗМЕРЕНИЯ АКТИВНОСТИ МЕТОДОМ $4\pi(\alpha,\beta)$ - γ СОВПАДЕНИЙ

Кувькин И.В., Цуриев С.М.-Ш.

ФГУП «ВНИИФТРИ»

kuvykin@vniiftri.ru

Метод совпадений является одним из основных и самым точным в метрологии абсолютных измерений активности радионуклидов. Этот метод стал применяться с начала 50-х годов, однако наибольшее распространение он получил в 1959 г., после выхода работы Кэмпиона [1]. Дальнейшим развитием этого метода является оцифровка сигналов с детекторов и создание уже программного канала совпадений, т.н. «цифровой» метод совпадений. Цифровой метод описан во многих работах, были попытки создания цифровой установки совпадений в России [2], но эта установка имела ряд недостатков, у неё было большое мёртвое время, что приводило к невысокой точности (1 – 5 %).

В работе была создана и исследована установка, реализующая цифровой метод измерения активности методом $4(\alpha,\beta)$ - γ совпадений. Данная установка позволяет измерять активность радионуклидов с точностью 0.1 %. Проведено исследование параметров установки и расчёт неопределённости результатов измерения активности. Установка прошла сличение с Государственным первичным эталоном активности ГЭТ-6, реализующим аналоговую схему совпадений.

Для исследования метода совпадений и процесса регистрации бета- и гамма-частиц счётчиками была создана математическая модель. Модель использует метод Монте-Карло для разыгрывания событий распада радиоактивных ядер за случайный

период времени (от предыдущего распада или от начала записи спектра), зависящий от активности. Моделирует процессы временных задержек при регистрации сигналов, процессы «запираания» счётчиков из-за мёртвого времени. Модель показала хорошее согласие с результатами экспериментальных измерений.

Литература

1. Champion P.J. / Appl.Radiat. and Isotopes, 4, 232, 1959.
2. В.И.Чернышев, С.В.Коростин / Цифровые методы совпадений в метрологии радионуклидов / АНРИ, 2003 № 4 (35), стр. 50-56.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF ACTIVITY MEASUREMENT SYSTEM BY THE METHOD OF $4\pi(\alpha,\beta)$ - γ COINCIDENCE

Ilya Kuvykin, Said Tsuriev.

FSUE «VNIIFTRI»

kuvykin@vniiftri.ru

The coincidence method is one of the main and most accurate in metrology of absolute measurements of radionuclide activity. This method has been applied since early 50-s but it became most common after the release of the work by Champion [1]. A further development of this method is the digitizing of signals from detectors and creating a virtual coincidence channel – the so-called “digital” coincidence method. The digital method has been described in many works. There were attempts at creating digital coincidence system in Russia [2]. However, that system had some shortcomings, such as great dead time, which lead to low accuracy (1 – 5 %).

In the reported work, the system implementing the digital method of activity measurement by method of $4(\alpha,\beta)$ - γ coincidence was created. This system allows for measuring of the radionuclide activity with 0.1 % accuracy. The investigation of the parameters of the created system, and the calculations of the uncertainty of activity measurement results were carried out. The system passed the comparison trials with the national primary standard of activity GET 6-95, which implements the analogous coincidence method.

The mathematical model was created for the research into the coincidence method and the process of the registration of beta and gamma particles by counters. The model uses the Monte-Carlo method for playing the events of radionuclide nuclei decay over the random time period (from a previous decay or from the start of modeling) depending from activity. It simulates the processes of time delays in signal recording, the processes of counter lock due to dead time. The model showed good agreement with the results of experimental measurements.

References

1. Champion P.J. / Appl.Radiat. and Isotopes, 4, 232, 1959.
2. В.И. Чернышев, С.В. Коростин / Цифровые методы совпадений в метрологии радионуклидов / АНРИ, 2003 № 4 (35), стр. 50-56.

ИТОГИ ДОЛГОВРЕМЕННОГО СОТРУДНИЧЕСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ «АТОМТЕХ» С ВНИИМ ИМ. Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

Кожемякин В.А.

Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»

Минск, Республика Беларусь

info@atomtex.com

Более четырех десятилетий продолжается плодотворное и эффективное сотрудничество нашего предприятия с отделом метрологии ионизирующих излучений ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева».

В период с 1976 г. по 1991 г. направления совместных работ были связаны исключительно с оборонной тематикой и включали:

исследование метрологических характеристик радиометрического комплекса (несколько модификаций) для космических аппаратов серии «Метеор», предназначенного для измерения плотностей потоков заряженных частиц и нейтронов, а также мощности дозы суммарных потоков излучения;

исследование и создание спектрометрического блока-компаратора и метода для аттестации низкоактивных моноэнергетических радионуклидных источников гамма-излучения по мощности дозы;

исследование и создание специальной дозиметрической установки для проверки энергетической зависимости чувствительности кремниевых детекторов;

исследование метрологических характеристик устройств детектирования и детекторных систем (несколько типов) автоматизированных систем воздушной радиационной разведки для всех советских беспилотных самолетов-разведчиков, поддержку метрологического обеспечения аппаратуры в ходе летных, войсковых и натурных испытаний на ядерном полигоне;

разработку и внедрение методик поверки детекторных устройств без их демонтажа.

В последующий период и по настоящее время спектр решаемых задач значительно расширился и охватывает следующие направления:

исследования и испытания с целью утверждения типа средства измерения более 50 наименований дозиметрических, радиометрических и спектрометрических устройств, приборов и систем;

исследования и испытания с целью утверждения типа современных автоматизированных поверочных установок гамма- и нейтронного излучения;

создание автоматизированных дистанционно-управляемых калибровочных стендов для Государственных эталонов России в области рентгеновского излучения, высокоэнергетического электронного и тормозного излучения;

создание современного автоматизированного оборудования (прецизионных экстраполяционной камеры бета-излучения и калибровочного стенда) для Государственного эталона России в области поглощенной дозы бета-излучения;

математическое моделирование функций отклика блока детектирования черенковского излучения, обусловленного галактическими протонами;

исследования и метрологическая аттестация спектрометрических блоков-компараторов для измерения околофоновых радиационных уровней;

исследования и испытания установки поверочной рентгеновской автоматизированной с целью утверждения типа;

метрологическая аттестация в качестве эталонных проб различных

веществ по удельной активности бета- и гамма-излучающих нуклидов;
первичная и периодическая поверка источников, установок, прецизионных приборов.

Взаимодействие с ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» инициировало создание на предприятии «АТОМТЕХ» современной метрологической базы на уровне рабочих эталонов I разряда (гамма-излучение, рентгеновское излучение, нейтроны), а в ближайшей перспективе – эталона поглощенной дозы бета-излучения, дозиметрических эталонов импульсного фотонного излучения, играющего фундаментальную роль при разработке и выпуске современных и будущих конкурентоспособных средств измерения ионизирующих излучений.

Благодаря нашему тесному и постоянному сотрудничеству, результаты которого в части обеспечения единства и достоверности измерений опираются на надежные эталоны и истинность, широкий спектр продукции ядерного приборостроения, разрабатываемой и выпускаемой предприятием «АТОМТЕХ» и поставляемой в 80 стран, никогда не имел претензий у наших пользователей в части метрологических параметров. Мы готовы к продолжению совместных работ по всем перспективным вопросам метрологического обеспечения в пределах нашей компетентности с целью обеспечения взаимного и постоянного прогресса и укрепления потенциала в данной области научно-технических знаний.

ATOMTEX AND D.I. MENDELEYEV INSTITUTE FOR METROLOGY (VNIIM).

LONG TERM COOPERATION RESULTS

Kozhemyakin V.A.

Research unitary enterprise «ATOMTEX»

Minsk, Republic of Belarus

info@atomtex.com

It has been for more than four decades that the fruitful and effective cooperation of our enterprise with the ionization radiation metrology department of D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM) has been lasting.

From 1976 to 1991, cooperation exclusively related to defense industry tasks and included:

investigation of metrological characteristics of radiometric complex (several modifications) for space vehicles of the “Meteor” series intended for measuring the densities of charged particle and neutron fluxes, as well as the dose rate of the total radiation fluxes;

research and creation of a spectrometric comparator and the method for low-level monoenergetic radionuclide gamma radiation sources dose rate certification;

research and creation of special dosimetry bench for investigation of energy dependence of silicon detector sensitivity;

investigation of metrological characteristics of detectors and detector systems (several types) of automated aerial radiation reconnaissance systems for all Soviet reconnaissance unmanned aerial vehicles; metrological assurance support during aerial, service trials and full-scale tests at a nuclear test site;

development and implementation of on-site detector devices verification techniques;

As for the present day, the range of the tasks has considerably expanded and covers the following areas:

research and trials for type approval for more than 50 examples of dosimetric,

- radiometric and spectrometric devices, instruments and systems;
- ~ research and testing for type approval of modern automated calibration benches of gamma- and neutron radiation;
- ~ creation of automated remote-control calibration benches for Russian State Primary Standard in the field of X-ray radiation, high-energy electronic and braking radiation;
- ~ creation of modern automated equipment (a precision extrapolation chamber of beta radiation and a calibration bench) for the Russian State Primary Standards in the field of absorbed dose of beta radiation;
- ~ math modelling of the Cherenkov radiation detection unit response caused by galactic protons;
- ~ research and metrological certification of spectrometric comparators for measuring near-background radiation levels;
- ~ research and testing for type approval of a verification X-ray automated bench;
- ~ metrological certification of various substances on the specific activity of beta- and gamma-radiation nuclides for use as calibration samples;
- ~ primary and scheduled calibration of sources, benches, precision instruments.

Cooperation with D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM) initiated the creation at the "ATOMTEX" of a modern metrological base at the level of working standards of the first category (gamma radiation, X-ray radiation, neutrons) and in the nearest future - the standard of absorbed dose of beta radiation, dosimetric standards of pulse photon radiation, which are playing a fundamental role in development and production of modern and competitive means of ionizing radiation measurements.

Thanks to our close and constant cooperation, the results of which, in terms of ensuring the unity and measurements reliability based on reliable standards and true values, a wide range of nuclear instrumentation products developed and manufactured by ATOMTEX and supplied to 80+ countries have never had any claims from our users in terms of metrological parameters. We are ready to continue joint work on all promising metrological support issues within our competence with a view to ensuring mutual and constant progress and strengthening the potential in this area of scientific and technical knowledge.

ПЛЕНОЧНЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ ДОЗИМЕТР ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ФОТОННОГО, ЭЛЕКТРОННОГО И β -ИЗЛУЧЕНИЙ В ДИАПАЗОНЕ 5 - 60 кГр

Абдулов Р.А. Гурский М.Н., Громов А.А., Емельяненко И.А., Жанжора А.П., Тенишев В.П.

ФГУП «ВНИИФТРИ», п. Менделеево, Московская область.

emelyanenko@vniiftri.ru

Разработана стабильная и устойчивая радиохромная композиция на основе азокрасителя, чувствительная к поглощённой дозе в диапазоне от 5 до 60 кГр для интенсивных фотонного, гамма и электронного (1–10 МэВ) излучений.

Цель работы - создание на основе данной композиции Государственного стандартного образца для дозиметрии в радиационных технологиях. Исследования проводились путем облучения различных плёночных композиций на Государственном первичном специальном эталоне единицы мощности поглощённой дозы интенсивного фотонного, электронного и бета-излучений для радиационных технологий ГЭТ 209-2014 (ФГУП «ВНИИФТРИ»). Пленочные образцы представляли собой полимерные пленки, состоящие из радиационно-чувствительного слоя, нанесённого на прозрачную лавсановую подложку толщиной 100 мкм. Экспериментальные образцы изготавливались, при строгом соблюдении температурного и влажностного режимов, на специальных

поливочных машинах ЗАО «БИТ», г. Переславль-Залесский. Для измерения оптической плотности в зависимости от поглощенной дозы использовался спектрофотометрический метод. Исследования оптической плотности облучённых образцов по отношению к необлученным проводились на спектрофотометре SPECORD 210 Plus компании Analytik Jena с абсолютной погрешностью 0,2 % по пропусканию. Подобраны стабилизирующие добавки для уменьшения постэффекта радиохромной композиции радиационно-чувствительного слоя с соответствующей концентрацией красителя без сенсibilизатора. Разработана методика градуировки оптической плотности облучённых образцов от величины поглощённой дозы. Показано, что при облучении экспериментальных образцов в диапазоне поглощенных доз 5 - 60 кГр. не происходит деформация спектральной зависимости оптического поглощения в области длин волн 540 ± 5 нм, что является основанием для дозиметрических измерений в данном диапазоне с помощью исследуемой композиции.

Данная композиция представляет интерес в целях обеспечения единства измерений поглощенной дозы в области радиационных технологий, связанных с облучением медицинских изделий, продуктов питания и различных изделий на радиационную стойкость.

THE RADIOCHROMIC FILM FOR PHOTON, ELECTRON AND β -RADIATION ABSORBED DOSE MEASUREMENT IN THE 5 – 60 kGy RANGE

R.A. Abdulov, M.N. Gurskiy, A.A. Gromov, I.A. Emelyanenko,
A.P. Zhanzhora, V.P. Tenishev.
FSUE VNIIFTRI, Mendeleevo, Moscow.
emelyanenko@vniiftri.ru

A stable and steady radiochromic composition based on the azoic dye sensitive to the absorbed dose in the range from 5 to 60 kGy for intense gamma, electron and β -radiation (1-10 MeV) was developed.

The work's purpose is to develop a standard reference sample for dosimetry in radioactivity technologies, on the basis of this composition. The research was performed by irradiating different film compositions using the national primary special standard of the absorbed dose rate unit of intense photon-, electron and beta- radiation GET 209-2014 (VNIIFTRI). The film samples were polymer films consisting of a radiation-sensitive layer, applied on a transparent polyethylene terephthalate substance with the thickness of ~ 100 μm . The test samples were produced under strict temperature and humidity controlled conditions on the special sprinkling machines. To measure the optical density in relation to the absorbed dose, the spectrophotometric method was used. The comparison of the optical density for the irradiated samples against the non-irradiated ones was carried out using spectrophotometer SPECORD 210 Plus, by Analytik Jena, with the absolute error of the 0,2% transmittance. The stabilizing additives to reduce the post-effect of the radiochromic composition of the radiation-sensitive layer, with a corresponding concentration of the dye without a sensitizer were selected. The calibration procedure for the optical density of the irradiated samples with respect to the absorbed dose value was developed. It is shown that at irradiation of the test samples in the absorbed dose range from 5 to 60 kGy does not result in a distortion of the spectral dependence of the optical absorption curve at the wavelength of 540 ± 5 nm, which allows for choosing this composition as a dosimetry standard material in this range.

This composition is of interest with the aim of assuring the uniformity of the absorbed dose measurements in the technologies related to irradiation of medical products, food and various products, for the radiation resistance testing.

ЭТАЛОНЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Рогозов А.Б., Тычинкин Ю.А., Титов Э.А.

ЗАО «РИТВЕРЦ»

arogozev@ritverc.com

Как известно, одной из задач метрологии является создание эталонов. ЗАО «РИТВЕРЦ», занимаясь разработкой и поставкой большого спектра радионуклидной продукции, большое внимание уделяет эталонным, калибровочным и контрольным источникам разных типов. И естественно, только тесное взаимодействие с ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, позволяет выпускать именно такую продукцию, которая востребована и отвечает понятию «метрологическая».

Наряду с давно разработанными источниками типа ОСГИ в «классическом» исполнении (алюминиевый диск, полиамидная пленка), наше предприятие разработало и освоило выпуск других модификаций эталонных и контрольных фотонных радионуклидных источников.

1. Разработан и начал выпускаться мультинуклидный эталонный источник типа ОСГИ-РТ, который содержит сразу несколько радионуклидов. Набор радионуклидов подбирается так, чтобы равномерно заполнить спектральными линиями энергетический интервал от 26 до 1836 кэВ.

2. С целью упрочнения корпуса и минимизации размеров активной части выпускается источник ОСГИ-П, повторяющий габариты классического ОСГИ (25x3 мм) в пластиковом корпусе.

3. Ведутся работы по совместному с ВНИИМ им. Д.И. Менделеева производству эталонных фотонных источников 0-го разряда (вторичные эталоны), потребность в которых есть у организаций, связанных с метрологией ионизирующих излучений.

Перспективная разработка последних лет, учитывающая потребности бурно развивающейся ядерной медицины – источники типа ОИДК-Р. Данные источники призваны обеспечивать необходимую точность и прослеживаемость измерений, проводимых с помощью дозкалибраторов различного типа (РИС, Кюриментор,,).

В докладе подробно представлена номенклатура и характеристики всех перечисленных источников.

IONIZING EMISSION MEASUREMENTS STANDARDS

Rogozev A.B., Tychinkin Y.A., Titov E.A.

RITVERC GmbH

arogozev@ritverc.com

Creation of standards is one of the tasks of metrology. RITVERC GmbH has developed a wide range of radionuclide production including reference, calibration and control sources of different types in close cooperation with VNIIM which allows such products to be «metrological».

Along with the previously developed type OSGI sources (aluminum disk, polyamide film) our company designed and produced other modifications of reference and control photon radionuclide sources.

1. RITVERC have started production of multinuclide reference source type OSGI-RT, which contains several radionuclides at once. A set of radionuclides is chosen so as to uniformly span the spectrum energy interval from 26 to 1836 keV.
2. In order to improve the body strength of the original device, and minimize the size of

the active part, the source OSGI-P is now produced, which repeats the dimensions of the classical OSGI (25x3 mm) with a plastic body shell.

3. RITVERC and VNIIM have been developing a zero-order reference sources (secondary standards), which are in demand by organizations associated with the metrology of the ionizing radiation.

The promising development of recent years that takes into account the needs of the rapidly developing nuclear medicine – the DCGS type sources (Dose calibration gamma standard). These sources are designed to provide necessary accuracy and traceability of the measurements conducted with the help of different types of dose calibrators (RIS, Curiementor).

The report shows in details the range and characteristics of all sources described above.

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ В ВОДЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ ОТ 15 ДО 250 КЭВ

Берлянд А.В.
ФГУП «ВНИИФТРИ»
sander.00007@gmail.com

В докладе описываются методы и средства воспроизведения поглощенной дозы в воде рентгеновского излучения в диапазоне энергий от 15 до 250 кэВ, применяемые в эталоне ГЭТ38-2011. Описываются конструктивные особенности разработанных калориметров, позволившие добиться требуемой точности измерений в рассматриваемом диапазоне энергий рентгеновского излучения. Приводятся разработанные методы перехода от поглощенной дозы в графите к поглощенной дозе в воде для рентгеновского излучения в диапазоне энергий от 15 до 250 кэВ. Приводится бюджет неопределенностей определения поглощенной дозы в воде рентгеновского излучения в рассматриваемом диапазоне энергий.

Литература

1. Берлянд, А.В. Государственный первичный эталон единиц мощности поглощенной дозы фотонного и электронного излучений, его совершенствование и результаты ключевых сличений / А.В. Берлянд, В.А. Берлянд, Ю.И. Брегадзе // Измерительная техника. – Москва: Стандартинформ, 2010. – №2. – с. 3.
2. IAEA TRS-398 Absorbed dose determination in external beam radiotherapy: an international code of practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water: Technical report. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2000.

DETERMINATION OF ABSORBED DOSE TO WATER FOR 15-250 KeV X-RAY

Berlyand A.V.
FSUE "VNIIFTRI"
sander.00007@gmail.com

This paper describes methods and means of determination of absorbed dose to water for 15-250 keV X-Ray applied at absorbed dose primary standard. The specific design of developed calorimeters that allowed to achieve required level of precision is described. The developed methods of conversion of absorbed dose from graphite to water for 15-250 keV X-Ray are presented. The table of uncertainties on measured dose to water is presented.

Литература

1. Berlyand A.V. State primary standard of absorbed dose for gamma and electron radiation. Enhancement and key comparisons. / A.V. Berlyand, V.A. Berlyand, U.I. Bregadze // "Measurement Techniques" – Moscow: Standartinform, 2010. – №2.
2. IAEA TRS-398 Absorbed dose determination in external beam radiotherapy: an international code of practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water: Technical report. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2000.

СОВРЕМЕННЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ЭТАЛОННЫЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ГАММА-, РЕНТГЕНОВСКОГО, НЕЙТРОННОГО И БЕТА- ИЗЛУЧЕНИЯ

Гузов В.Д.

Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»

г. Минск, Республика Беларусь

guzov@atomtex.com

В докладе представлены материалы, касающиеся разработки и внедрения автоматизированных эталонных поверочных дозиметрических установок нового поколения, предназначенных для калибровки средств измерений в полях гамма-, бета-, нейтронного и рентгеновского излучения.

В докладе рассматриваются установки дозиметрические гамма-излучения УДГ-АТ130 и УДГ-АТ110, предназначенные для передачи рабочим и эталонным средствам измерений размеров единиц кермы в воздухе и ее мощности, а также дозиметрических величин: экспозиционной дозы, амбиентного эквивалента дозы, индивидуального эквивалента дозы и их мощности.

Представлена установка поверочная нейтронная УПН-АТ140, предназначенная для передачи единиц плотности потока, мощности амбиентного и индивидуального эквивалентов дозы нейтронного излучения, которая служит для создания поля быстрых и тепловых нейтронов коллимированного и открытой геометрии, и предназначена для поверки и градуировки нейтронных дозиметров и радиометров в лабораторных условиях. В докладе выделяется дополнительное оснащение установки мишенями из особо чистого титана и никеля с целью формирования захватного гамма-излучения с энергией до 7 и 10 МэВ соответственно (реакция n, α) для калибровки спектрометрической и дозиметрической аппаратуры в полях гамма-излучения до 10 МэВ.

Рассказывается о завершении разработки установки поверочной рентгеновского излучения УПР-АТ300, обеспечивающей создание полей рентгеновского излучения в соответствии с ISO 4037-1, ISO 4037-3 и ГОСТ Р МЭК 61267-2001, ГОСТ 27451-87, ГОСТ 8.087-2000, ГОСТ Р 8.804-2012 с использованием рентгеновского аппарата ISOVOLT 320 M2/4.5-13. Данной разработке предшествовало выполнение схожего проекта для ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», воплотившегося в составе установки низкоэнергетического рентгеновского излучения УЭД 5-50М Государственного эталона Российской Федерации ГЭТ 8-2011.

В докладе представлена автоматизированная эталонная экстраполяционная камера бета-излучения МЭК-1, изготовленная по заказу ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» и включённая в состав Государственного первичного эталона поглощенной дозы (мощности дозы) Российской Федерации ГЭТ 9-82. Сообщается

также об изготовлении по заказу ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» и введёнии в эксплуатацию специализированного электронно-механического стенда как составляющей части метрологического комплекса, создаваемого на основе линейного ускорителя электронов (18 МэВ).

Немаловажная роль в докладе отводится ядерно-физической аппаратуре, используемой для калибровки полей ионизирующего излучения, разработанной и выпускаемой научно-производственным унитарным предприятием АТОМТЕХ. Речь идет о дозиметре рентгеновского и гамма-излучения ДКС-АТ5350 (рекомендованном ГОСТ 8.087-2000 для использования при аттестации поверочных установок), дозиметре-радиометре МКС-АТ1117М в варианте всеволнового дозиметра нейтронов и линейке интеллектуальных сцинтилляционных спектрометрических блоков детектирования (компараторов) с функцией дозиметра, имеющих зависимость чувствительности от энергии не более $\pm 6\%$ в диапазоне энергий гамма-квантов от 25 кэВ до 1,25 МэВ, способных измерять, в соответствии с рекомендациями МЭК 61017:2016, мощность амбиентного эквивалента дозы от 100 нГр/ч до 100 мкГр/ч с отклонением от линейности дозовой характеристики в пределах $\pm 3\%$.

MODERN AUTOMATED STANDARD DOSIMETRY SYSTEMS FOR CALIBRATION OF GAMMA, X-RAY, NEUTRON AND BETA RADIATION MEASUREMENT INSTRUMENTS

V. Guzov

ATOMTEX, Scientific and Production unitary enterprise

Minsk, Republic of Belarus

guzov@atomtex.com

The report presents materials related to development and implementation of automated standard calibration dosimetry systems of new generation for calibration of measuring instruments in gamma, beta, neutron and X-ray fields.

The report considers AT130 and AT110 dosimetric gamma radiation units designed for transferring units of air kerma and air kerma rate to working and standard measurement instruments, as well as the following dosimetric values: exposure dose, ambient dose equivalent, personal dose equivalent, and corresponding dose rates.

The report presents AT140 neutron calibration facility designed for dissemination of units of flux density, ambient and personal dose equivalents of neutron radiation, creating a field of fast and thermal neutrons of collimated and open geometry, and designed for verification and calibration of neutron radiation dosimeters and monitors in laboratory conditions. The report highlights the use of optional accessories made from pure titanium and nickel in order to generate capture gamma radiation with energy up to 7 and 10 MeV respectively ($n, \text{ }_{\text{Ti}}\text{ }_{\text{Ni}}$ reaction) for calibration of dosimetry and spectrometry instruments in gamma radiation fields of up to 10 MeV.

The report mentions the completion of development of AT300 X-ray radiation calibration facility providing for X-ray fields according to ISO 4037-1, ISO 4037-3 and GOST R IEC 61267-2001, GOST 27451-87, GOST 8.087-2000, GOST R 8.804-2012, and using ISOVOLT 320 M2/4.5-13 X-ray unit. This development was preceded by implementation of a similar project for Federal State Unitary Enterprise "D.I. Mendeleev Institute For Metrology", resulting in UED 5-50M low-energy X-ray radiation calibration unit in the Russian state standard GET 8-2011.

The report reviews MEK-1 Automated beta-radiation extrapolation ionization chamber, produced on the order of "D.I. Mendeleev Institute For Metrology" and included in

GET 9-82 Russian state primary standard of absorbed dose and absorbed dose rate. It also reports production and commissioning of special electromechanical bench on the order of "D.I. Mendeleev Institute For Metrology" as part of metrological system based on linear electron accelerator (18 MeV).

An important role of nuclear-physical equipment for calibration of ionizing radiation fields developed and manufactured by ATOMTE Scientific and Production unitary enterprise is pointed out in the report. This equipment includes AT5350 X-ray and gamma radiation dosimeter (recommended in GOST 8.087-2000 for certification of calibration systems), AT1117M radiation monitor in the version of an all-wave neutron dosimeter and the line-up of scintillation spectrometric smart probes (comparators) with dosimeter function and energy-to-sensitivity dependence of under $\pm 6\%$ in gamma range from 25 keV to 1.25 MeV, which, according to recommendations of IEC 61017:2016, are capable of measuring ambient dose equivalent rate from 100 nGy/h to 100 μ Gy/h with deviation from linearity of dose response within $\pm 3\%$.

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ: РЕГУЛИРОВАНИЕ И ПРАКТИКА

Коротков А.С., Ярына В.П.

ФГУП «ВНИИФТРИ»

korotkov_as@vniiftri.ru

С 2014 года в России выполняется государственная программа «Развитие атомного энергопромышленного комплекса», среди приоритетных задач которой - обеспечение ядерной и радиационной безопасности. Согласно «Основам государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» «обеспечение ядерной и радиационной безопасности <...> является одной из важнейших составляющих обеспечения национальной безопасности Российской Федерации». Поэтому задачи обеспечения радиационной безопасности и способы их решения сегодня играют первостепенную роль и регулируются в особом порядке.

Радиационная безопасность (далее - РБ) обеспечивается при соблюдении основных принципов и норм радиационной безопасности НРБ-99/2009 [1], а важнейшим инструментом обеспечения РБ является радиационный контроль (далее - РК). РК, согласно [1], это «получение информации о радиационной обстановке в организации, в окружающей среде и об уровнях облучения людей (включает в себя дозиметрический и радиометрический контроль)».

В соответствии с требованиями Федерального закона [2] и [3] Госкорпорацией «Росатом» (по согласованию с Росстандартом) были разработаны «Метрологические требования к измерениям...» [4], регулирующие особенности обеспечения единства измерений в области использования атомной энергии (далее – ОИАЭ) и имеющие статус нормативно-правового акта. «Метрологические требования...» [4] и межгосударственный стандарт ГОСТ 8.638-2013 [5] устанавливают необходимость применения при РК аттестованных методик РК (обобщенное наименование методик измерений для РК). Это требование, наряду с остальными требованиями к РК, направлено на достижение целей обеспечения РБ человека и окружающей среды.

Для большинства радиационных величин, перечисленных в [5], значение величины не может быть определено путем прямых измерений, а только с применением соответствующих моделей и расчетных алгоритмов. Особенности радиационных величин и радиационных измерений, стохастический характер самого явления

радиоактивности обуславливают значительные неопределенности результатов измерений и особые требования к разработке и применению методик. Правила разработки и применения методик РК изложены в рекомендациях по метрологии [6], разработанных ФГУП «ВНИИФТРИ».

В докладе приводятся принципиальные особенности радиационных измерений и методик РК и примеры их практической реализации.

Литература

1. СанПин 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).
2. Федеральный закон №102-ФЗ от 26.06.2008 «Об обеспечении единства измерений».
3. Постановление Правительства Российской Федерации №1488 от 30.12.2012 «Об утверждении Положения об особенностях обеспечения единства измерений при осуществлении деятельности в области использования атомной энергии».
4. «Метрологические требования к измерениям, эталонам единиц величин, стандартным образцам, средствам измерений, их составным частям, программному обеспечению, методикам (методам) измерений, применяемым в области использования атомной энергии», утв. приказом Госкорпорации «Росатом» №1/10-НПА от 31.10.2013.
5. ГОСТ 8.638-2013 «Метрологическое обеспечение радиационного контроля. Основные положения».
6. Рекомендации по метрологии МИ 2453-2015 «ГСИ. Методики радиационного контроля. Общие требования».

FEATURES OF THE METHODS FOR RADIATION MEASUREMENTS: REGULATION AND PRACTICE

Korotkov A.S., Yaryna V.P.

FSUE «VNIIFTRI»

korotkov_as@vniiftri.ru

Since 2014, Russia has been implementing the state program «Development of the Nuclear Power Industry Complex». Among its priorities is to ensure nuclear and radiation safety. According to the «Fundamentals of State Policy in the Sphere of Nuclear and Radiation Safety of the Russian Federation for the Period Until 2025», «ensuring nuclear and radiation safety <...> is one of the most important components of ensuring the national security of the Russian Federation». Therefore, radiation safety and ways to achieve it are regulated in a special order.

Radiation safety (RS) is ensured by observing the basic principles and norms of radiation safety [1], and the radiation control (RC) is the most important instrument for ensuring RS. RC, according to [1], is essentially «obtaining information about the radiation situation in an organization, in the environment and about the levels of human radiation exposure (includes dosimetry and radiometry)».

In accordance with the requirements of the Federal Law [2] and [3], the State Corporation «Rosatom» (in agreement with Rosstandart) has developed «Metrological Requirements for Measurements...» [4], which regulate provision of uniformity of measurements in the field of atomic energy. «Metrological requirements...» [4] and the interstate standard GOST 8.638-2013 [5] require use of certified methods for radiation measurements (methods for RC). It is necessary to ensure the RS of the human and the environment.

For most of the radiation quantities listed in [5] the value of the quantity can't be

identified by direct measurements, but only with the use of appropriate models and computation algorithms. Features of radiation quantities and radiation measurements, the stochastic nature of the phenomenon of radioactivity, cause significant uncertainties in measurement results and bring in special requirements for measurement methods. The rules for the development and application of the methods for RC are set out in the recommendations on metrology [6] developed by «VNIIFTRI».

The report presents principal features of radiation measurements and methods and examples of their practical implementation.

References

1. SanPin 2.6.1.2523-09 Norms of radiation safety (NRB-99/2009).
2. Federal Law №102-FZ of 26.06.2008 "On ensuring the uniformity of measurements".
3. Decree of the Government of the Russian Federation №1488 of 30.12.2012 "On approval of the Regulations on the features of ensuring the uniformity of measurements in the implementation of activities in the field of the use of atomic energy."
4. "Metrological requirements for measurements, standards of units of quantities, standard samples, measuring instruments, their constituent parts, software, measurement techniques (methods) used in the field of the use of atomic energy", approved. Order of Rosatom State Nuclear Energy Corporation №1/10-NPA of 31.10.2013.
5. GOST 8.638-2013 "Metrological support of radiation monitoring. Basic provisions».
6. Recommendations on metrology MI 2453-2015 "GSI. Methods of radiation monitoring. General requirements".

ПРИМЕНЕНИЕ ФАНТОМОВ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ КАЛИБРОВКИ И ПОВЕРКИ СПЕКТРОМЕТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА АЭС

Кириллов И.А.

*Главный метролог АО «Концерн Росэнергоатом» -
начальник НИЦМ*

kirillov@rosenergoatom.ru

В настоящее время для поверки спектрометров излучения человека (далее – СИЧ), в обязательном порядке используемых на АЭС РФ и других ОИАЭ для контроля и измерений уровней внутреннего облучения персонала, применяются методики с использованием образцовых спектрометрических источников гамма-излучения (далее – ОСГИ), имеющие ряд особенностей, которые оказывают влияние на достоверность поверки и, как следствие, на результаты измерений.

Калибровка СИЧ, которая могла бы внести необходимую ясность в вопросах достоверности результатов измерений и контроля, в процессе эксплуатации не осуществляется, а настройка (ежедневная «калибровка») осуществляется по тем же ОСГИ, что ставит под сомнение достоверность ее результатов так же, как и поверки. Для компенсации влияния несовершенства методов и средств поверки, применяемых в настоящий момент по имеющимся, в т.ч. штатным для СИЧ, методикам (включая методики ГСИ), на ее достоверность, АО «Концерн Росэнергоатом» (далее – Концерн) начаты работы по переходу от поверки СИЧ с помощью ОСГИ (точечными источниками) на поверку фантомами тела человека (объемные источники) в целях повышения достоверности результатов этой поверки, а также калибровки СИЧ при помощи фантомов для целей снижения неопределенности результатов контроля и

измерений, повышения их достоверности, и как следствие, возможного раннего выявления ситуаций, требующих соответствующих действий, снижения рисков брака как первого, так и второго рода при контроле дозовой нагрузки на персонал.

Фантом тела и органов человека является набором твердотельных моделей органов и тканей, изготовленных из пластмасс – имитаторов костной биологической ткани, мягкой (мышечной) биологической ткани и легочной биологических ткани. Фантом выполнен в виде сборно-разборной модели тела взрослого мужчины в позе стоя/лёжа/сидя в двух вариантах: фоновый набор и радионуклидный набор, содержащий радионуклиды ^{137}Cs во всём теле, ^{60}Co , ^{152}Eu в лёгких, ^{133}Ba в модели щитовидной железы.

В рамках системной работы по совершенствованию метрологического обеспечения безопасной эксплуатации АЭС Концерном в период 2015-2016 на всех действующих АЭС проведены межлабораторные сличительные исследования, на основе обработки результатов этих исследований сделан предварительный вывод о перспективности дальнейшего развития этого направления в решении указанных выше проблем и задач. Уже на сегодняшний момент выявлены как ошибки персонала при измерениях, так и несовершенство некоторых средств и методов измерений, а также компьютерных реализаций методик массового периодического контроля персонала по некоторым параметрам, вносящие систематические погрешности в результаты измерений и оказывающее существенное влияние на достоверность его результатов.



Рисунок 1 – Фантом тела и органов человека в измерительном положении на Измерительном СИЧ АЭС, измерение ^{60}Co в лёгких

USE OF ANTHROPOMORPHIC PHANTOMS FOR CALIBRATION AND VERIFICATION OF WHOLE BODY COUNTERS AT NPPs

Kirillov I.A.,

*Chief metrologist of Concern Rosenergoatom –
Head of industry scientific-research center of metrology
kirillov@rosenergoatom.ru*

The methods presently used for gaging and metrological verification (MV) of the whole body counters (WBC), which are mandatory at Russian NPPs and other nuclear facilities to monitor internal exposure of personnel, with the aid of «standard spectrometric gamma radiation sources» (SGRS) have certain inherent properties potentially limiting the reliability of MV and hence credibility of the results of measurements.

WBC calibration, which could resolve the issue of credibility of monitoring and measurement results, is not performed during operation, whereas adjustment (daily «calibration») is performed on the same SGRS, which questions the reliability of its results on the grounds of the same concerns that apply to MV process. To compensate for the influence of imperfections of the currently used standard methods and means of MV and calibration including the methods prescribed by the State system for ensuring the uniformity of measurements on MV reliability, the operator of the Russian NPPs – Rosenergoatom (REA) initiated the transition from MV WBC with the aid of SGRS (point sources) to MV with the aid of anthropomorphic phantoms (distributed sources). This process is aimed at increasing the reliability of MV and calibration of WBC and reducing the uncertainty of the results of monitoring and measurements, increasing their reliability and, as a result, facilitate early detection of situations requiring appropriate action and reducing the risks of errors of the first and second type in the course of monitoring of personnel exposure.

An anthropomorphic phantom is a set of solid state models of organs and tissues made of plastics – mimetics of bone biological tissue, soft (muscle) biological tissue and pulmonary biological tissue. It is made in the form of a collapsible model of an adult male body in a standing / prostrate / seated posture in two versions: a reference set and a radionuclide-impregnated set containing ^{137}Cs radionuclide in the entire body, ^{60}Co , ^{152}Eu in the “lungs”, and ^{133}Ba in the “thyroid”.

Within the framework of the systematic efforts to improve metrological support for the safe operation of NPPs by REA during the period of 2015-2016, interlaboratory comparative studies were conducted at all operating NPPs. Basing on the results of these studies, a preliminary conclusion was made about the prospects for further development of this approach to resolving the issues outlined above. As of today, some patterns of personnel (human) errors during measurements and imperfections of certain measurement instruments and techniques, as well as of computerized implementation of the methods for large-scale periodic monitoring of certain parameters of personnel exposure have been identified and found as introducing systematic errors into measurement results and having a significant effect on the their credibility.



Figure 1 – Phantom of the human body and organs in the measuring position in a whole body counter at NPP, measurement of ^{60}Co in the lungs

КАЛИБРОВКА СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ БЛОКОВ-КОМПАРАТОРОВ В НИЗКОИНТЕНСИВНЫХ ПОЛЯХ ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПО МОЩНОСТИ ДОЗЫ

Лукашевич Р.В.

*Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»
г. Минск, Республика Беларусь
lukashevich@atomtex.com*

При осуществлении радиационного мониторинга крайне важно получать информацию о малейшем превышении техногенного радиационного фона по отношению к естественному фону, т.е. измерять надфоновое гамма-излучение. Для этого необходимо использовать измерительные средства, обладающие высокой чувствительностью, низким уровнем собственного фона и высокой временной стабильностью.

Использование высокочувствительных дозиметров на базе сцинтилляционных блоков детектирования становится привлекательным для оценки мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) ниже $0,1 \text{ мкЗв/ч}$. При том, что ГОСТ Р 8.804-2012 не оговаривает диапазон измерений ниже $0,1 \text{ мкЗв/ч}$, стандарты МЭК 61017:2016 и МЭК 60846-1:2009 рекомендуют нижний предел диапазона измерений МАЭД при контроле радиационной обстановки в окружающей среде на уровне $0,03 \text{ мкЗв/ч}$.

В этой связи возникает вопрос о калибровке дозиметров по фотонному излучению в диапазоне $0,03 - 0,1 \text{ мкЗв/ч}$. Для этого необходимо метрологически обеспечить значение МАЭД на уровне $0,03 - 0,1 \text{ мкЗв/ч}$, т.е. создать эталонное низкоинтенсивное поле фотонного излучения и экспериментально подтвердить линейность дозовой характеристики дозиметров в области ниже $0,1 \text{ мкЗв/ч}$.

Для решения этой задачи в УП «АТОМТЕХ» использовался блок-компаратор фотонного излучения БКМГ-АТ1102 на базе серийно выпускаемого спектрометрического блока детектирования гамма-излучения БДКГ-05М со сцинтилляционным детектором $\text{NaI}(\text{Tl}) \text{ } \varnothing 40 \times 40 \text{ мм}$.

Для подтверждения метрологических характеристик блока-компаратора БКМГ-АТ1102, были проведены исследования его основных характеристик, а позже выполнена калибровка по мощности кермы в воздухе во ФГУП «ВНИИМ им Д.И. Менделеева» на государственных эталонах РФ. Зависимость показаний блока-компаратора от мощности кермы в воздухе была исследована в полях гамма-излучения радионуклидного источника ^{137}Cs (662 кэВ) в диапазоне от 0,1 до 180 мкГр/ч. Результаты исследований показали отклонение от линейности в пределах $\pm 3\%$ в указанном диапазоне мощности кермы в воздухе.

Для выполнения калибровки в области ниже 0,1 мкГр/ч, была разработана и апробирована методика калибровки блока-компаратора в низкоинтенсивных полях фотонного излучения по мощности дозы. Апробация методики была выполнена и на Заславском водохранилище, и с использованием низкофоновой камеры. Определены отклики блока-компаратора на составляющие окружающего радиационного фона, согласно рекомендациям МЭК 61017:2016 и МЭК 60846-1:2009.

Калибровка блока-компаратора в эталонных низкоинтенсивных полях фотонного излучения (0,03 – 0,1 мкЗв/ч) была выполнена в лаборатории Национального научно-исследовательского института физики и ядерной инженерии Румынии (IFIN-HH) в низкофоновой соляной шахте с получением сертификата калибровки.

Применение разработанной методики аттестации низкоинтенсивных полей фотонного излучения по мощности дозы методом компаратора, калибровка блока-компаратора в диапазоне 0,03 - 0,1 мкЗв/ч и следование рекомендациям МЭК 61017:2016 и МЭК 60846-1:2009, дают основания для использования блока-компаратора для метрологического обеспечения калибровки дозиметров в полях низкоинтенсивного фотонного излучения.

SCINCILATION COMPARATOR PROBES IN LOW INTENSITY PHOTON RADIATION FIELDS DOSE RATE CALIBRATION

R. Lukashevich

SPE «ATOMTEX», Minsk, Republic of Belarus

lukashevich@atomtex.com

When performing radiation monitoring, it is extremely important to obtain information about the slightest excess of anthropogenic radiation background with respect to the natural background, i.e. measure over-the-background gamma radiation. For this purpose, it is necessary to use measuring units with high sensitivity, low level of own background and high temporal stability.

The use of high sensitivity dosimeters based on scintillation detection units becomes attractive for estimating the ambient dose equivalent rate (dose rate) below 0.1 $\mu\text{Sv/h}$. While the GOST R 8.804-2012 does not specify a measurement range below 0.1 $\mu\text{Sv/h}$, IEC 61017: 2016 and IEC 60846-1: 2009 recommend a lower limit of the dose rate measurement range at the level of 0.03 $\mu\text{Sv/h}$ while monitoring the environment radiation conditions.

In this connection, the question arises of calibration of dosimeters based on photon emission in the 0.03-0.1 $\mu\text{Sv/h}$ range. For this, it is necessary to ensure metrologically the value of the dose rate at a level of 0.03 - 0.1 $\mu\text{Sv/h}$, i.e. to create a reference low-intensity field of photon radiation and to confirm experimentally the linearity of the dose characteristics of dosimeters in the range below 0.1 $\mu\text{Sv/h}$.

To solve this problem, a photon radiation comparator probe AT1102 based on a commercially available spectrometric gamma-radiation detection unit BDKG-05M with a scintillation detector NaI (Tl) $\varnothing 40 \times 40$ mm was used in SPE ATOTMEX.

To confirm the metrological characteristics of the comparator probe AT1102, its main characteristics were analyzed, and later, the calibration of the air kerma rate was performed at D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM) on the state standards of the Russian Federation. The dependence of the comparator readings on air kerma rate was investigated in the fields of gamma radiation of a radionuclide source ^{137}Cs (662 keV) in the range from 0.1 to 180 $\mu\text{Gy/h}$. The results of the investigations showed a deviation from linearity within $\pm 3\%$ in the indicated range of air kerma rate.

To perform calibration in the range below 0.1 $\mu\text{Gy/h}$, there was developed and tested a dose rate calibration procedure of the comparator probe in low-intensity fields of photon radiation. Approbation of the method was carried out at the Zaslavskoye water deposit and in the low-background shielded chamber. The responses of the comparator probe to the ambient radiation background components were determined in accordance with the recommendations of IEC 61017: 2016 and IEC 60846-1: 2009.

Comparator probe calibration in the reference low-intensity fields of photon radiation (0.03-0.1 $\mu\text{Sv/h}$) was performed in the laboratory of the Horia Hulubei National Institute of Physics and Nuclear Engineering (IFIN-HH) in a low-background salt mine with a calibration certificate.

The application of the developed technique for dose rate attestation of low-intensity photon radiation fields using the comparator method, comparator probe calibration in the range of 0.03 - 0.1 $\mu\text{Sv/h}$, and the recommendations of IEC 61017: 2016 and IEC 60846-1: 2009, give a reason for using the comparator probe for metrological assurance of dosimeters calibration in low-intensity photon radiation fields.

ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ АКТИВНОСТИ РАДИОФАРМПРЕПАРАТОВ

Коростин С.В., Ермилов С.А., Коновалов И.С., Михайлов А.Ю.
ООО "НТЦ Амплитуда", Зеленоград
s.korostin@amplituda.ru

Измерения активности радионуклидов проводятся при производстве и применении радиофармпрепаратов (РФП). В соответствии с требованиями Федерального закона 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» и приказом Минздрава России №81н «Об утверждении Перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, выполняемых при осуществлении деятельности в области здравоохранения, и обязательных метрологических требований к ним, в том числе показателей точности измерений», эти измерения подлежат государственному регулированию в области обеспечения единства измерений (ГРОЕИ). Это, в частности, означает, что должна быть обеспечена прослеживаемость измерений активности РФП к Государственному первичному эталону активности радионуклидов.

В докладе показано, что при использовании радиометров активности (дозкалибраторов) необходимо обеспечивать прослеживаемость по каждому радионуклиду, входящему в состав применяемых в клиниках РФП, калибровкой прямым или косвенным методом, что реализовано в радиометре РИС-А «Дозкалибратор». Калибровка косвенным методом основывается на компарировании аликвоты РФП с точечным источником гамма-излучения типа ОСГИ – рабочим эталоном 1 разряда. При калибровке прямым методом производится сличение эталонных радиометров с Государственным первичным эталоном. В докладе показано, что расширенная неопределенность калибровки косвенного метода соизмерима с

неопределённостью прямого.

При производстве РФП приходится также решать задачи измерения высоких значений активности до 10 Ки и даже до 200 Ки (например, при производстве генераторов Тс-99m). Традиционный способ обеспечения прослеживаемости (калибровка) в этих случаях неприменим из-за невозможности работы с высокоактивными образцами РФП вне «горячих» камер. В этом случае прослеживаемость обеспечивается анализом кривой распада радионуклидов, входящих в РФП или последовательными измерениями активности аликвот РФП с опорой на эталонный радиометр [1]. Однако, при активности РФП выше 100 Ки ограничением точности измерений является нарушение равновесности ионизированного газа в чувствительном объеме радиометра. В докладе анализируются методы измерений активности при таких неравновесных условиях.

Литература

С.В. Коростин, Н.С. Божко, С.В. Сэпман «АНРИ» 2016, №1 (84), С.44-48

TRACEABILITY OF ACTIVITY MEASUREMENTS IN RADIOPHARMACEUTICALS

Korostin S.V., Yermilov S.A., Konovalov I.S., Mikhailov A.Yu.
"STC Amplituda" LLC, Zelenograd
s.korostin@amplituda.ru

Activity measurements in radiopharmaceuticals are taken during their manufacturing and use. In accordance with the requirements of the 102-FZ Federal Law «On the assurance of uniformity of measurements» and the Ministry of Healthcare Order N81n «On approval of the list of measurements in the field of the State assurance of uniformity of measurements in healthcare and mandatory metrological requirements to them, including accuracy parameters». Therefore, traceability of activity measurements in radiopharmaceuticals to the State Primary Standard of Radionuclides Activity must be ensured.

The report demonstrates that traceability for each radionuclide possible in the content of medical substances applied in RF clinics should be ensured by either direct or indirect calibration methods of radiometers (dosecalibrators). The relevant set of measures were taken for RIS-A radiometer. Indirect calibration is based on radiopharmaceutical aliquot comparison with reference to 1-st category standard point source OSGI. Direct calibration is based on comparisons of the reference radiometers with the State Primary Standard of Radionuclides Activity. In the report, it is demonstrated that uncertainty of direct and indirect calibrations are comparable.

The problem of high activity measurements of up to 10 Ci and even 200 Ci should also be solved for radiopharmaceutical manufacturing (for example, manufacturing of Tc-99m generators). Conventional traceability ensuring methods (calibration) are inapplicable due to restrictions on operation with highly active radiopharmaceutical samples outside "hot boxes". In this case, traceability can be assured by a decay curve analysis for radiopharmaceutical radionuclides or by sequential measurements of radiopharmaceutical aliquots with reference to standard radiometer [1].

However, the measurements accuracy is limited for radiopharmaceutical activity levels of over 100 Ci by the disturbance of ionized gas equilibrium in the sensitive volume of the radiometer. Methods of measurements under such non-equilibrium conditions are discussed in the report.

Reference

1. S.V.Korostin, N.S.Bozhko, S.V.Sepman «ANRI» 2016, N1 (84) ,P.44-48

**МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ДОЗИМЕТРИИ
В РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЕ**

И.Г. Тарутин

РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова

Минск, Беларусь

В докладе обсуждаются вопросы метрологического обеспечения дозиметрических измерений в диагностической радиологии, ядерной медицине и лучевой терапии. В диагностической радиологии существует проблема аттестации дозиметров, измеряющих произведение дозы на площадь, встроенных в рентгеновские аппараты. Вторая проблема – аттестация детекторов, используемых для контроля качества компьютерных рентгеновских томографов. Проблема существует и в ядерной медицине, использующей комбинированные эмиссионные томографы. Кроме того, в ядерной медицине необходимо повысить точность измерения активности в калибраторах.

В лучевой терапии к основным проблемам относятся аттестация дозиметров, применяемых для измерения нейтронного фона в помещениях линейных ускорителей электронов, а также за защитой этих помещений. Вторая проблема – аттестация матричных дозиметров для быстрой проверки характеристик полей облучения ускорителей в процессе периодического контроля качества работы аппаратов. Существует проблема аттестации мониторинговых камер ускорителей, а также устройств регистрирующих дозовые распределения на выходе фотонного излучения из облучаемых объектов, что настоятельно требуют инспектирующие органы. Обсуждается вопрос уменьшения погрешностей при передаче единицы поглощенной дозы от эталона в лаборатории вторичных стандартов.

Обсуждаются требования регулирующих органов к аттестации дозиметрических приборов.

**METROLOGICAL PROBLEMS IN DOSIMETRY FOR RADIATION
MEDICINE**

I. Tarutin

N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus

Minsk, Belarus

The issues of metrological assurance of dosimetry in medical radiology are discussed. In diagnostic radiology there exists an issue related to attestation of DAP-dosimeters installed in x-ray units. Another issue is dosimeters certification of those used for measurements in Computer X-ray tomography. The same problem relates to combined emission tomography, used in nuclear medicine. In addition, in nuclear medicine it is necessary to improve the accuracy of activity measurements in calibrators.

In radiotherapy, the main metrological problems are:

Certification of neutron dosimeters for background measurement inside and outside the linear accelerators treatment rooms.

Certification of matrix dosimeters for quick check of characteristics of photon and electron beams during periodic quality control of accelerators.

Certification of accelerator monitor chambers and portal vision devices, which has recently been the regulator authorities common demand.

The decrease in uncertainties at transferring the gray unit from PSDL to SSDL is also discussed.

The requirements of regulatory officials to dosimeters certification is discussed.

ГАРАНТИЯ КАЧЕСТВА В БРАХИТЕРАПИИ

Козлов О.В.

ФГБУ РОНЦ им. Н.Н.Блохина МЗ РФ

kelv@bmail.ru

Брахитерапия (контактная лучевая терапия) – метод лечения, при котором радиоактивный источник используется на коротких расстояниях для внутритканевого или контактного облучения (в опухоли или непосредственной близости от опухоли). Основное преимущество – снижение дозовых нагрузок на нормальные органы и ткани. Характерные особенности – быстрое спадание дозы и высокая неоднородность дозного распределения.

Современная программа гарантии качества брахитерапии включает в себя дозиметрические и технологические этапы с целым набором инструментов, которые применяются для оценки точности этих этапов. Можно выделить четыре дозиметрических этапа:

Источник ионизирующего излучения. Дозное распределение от источника излучения. Современные источники имеют миниатюрные размеры и незначительно различаются по дозному распределению.

Для расчета доз в определенных «реперных» точках (формализм TG-43) используют Монте-Карло вычисление и ТЛД дозиметры. Согласованные данные Монте-Карло и ТЛД используются в современных системах планирования.

Расчет дозы. Для создания плана лечения используют систему дозиметрического планирования (расположение позиций остановки источника в пространстве и времени экспозиции). Следующий важный этап, позволяющий сымитировать дозное распределение в пространстве, для создания оптимального дозного распределения. Доза в определенной точке представляет собой суперпозицию доз от мест остановки источника.

Аппарат для удаленного автоматического введения источника излучения. Реализация программы лечения, рассчитанной на предыдущем этапе [1,2].

Позволяет реализовать программу облучения, рассчитанную на системе планирования. Различные аппликаторы, по которым двигается источник излучения, имеют разные параметры, в результате чего фактическое положение источника излучения может значительно (до 3 мм и более) различаться от запланированного. Необходимо измерение параметров источника, используемого в клинике. ESTRO (европейское общество радиационных онкологов) рекомендует проводить измерения мощности воздушной кермы в воздухе одним из трех способов:

- А) Измерение в воздухе.
- Б) Измерение в фантоме.
- В) Измерение в камере колодезного типа.

Оптимальным методом считается измерение с использованием ионизационной камеры колодезного типа.

Верификация поглощенной дозы. С целью верификации поглощенной дозы может быть использована in-vivo дозиметрия. Метод может позволить увидеть ошибки

в совокупности. Однако на данный момент in-vivo дозиметрия используется в небольшом количестве центров, не существует предпочтительного дозиметра для этих целей и методика не выработана до конца. Метод является перспективным, с возможностью дополнительных применений, но нуждается в дальнейших исследованиях.

Литература

1. Venselaar J., Perez-Calatayud J. A practical guide to quality control of brachytherapy equipment. ISBN 90-804532-8. ESTRO booklet No. 8, 2004, ESTRO.
2. Тарутин И.Г., Пышняк В.Л.. Измерение мощности воздушной кермы и вычисление дозы и мощности дозы от радиоактивных источников, применяемых в аппаратах контактной лучевой терапии: Методические рекомендации. Минск, 1999, 36 с.

QUALITY ASSURANCE PROGRAMM IN BRACHYTHERAPY

Kozlov O.

NN Blokhin Cancer Research Center

kelv@bmail.ru

Brachytherapy (contact radiation therapy) is a method of treatment in which a radioactive source is used at short distances for interstitial or contact irradiation (in a tumor or close to a tumor). The main advantage is the reduction of dose on normal organs and tissues. Typical features - rapid drop in dose and high heterogeneity of dose distribution. Specific features - high dose gradient and high heterogeneity of dose distribution.

The modern program of quality assurance of brachytherapy includes dosimetric and technical stages with a whole set of tools that are used to assess the accuracy of these steps. There are four dosimetric steps:

1. The radioactive source. Dose distribution from the radiation source. Modern sources have a small size and slightly differ in dose distribution. To calculate the doses in "reference" points (TG-43 formalism), Monte Carlo calculation and TLD dosimeters are used. The consensus data of Monte Carlo and TLD are used in modern planning systems.

2. Calculation of dose. Dosimetry planning system is used to create a treatment plan (location of source dwell positions in area and exposure time). The next important step is to simulate dose distribution in area, to create optimal dose distribution. The dose at a point is a superposition of doses from source dwell positions.

3. The device for remote automatic insertion of the radiation source. Implementation of the treatment program calculated at the previous stage. Allows implementation of an irradiation program calculated on planning system. Various applicators, through radiation source moves, have different parameters, as a result of which the actual position of the radiation source can significantly (up to 3 mm or more) differ from the planned.

It is necessary to measure the parameters of the source used in the clinic. ESTRO recommends measuring air kerma rate in the air in one of three ways:

- A) Measurement in the air.
- B) Measurement in the phantom.
- B) Measurement in the well type chamber.

The optimal method is measurement using a well type ionization chamber.

4. Verification of absorbed dose. In order to verify the absorbed dose, in-vivo dosimetry can be used. The method can allow to see errors in the cumulative. However, at the

moment in-vivo dosimetry is used in a small number of centers, there is no preferred dosimeter for these purposes and the technique has not been worked out to the end. The method is promising, with the possibility of additional applications, but needs further research.

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Генералова В.В., Громов А.А., Гурский М.Н., Жанжора А.П., Емельяненко И.А., Тенишев В.П.
ФГУП «ВНИИФТРИ»
tenishev@vniiftri.ru

Единство измерений МПД и ПД интенсивных излучений в радиационных технологиях в России обеспечивается Государственным (Национальным) первичным специальным эталоном единицы мощности поглощенной дозы интенсивного фотонного (Co^{60} , Cs^{137}), электронного и бета-излучений (Sr^{90} + Y^{90}) ГЭТ 209-2014 (ФГУП «ВНИИФТРИ»).

Единица МПД (Грей в секунду или Дж/кг в сек), воспроизводится калориметрическим методом, основанным на измерении мощности тепловыделения в поглотителе калориметра (с поглотителями из графита или полистирола) в результате поглощения энергии ионизирующего излучения.

Основные характеристики эталона ГЭТ 209-2014:

Характеристики	Фотонное излучение	Ускоритель электронов	Бета-излучение
Энергии излучения, МэВ	0,66 – Cs^{137} 1,25 – Co^{60}	от 3 до 10	до 2,3 (макс) $\text{Y}^{90} + \text{Sr}^{90}$
Мощности поглощенной дозы, Гр/сек	от 0,3 до 10^3	от 10^2 до $2 \cdot 10^5$	от 0,3 до 10^2
СКО	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
НСП	$6 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$
Суммарная расширенная неопределенность, К=2	$7 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$

Прослеживаемость результатов измерений к национальному эталону обеспечивается пленочными и твердосплавными дозиметрами (стандартные образцы). Разработаны методики калибровки и градуировки этих средств на национальном эталоне ГЭТ209-2014, методики измерения и передачи единицы ПД интенсивных потоков ионизирующих излучений. Для контроля процесса радиационной обработки изделий разработан химический пленочный цветовой индикатор поглощенной дозы ЦВИД.

Тип дозиметра (стандартного образца)	Сертификат утверждения	Диапазон измерения ПД
СО ПД(Ф)-5/50	СО №1688	5 – 50 кГр
СО ПД(Ф)Р-30/200	СО №1687	30 – 300 кГр
СО ПД(Ф)Р-5/50	СО №1560	5 – 50 кГр
СО ПД(Э)-1/10	СО №3532	1 – 10 кГр
СО ПД(ДТС)-0,05/10	СО №1048	50 Гр – 10 кГр

Цветовой индикатор ПД		1-50 кГр
-----------------------	--	----------

Пленочные и стеклянные дозиметрические системы (стандартные образцы) ФГУП «ВНИИФТРИ» являются уникальными. В настоящее время эти СО используются для аттестации радиационно-технологических процессов в установках с электронными ускорителями и радионуклидными источниками в соответствии с существующими нормативными требованиями и технологиями облучения (ГОСТы, ISO, МИ т.п.) при радиационной обработке медицинской продукции, биодобавок, растительного лекарственного сырья и продуктов питания, радиационной модификации свойств полимеров, исследование изделий электронной техники под воздействием радиационного воздействия, в микробиологии, и т.п. Диапазон чувствительности и линейные размеры данных СО позволяют их использовать при дозиметрических измерениях при испытаниях различных объектов на радиационную стойкость при воздействии специальных факторов.

METROLOGICAL ASSURANCE OF RADIATION TECHNOLOGIES

Generalova V.V., Gromov A.A., Gurskiy M.N., Zhanzhora A.P., Emelyanenko I.A.,
 Tenishev V.P.
 FGUP «VNIIFTRI»
 tenishev@vniiftri.ru

Unification of measurements of absorbed dose rate (ADR) and absorbed dose (AD) in the Russian Federation is provided by the National Special Primary Standard (GET 209-2014 at FGUP "VNIIFTRI") of absorbed dose rate unit for intense photon (Co^{60} , Cs^{137}) radiation, $Sr^{90}+Y^{90}$ β -radiation and accelerated electrons.

Absorbed dose rate unit reproduction is based on the calorimetric method by measuring heat generation power, as a result of ionization radiation energy absorption in calorimeter absorber (water, graphite or polystyrene).

Russian State Special Primary Standard GET 209-2014 key specifications:

Specifications	Photon radiation	Acc. electrons	β -radiation
Radiation energy, MeV	0,66 – Cs^{137} 1,25 – Co^{60}	3 - 10	Up to 2,3 (max) $Y^{90}+Sr^{90}$
Absorbed dose rate, Gy/sec	от 0,3 до 10^3	от 10^2 до $2 \cdot 10^5$	от 0,3 до 10^2
RMS	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Systematic error	$6 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$
The total expanded uncertainty, k=2	$7 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$

Traceability of measurements to the national standard is ensured by means of certified solid state reference material (CRMs) and radiochromic film dosimeters. Each dosimeter system is manufactured under strict quality standards to ensure consistency and reliability. The calibration and measurement procedures for these dosimeters have been developed on the base of national standard for certification purposes, of radiation processing facilities with different source type. For the purposes of routine radiation monitoring at factories, a radiation sensitive colour chemical film indicator has been developed.

Dosimeter type (CRM))	Certification	Absorbed dose measuring range, kGy
-----------------------	---------------	---------------------------------------

CRM AD(F)-5/50	CO №1688	5 – 50
CRM AD(F)W-30/200	CO №1687	30 – 300
CRM AD(F)W-5/50	CO №1560	5 – 50
CRM AD(E)-1/10	CO №3532	1 – 10
CRM AD(DTC)-0,05/10	CO №1048	0,05 – 10
Colored indicators		1-50

Film and glass dosimetric systems (Standard Samples, or SS), by FGUP "VNIIFTRI" are unique. Nowadays these SS are used, according to the actual regulatory requirements to irradiation technologies (GOSTs, ISOs, and others) at certification of radiotechnological processes in installations with electron accelerators and radionuclides radiation sources involved in radiation treatment of medical production, biological additives, vegetable medical components and food products, and also for radiological modification of polymere qualities, research in the change in microelecntonic devices after exposure to radiation, in mirobiology and for other applications.

Sensitivity range and dimentions of these Standad Samples allow for their use as dosimetric measuring devices at tests of different objects for radiation resistance in the presense of special

**СЕКЦИЯ «НОВЫЕ ЗАДАЧИ МЕТРОЛОГИИ
В XXI ВЕКЕ»**
**SECTIONAL MEETING «NEW METROLOGY CHALLENGES IN THE 21ST
CENTURY»**

**ДОРОЖНАЯ КАРТА МЕТРОЛОГИИ ОТ XIX ВЕКА К НОВЫМ ВЫЗОВАМ XXI
СТОЛЕТИЯ**

Дитрих Хофман, Пауль Диттрих
Кластер международного сотрудничества SpectroNet, Йена, Германия
d.hofmann@spectronet.de

Цель статьи - показать, что фотонная метрология 21-го столетия может рассматриваться как естественное продолжение ее предшественников - метрологии XIX века в области механики и метрологии XX века, связанной с электричеством/электроникой. Ученые Санкт-Петербурга сыграли неоценимую роль в улучшении понимания основ естественных наук.

Выдающийся ученый **19-го века механики** Дмитрий Иванович Менделеев опубликовал в 1869 г. периодическую таблицу элементов. Разные вещества были организованы на основе их атомных номеров, электронных конфигураций и периодически повторяющихся химических свойств [1]. Основами организации явились различные массы **атомов**. Атомная масса легчайшего вещества водорода, H, составляет $m_a = 1.008$ у, а самого тяжелого вещества оганесона, Og, - $m_a = 294$ у [2]. 1 у = $1.660539040 \times 10^{-27}$ кг [3], где у – унифицированная атомная единица массы [4].

В **20-м веке электричества/электроники** русский физик Александр Степанович Попов был признан изобретателем **радио** [5]. Владимир Козьмич Зворыкин в 1907 году изобрел телевизионную передающую и приемную систему с использованием электронно-лучевых трубок. Ее представление с улучшенным дизайном в 1911 году явилось первой в мире демонстрацией телевидения [6]. Другими примерами являются трубки с накоплением заряда, трубки прямого видения в ИК-лучах и **электронный микроскоп** [7]. С 1919 года Зворыкин жил в Питтсбурге, США. Электроны имеют массу $m_e = 9.109\ 383\ 561 \times 10^{-31}$ кг или $m_e = 5.485\ 799\ 090 \times 10^{-4}$ у [8].

21-й век фотоники был объявлен ООН/ЮНЕСКО в 2015 году Международным годом света и светотехнических технологий, **IYL2015** [9]. Учеными-пионерами в фотонике являются лауреаты Нобелевской премии **1964** года Николай Геннадиевич Басов, Александр Прохоров и Чарльз Хард Таунс «за фундаментальную работу в области квантовой электроники, которая привела к созданию осцилляторов и усилителей, основанных на принципе квантового генератора СВЧ-диапазона с лазерной накачкой» и лауреаты Нобелевской премии **2000** года Жорес Иванович Алферов и Герберт Крёмер «за разработку полупроводниковых гетероструктур и создание быстрых опто- и микроэлектронных компонентов» [10]. Согласно современным представлениям, масса фотонов равна $m_p = 0$ кг [11]. В связи с тем, что от «механики через электричество/электронику к фотонике» масса постепенно «исчезает», промышленные и непромышленные процессы, продукты и услуги, становятся более **удобными + надежными + доступными**. В работе будут подробно рассмотрены новые вызовы и возможности для фотонной метрологии и обеспечения качества в 21 веке. Акцент делается на мобильном цифровом быстродействующем получении изображений, обработке и оценке для инновационного контроля качества с интеллектуальными

вычислениями от **УФ** через **видимую область спектра** к **ИК**.

Ссылки

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_periodic_table.
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_chemical_elements.
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Avogadro_constant.
- [4] https://en.wikipedia.org/wiki/Atomic_mass.
- [5] https://en.wikipedia.org/wiki/Alexander_Stepanovich_Popov.
- [6] *Abramson, Albert (1995). Zworykin, Pioneer of Television. Urbana and Chicago: University of Illinois Press. ISBN 0-252-02104-5.*
- [7] https://en.wikipedia.org/wiki/Vladimir_K._Zworykin.
- [8] <https://en.wikipedia.org/wiki/Electron>.
- [9] <http://www.light2015.org/Home.html>.
- [10] https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Nobel_laureates_in_Physics.
- [11] <https://de.wikipedia.org/wiki/Photon>.

ROADMAPPING OF METROLOGY FROM THE 19TH CENTURY TO NEW CHALLENGES IN THE 21ST CENTURY

Hofmann, W.D.; Dittrich, P.G.
d.hofmann@spectronet.de

Roadmapping of Metrology from the 19th Century to new Challenges in the 21st Century.

Aim of the paper is to show that the Photonical Metrology of the 21st Century can be understood as the natural follower of its precursors with Mechanical Metrology in the 19th Century and with Electrical/Electronical Metrology in the 20th Century. Scientists from St. Petersburg played a remarkable role in better understanding of the fundamentals of natural sciences. An outstanding scientist from the 19th Century of Mechanics, Dmitri Ivanovich Mendeleev, published the periodic table of elements, in 1869. Different substances were organized on the basis of their atomic numbers, electron configurations and recurring chemical properties [1]. The principle for organization was the different masses of the atoms. The atomic mass of the lightest substance Hydrogen H is $m_a = 1.008 \text{ u}$ and of the heaviest substance Oganesson Og is $m_a = 294 \text{ u}$ [2]. $1 \text{ u} = 1.660\,539\,040 \times 10^{-27} \text{ kg}$ [3], where u is the unified atomic mass unit [4]. Electrons have a mass of $m_e = 9.109\,383\,561 \times 10^{-31} \text{ kg}$ or $m_e = 5.485\,799\,090 \times 10^{-4} \text{ u}$ [8].

For the **20th Century of Electricity and Electronics** the Russian physicist Alexander Stepanovich Popov is acclaimed as the inventor of the **radio** [5]. Vladimir Kosmich Zworykin in 1907 invented a **television** transmitting and receiving system employing cathode ray tubes. Its demonstration in 1911, based on an improved design, was the first world's demonstration of TV [6]. Further examples are charge storage-type tubes, infrared image tubes and the **electron microscope** [7]. From 1919 Zworykin lived in Pittsburgh, US. The **21st Century of Photonics** was heralded in 2015 by the International UN/UNESCO Year of Light and Light-based Technologies **IYL2015** [9]. Scientific pioneers in Photonics are the Nobel Laureates of **1964** Nicolay Gennadijevich Basov, Alexander Prokhorov and Charles Hard Townes „for fundamental work in the field of quantum electronics, which has led to the construction of oscillators and amplifiers based on the maser-laser principle“; and in **2000** Zhores Ivanovich Alferov and Herbert Kroemer „for the development of semiconductor heterostructures used in high-speed- and optoelectronics“ [10]. Due to the fact that from Mechanics via Electrics/Eletronics to Photonics the **mass** gradually „disappears“ the industrial and non-industrial processes, products and services are becoming more **convenient**

+ **reliable** + **affordable**. New Challenges and Chances for Photonical Metrology and Quality Assurance in the 21st Century will be treated in detail. The emphasis is on mobile digital responsive **image** acquisition, processing and evaluation from **UV** via **VIS** to **IR** for innovative **quality** control with smart computing.

Literature:

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_periodic_table.
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_chemical_elements.
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Avogadro_constant.
- [4] https://en.wikipedia.org/wiki/Atomic_mass.
- [5] https://en.wikipedia.org/wiki/Alexander_Stepanovich_Popov.
- [6] *Abramson, Albert (1995). Zworykin, Pioneer of Television. Urbana and Chicago: University of Illinois Press. ISBN 0-252-02104-5.*
- [7] https://en.wikipedia.org/wiki/Vladimir_K._Zworykin.
- [8] <https://en.wikipedia.org/wiki/Electron>.
- [9] <http://www.light2015.org/Home.html>.
- [10] https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Nobel_laureates_in_Physics.
- [11] <https://de.wikipedia.org/wiki/Photon>.

ПАРАДИГМЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Шишкин И.Ф.

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

nikhsihs@ipa-spb.com

Многие годы измерением называлось «нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств». Под физической величиной понималось «свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта». По умолчанию предполагалось, что сами объекты и их свойства относятся к материальному миру. Измерения могли быть объективными (инструментальными) и субъективными (органолептическими), но ПАРАДИГМОЙ измерений являлось утверждение: РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ДОЛЖНЫ БЫТЬ ОБЪЕКТИВНЫМИ. Это достигалось с помощью обеспечения ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, обуславливающего сходимость результатов измерений к объективному (истинному) значению физических величин (ФВ) и воспроизводимость их в разных условиях.

Появление в 1968 г. квалитметрии показало, что за пределами применимости парадигмы измерений ФВ существует пространство измерений, в котором она неприменима. Это ноосфера¹ пространство нематериальных свойств (НМС), общих для многих объектов и явлений как материального, так и идеального (духовного) мира, но в количественном отношении индивидуальных для каждого из них. Как и ФВ, эти свойства могут проявляться в большей или меньшей степени, что предполагает возможность их измерения. В докладе излагается теория измерений НМС.

Краеугольным камнем теории является утверждение о том, что поскольку НМС существуют только в сознании людей, постольку они не могут измеряться вещественными мерами и измерительными приборами. Единственным измерительным механизмом для них является МЫШЛЕНИЕ.

¹ (От греч. νόος – разум и σφαῖρα – шар) – сфера разума по В.И. Вернадскому.

Единицей измерения НМС служит МНЕНИЕ человека. Оно субъективно и не имеет фиксированного размера. Это говорит о том, что измерения НМС выполняются на основе ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО воспроизведения единицы измерения. Такое уже было в метрологии при использовании антропометрических мер.

Из субъективности мнений не вытекает с неизбежностью субъективность результатов измерений. Это видно на примере органолептических измерений. При измерении НМС субъективным является сам размер измеряемой величины. Он не имеет объективного числового значения. Поэтому результаты измерений НМС неизбежно являются субъективными. Они не сходятся и не воспроизводятся. Требование обеспечения единства измерений НМС несостоятельно. ПАРАДИГМА измерений НМС может быть сформулирована следующим образом: ИЗМЕРЕНИЯ НМС ЯВЛЯЮТСЯ ЭКСКЛЮЗИВНЫМИ. Они выходят за рамки применимости ФЗ «Об обеспечении единства измерений», но не из правового поля законодательной метрологии, в которое входит Конституция РФ. Пункт 3 статьи 29 этого закона гласит: «Никто не может быть принужден к выражению своих мнений и убеждений или отказу от них». Аналогичная норма содержится и в Международном праве: «Каждый человек имеет право на свободу убеждений и на свободное выражение их...» ст. 19 Всеобщей декларации прав человека, принятой Генеральной Ассамблеей ООН 10.12.1948 г.

PARADIGMS OF MEASUREMENTS

Shishkin I.F.

D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM)

nikhsihs@ipa-spb.com

Over the years the term of measurement was limited to "Determining the value of a physical quantity by tests with the help of special technical means". The physical quantity was believed to mean "a property that is common to many physical objects (physical systems, their states and processes occurring within them), but quantitatively individual for each object." Thus it was naturally assumed that the objects themselves, along with their properties, belonged to the material world. Measurements could be objective (instrumental) and subjective (organoleptic), but the PARADIGM of measurements was defined by the following statement: MEASUREMENTS RESULTS SHOULD BE OBJECTIVE. This was achieved by providing the UNITY OF MEASUREMENTS, which determines the convergence of the measurement results to the objective (true) value of physical quantities (PhQ) and their reproducibility under different conditions.

Following the appearance of qualimetry in 1968 it was discovered that beyond the scope of the PhQ measurement paradigm there was a measurement space in which it was inapplicable. This is the noosphere ¹ the space of non-material properties (NMP) common to many objects and phenomena of both the material and the ideal (spiritual) world, but quantitatively individual for each of them. Like PhQ, these properties can manifest themselves to a greater or a lesser extent, which suggests the possibility of measuring them. The report describes the theory of NMP measurements.

The cornerstone of the theory is the statement that since NMPs exist only in the minds of people, they can not be measured by material means and measuring devices. The only measuring mechanism for them appears to be THINKING

The unit of the NMP measurement is some person's OPINION. It is subjective and does not have a fixed size. This suggests that the NMP measurements shall be performed on the basis of a DECENTRALIZED unit of measurement. This has already occurred in metrology whith *anthropometric* measures.

The subjective opinions do not entail subjective measurement results. This is evident from the example of organoleptic measurements. When measuring NMPs, the size of the measured quantity is subjective itself. It does not have an objective numerical value. Therefore, the results of the NMP measurements are subjective inevitably. They do not converge and do not reproduce. The requirement to ensure the unity of the NMP measurements is untenable. The NMP measurements PARADIGM can be formulated as follows: MEASUREMENTS OF THE NMP ARE EXCLUSIVE. They are beyond the scope of the Federal Law "On ensuring the unity of measurements", while being in compliance with the legal field of legal metrology, which includes the Constitution of the Russian Federation. Paragraph 3 of Article 29 of this law states: "No one shall be compelled to express his opinions or convictions or to renounce them." A similar norm is also contained in the International Law: "Everyone has the right to freedom of opinion and expression." art. 19 of the Universal Declaration of Human Rights, adopted by the UN General Assembly on 10/12/1948.

¹(from the Greek: νόος - originally meaning mind and σφαῖρα - ball) - the sphere of mind suggested by Vernadsky V.I.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ НА ФРАКТАЛЬНОЙ ОСНОВЕ

Литвинов Б.Я., Окрепилов М.В.
ФГУП «ВНИИМ им.Д.И. Менделеева»
sztul@mail.ru

Развитие системы обеспечения единства измерений (СОЕИ) неразрывно связано с необходимостью оптимизации структуры СОЕИ при обеспечении требуемой точности во всех видах и областях измерений. Одним из основных препятствующих факторов на пути достижения необходимого уровня оптимизации является постоянно возникающая необходимость измерения новых величин при изменяющихся требованиях к точности. Как правило, требования к точности для общепринятых, «стандартных» условий измерения и калибровки имеют тенденцию к росту. К этой основной тенденции добавляется возникающее разнообразие режимов и условий, при которых необходимо обеспечивать единство измерений. Структура СОЕИ, опирающаяся на традиционные проверочные схемы, перестает соответствовать новым тенденциям развития метрологии, которые включают интеллектуализацию средств измерений, повышение роли методологической основы.

Иногда при рассмотрении перспектив развития СОЕИ применяют термин «децентрализация СОЕИ». Учитывая, что полной децентрализации (как и полной централизации) по отношению к СОЕИ быть не может, представляет интерес развитие подходов, получивших название фрактальных. Понятие фрактала давно вышло за рамки геометрических фигур и используется в разных видах экономической деятельности. Фракталы обладают свойством самоподобия, т.е. они более или менее единообразно устроены в широком диапазоне масштабов. Свойство самоподобия позволяет проявляться таким признакам фрактала, как жизнеспособность и динамика. При этом можно говорить о моделях, позволяющих с большой долей оптимальности сочетать проблемы стандартного и уникального (единичного), уровней централизации и децентрализации. По отношению к метрологической деятельности фрактальный подход в первую очередь применим при развитии СОЕИ и будет способствовать решению новых задач метрологии в 21 веке.

ENSURING UNIFORMITY OF MEASUREMENTS ON FRACTAL BASIS

Litvinov B.Ya., Okrepilov M.V.

D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM)
sztul@mail.ru

The development of a system for ensuring the uniformity of measurements (SEUM) is inextricably linked with the need to optimize the structure of the SEUM while ensuring the required accuracy in all types and areas of measurement. One of the main obstacles in achieving a necessary level of optimization is the constantly emerging need to measure new values with varying accuracy requirements. As a rule, there is an increasing trend towards accuracy requirements for conventional measurement and calibration conditions. Emerging diversity of regimes and conditions under which it is necessary to ensure the uniformity of measurements is added to this basic trend. The structure of SEUM, based on traditional verification schemes, ceases to correspond to new trends in the development of metrology, which include intellectualization of measuring instruments, and a growing role of methodological basis.

Sometimes, when considering the prospects for the development of SEUM, the term "decentralization of the SEUM" is used. Taking into account that full decentralization (as well as complete centralization) in relation to SEUM cannot exist, it is interesting to see developments of approaches that have been called fractal. The concept of a fractal has long gone beyond the limits of geometric shapes and is used in different types of economic activity. Fractals have the property of self-similarity, i.e. they are more or less uniformly arranged over a wide range of scales. The property of self-similarity makes it possible to manifest such characteristics of a fractal as vitality and dynamics. At the same time, we can talk about models that allow combining problems of standard and unique (single), centralization and decentralization levels with a high degree of optimality. In relation to metrology, the fractal method, first of all, will be applicable to the development of SEUM and will help to solve new problems of metrology in the 21st century.

МЕТРОЛОГИЯ КИБЕР-ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ: КОРРЕКТНОСТЬ ВОСПРИЯТИЯ И АНАЛИЗА ОБЪЕКТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Шкодырев В.П.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
Институт компьютерных наук и технологий
Высшая школа киберфизических систем и управления
shkodyrev@mail.ru*

Рассматривается проблема корректности восприятия объективной информации, получаемой от сенсоров, для управления сложными техническими системами, основанными на знаниях. Проблема исследуется с позиции разрешения противоречия между требованием корректности получения объективной измерительной информации и нечеткостью когнитивных образов и моделей знаний, которыми оперирует интеллектуальная система управления. Задача анализируется применительно к исследованию поведенческих моделей, реализуемых интеллектуальными мобильными роботами, действующих в условиях неопределенности внешней среды и непредсказуемых сценариев группового взаимодействия.

Литература

1. Интеллектуальные системы автоматического управления / Под ред.

И.М. Макарова, В.М. Лохина, М. Физматгиз, 2001.

2. Арсеньев Д.Г., Шкодырев В.П. Интеллектуальные системы ситуационного управления рисками в морских транспортных системах Управление в морских и аэрокосмических системах (УМАС-2014) 7-я российская мультиконференция по проблемам управления: материалы конференции. ГНЦ РФ ОАО "Концерн "ЦНИИ "Электроприбор". 2014

3. Неопределенность измерения. Часть 3: Руководству по выражению неопределенности и измерений" МЭК/ИСО «ISO/IEC Guide 98-1:2009», Стандартиформ, М. 2012

4. NSF Cyber-Physical Systems Summit". Retrieved 2008-08-01.

5. Dietmar P.F. Moller. Guide to Computing Fundamentals in Cyber-Physical Systems: Concepts, Design Methods, and Applications [Book] - Switzerland: Springer International Publishing, 2016.

6. V. Shkodyrev Technical Systems Control: From Mechatronics to Cyber-Physical Systems. In "Smart Electromechanical Systems", ser. Studies in Systems, Decision and Control, vol.49, Springer, 2016.

7. 3. O. Oleskiv, I. Mykytyn, Metrological verification of Cyber-Physical Systems, Elektrotehnika 34, RUTJEE, z. 34 (3), 2015/

8. Cyber-Physical Systems: Metrological Issues. Ed: S. Yatsyshyn and B. Stadnyk IFSA Publishing, 2016.

METROLOGY OF CYBER-PHYSICAL SYSTEMS: CORRECTNESS OF OBJECTIVE INFORMATION PERCEPTION AND ANALYSIS IN INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS

Shkodyrev V.P.

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University

Institute of computer science and technology

High school of cyber-physical systems and control

shkodyrev@mail.ru

In the work there is considered an issue of correctness of objective perception of sensors-provided information for needs of control of complex knowledge-based technical systems. The problem is explored from the point of view of resolution of the conflict between the need for the correctness of objective measurement information perception and fuzziness of cognitive images and knowledge models which are used by smart control system. The task is analysed in application to the research of behaviour model of smart mobile robots working in conditions of environment uncertainty and unpredictable scenarios of group interaction.

Literature

1. Интеллектуальные системы автоматического управления / Под ред. И.М. Макарова, В.М. Лохина, М: Физматгиз, 2001.

2. Арсеньев Д.Г., Шкодырев В.П. Интеллектуальные системы ситуационного управления рисками в морских транспортных системах Управление в морских и аэрокосмических системах (УМАС-2014) 7-я российская мультиконференция по проблемам управления: материалы конференции. ГНЦ РФ ОАО "Концерн "ЦНИИ "Электроприбор". 2014.

3. Неопределенность измерения. Часть 3: Руководству по выражению неопределенности и измерений" МЭК/ИСО «ISO/IEC Guide 98-1:2009», Стандартиформ, М: 2012.

4. NSF Cyber-Physical Systems Summit". Retrieved 2008-08-01.
5. Dietmar P.F. Moller. Guide to Computing Fundamentals in Cyber-Physical Systems: Concepts, Design Methods, and Applications [Book] - Switzerland: Springer International Publishing, 2016.
6. V.Shkodyrev Technical Systems Control: From Mechatronics to Cyber-Physical Systems. In "Smart Electromechanical Systems", ser. Studies in Systems, Decision and Control, vol.49, Springer, 2016.
7. O. Oleskiv, I. Mykytyn, Metrological verification of Cyber-Physical Systems, Elektrotehnika 34, RUTJEE, z. 34 (3), 2015/
8. Cyber-Physical Systems: Metrological Issues. Ed: S. Yatsyshyn and B. Stadnyk IFSA Publishing, 2016.

УПРАВЛЕНИЕ СПРОСОМ НА ВОДУ НА ОСНОВЕ ИОТ И АНАЛИТИКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

Ш.Е. Хуссейн^{1,2}, М. Закария³, А.А.Е. Нассер³

¹ *Кафедра компьютерных технологий и систем управления, Университет Мансура, Египет*

² *ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», Санкт-Петербург, Россия*

³ *Факультет компьютеров и информации, Университет Мансура, Египет
sherif_hussein@mans.edu.eg*

Исследования в области управления водными ресурсами набирают популярность среди многих стран из-за дефицита водных ресурсов. Эта проблема стала более сложной со временем и в связи с увеличением населения. Поскольку интеллектуальные счетчики широко используются, огромное количество полезных данных, называемых большими данными, генерируется и хранится в облаке с помощью устройств «Интернет Вещей» (IoT). Эти устройства могут взаимодействовать друг с другом и с данными, генерируемыми в сети Интернет.

Таким образом, существует потребность в интеллектуальной системе, которая осуществляет сбор и аналитику больших данных и микромасштабное моделирование для применения различных стратегий, основанных на учете спроса и предложения. Предлагаемая система состоит из четырех модулей, первый из которых связан с устройствами IoT, которые включают интеллектуальные датчики воды, интеллектуальные клапаны, а также устройства сбора данных и управления. Второй модуль предназначен для моделирования потребления воды с использованием искусственных нейронных сетей с параметрами, которые постоянно адаптируют свои значения, в то время как третий модуль отвечает за управление данными с помощью Nadoop. Наконец, четвертый модуль использует различные умные стратегии для прогнозирования и управления спросом и предложением воды с использованием адаптивных моделей и аналитики больших данных.

Вся система была протестирована с использованием автономных данных для оценки ее надежности и эффективности работы. На этапе моделирования удалось сохранить среднеквадратическую погрешность менее 10% для всех микромасштабных моделей потребления воды. При этом с помощью предлагаемой стратегии управления водоснабжением удалось добиться снижения потребления воды на 6%.

WATER DEMAND MANAGEMENT BASED ON IOT AND BIG DATA ANALYTICS

Sherif E. Hussein^{1,2}, Magdy Zakaria³, and Ahmed Abd El Nasser³

¹ *Computer Engineering and Control Systems Department, Mansoura University, Egypt*

² *D.I.Mendeleev Institute for Metrology, Saint Petersburg, Russia*

³ *Faculty of Computers and Information, Mansoura University, Egypt*

sherif_hussein@mans.edu.eg

Water management research is gaining popularity among many countries due to the scarcity of water resources. That problem has become more complex with the time and with the increase in population. As smart meters are widely adopted, a vast amount of useful data termed as Big data is generated and stored in the cloud using Internet of Things (IoT) devices. Those devices can interact with each other and with the data generated over the Internet.

Therefore, there is a need for a smart system which comprises data collection, big data analytics, and micro-scale modeling for implementation of different strategies based on statistical records for supply and demand.

The proposed system comprises four modules, of which the first one is linked to IoT devices, namely, smart water sensors, smart valves, and data collection and control devices. The second module models water consumption using Artificial Neural Networks (ANNs) with parameters that continually adapt their values, while the third module is responsible for data management with Hadoop. Finally, the fourth module uses different smart strategies to forecast and control the water demand and supply using the adaptive models and Big data analytics.

The complete system was then tested with offline data for performance and reliability assessment. At this, Root Mean Square Error (RMSE) was successfully kept below 10% for all the micro-scale models of water consumption.

The water supply management strategy proposed by the system succeeded to achieve a decrease in water consumption by about 6%.

НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДХОД К ИЗМЕРЕНИЯМ В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Г.Ф. Малыгина

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

malykhina@icc.spbstu.ru,

В технических и в медицинских приложениях часто возникает задача определения характеристик объекта по результатам измерения выходных параметров с помощью системы датчиков, которые косвенно связаны с параметрами, характеризующими текущее состояние контролируемого объекта. К такому типу относятся задачи автоматического контроля и технического диагностирования, например, косвенное измерение тяги газотурбинного двигателя; задачи медицинской диагностики, например, измерение содержания глюкозы в крови человека по данным многоканального контроля параметров кожно-мышечной проводимости; задачи управления двигателем космического аппарата, спускаемого на поверхность планеты в условиях неопределенности состава грунта.

Моделью объекта измерения в обоих случаях является нелинейная динамическая система, которая характеризуется множеством параметров и может быть сформулирована в терминах пространства состояний. Однако при разработке измерительной системы, предназначенной для медицинских целей, не всегда имеются полная информация и точные знания об объекте измерения. Это связано со

следующими причинами:

- отсутствием исчерпывающих знаний об объекте измерения, позволяющих построить адекватную модель, объединяющую контролируемый объект и систему измерений параметров, косвенно связанных с параметрами состояния объекта, подлежащими оценке;
- наличием некоторых знаний об объекте, в основе которых находится неполная модель, включающая только часть известных исследователю параметров, характеризующих состояние объекта;
- отсутствием необходимых датчиков для измерения части параметров, характеризующих состояние объекта измерения;
- невозможностью использовать достаточное множество датчиков в измерительной системе, если она предназначена для повседневного использования или массового внедрения.

В этих случаях можно говорить об измерениях в условиях неполного знания контролируемого объекта, или в (терминах модели пространства состояний [1]) – об измерениях, основанных на неполном векторе параметров состояния объекта как динамической системы.

Отсутствие полной информации об условиях измерения, выполняемых в целях исследования новых пространств, например, в космических полетах. В процессе проектирования измерительная система может быть разработана с использованием математической имитационной модели, проверена с помощью стендовых испытаний в земных условиях, но не может учесть все неопределенности условий другой планеты. В частности, фотонная система измерения параметров движения спускаемого аппарата на поверхность Луны сталкивается с неопределенностью состава грунта, сил гравитации, радиационной обстановки, наличия пыли.

В этом можно учитывать способность к обучению по данным имитационного эксперимента или по данным эксперимента, проводимого в земных условиях, также как способность дополнительной адаптации алгоритма к реальным условиям в процессе работы в условиях спуска на поверхность планеты.

Таким образом, модель измеряемого объекта, включенная в процесс измерения, представляет собой нелинейную динамическую систему дискретного времени, описанную в терминах пространства состояний.

Литература

1. Haykin, Simon. *Neural networks and learning machines* / Simon Haykin.—3rd ed. Prentice Hall. 2009, 938 pp.

NEURO-NETWORK APPROACH TO MEASUREMENTS UNDER CONDITION OF INCOMPLETE INFORMATION

G.F. Malykhina

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

malykhina@icc.spbstu.ru,

The problem of indirect measurements of the output parameters using a system of sensors that are indirectly related to the parameters characterizing the current state of the measurable object often arises in technical and medical applications. The problem arises in the field of automatic control and technical diagnosis, during indirect measurement of the thrust of a gas-turbine engine for example. The next problem concerns medical diagnostics, for example, noninvasive measurement of blood glucose using multichannel monitoring on

the base of direct measurement of skin-muscular conduction. The problem of spacecraft descending module control arises during approach to the lunar surface under conditions of uncertainty of the underlying surface soil composition.

The model of the measurable object in both cases is a nonlinear dynamic system that is characterized by a set of parameters and can be formulated in terms of the space-of-states model. However, during developing a measuring system intended for medical purposes, the complete information and exhausting knowledge of the measurable object are not always available. This is due to the following reasons:

- absence of exhaustive knowledge about the measurable object, which would otherwise allow for an adequate model involving properties of the measured object and the system measuring the parameters indirectly related to the object state parameters to be evaluated;
- presence of some knowledge about the object, which is based on an incomplete model, involving only a part of the parameters that characterize the state of the object known to the researcher;
- a lack of the necessary sensors to measure a part of the parameters characterizing the state of the measurable object;
- an inability to use a sufficient number of sensors in the measuring system, if it is intended for daily use or mass deployment.

In these cases, one can talk about measurements under conditions of incomplete knowledge of the controlled object, or in terms of the model of the space-of-states [1] - about measurements based on the incomplete vector of the state parameters of the object as a dynamic system.

Absence of complete information about the conditions for measurements carried out, for example, while exploring new locations during a space flight. A measuring system might have been designed on a mathematical imitational model, checked on a trial run on Earth, but it is impossible to predict and consider all the unexpected features of a different planet. For instance, a photon control system for parameters of a moon landing module will face a lack of information about the composition and qualities of the ground, gravity, radiation, and dust.

In such conditions of uncertainty it is necessary to take into account the ability of the measurement algorithm to learn from the data of the imitation experiments, as well as the ability of the algorithm to adapt to actual conditions of descent to the surface of a planet.

Thus, the model of the measured object, included in the measurement process, is a nonlinear dynamic system of discrete time, described in terms of the space-of-states.

References

1. Haykin, Simon. Neural networks and learning machines / Simon Haykin.—3rd ed. Prentice Hall. 2009, 938 pp.

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОЦЕНИВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МОДЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Соколов Б.В., Юсупов Р.М.

ФГБУН «Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук» (СПИИРАН)

sokolov_boris@inbox.ru

В современных условиях математическое моделирование является универсальным инструментом познания, исследования и проектирования объектов в различных предметных областях. К настоящему времени теория, методы и технологии создания, использования математических моделей развиты достаточно хорошо. Исследования в этой области продолжаются с неослабевающей интенсивностью,

охватывая всё новые и новые классы моделей и предметные области. Однако в современных условиях, к сожалению, практически остаётся неисследованной проблема многокритериального оценивания качества математических моделей, анализа и упорядочения различных классов моделей, обоснованного выбора моделей для решения конкретных прикладных задач. Актуальность данной проблемы в ещё большей степени усиливается в том случае, когда исследуемый объект описывается не одной моделью, а полимодельным комплексом, в состав которого могут входить разнородные и комбинированные модели (например, аналитико-имитационные, логико-алгебраические и т.п.).

Перечисленные вопросы являются основными объектами рассмотрения в докладе, где будут представлены результаты исследований разрабатываемой авторами новой прикладной теории: квалиметрии математических моделей и полимодельных комплексов. Формирование данной теории предполагает проведение комплексных исследований по следующим основным направлениям:

1. Разработка основных понятий, принципов, подходов, используемых в квалиметрии семиотических моделей (полимодельных комплексов (ПК)).
2. Построение иерархии концептуальных моделей развивающихся ситуаций, участниками которых являются субъекты и объекты моделирования, а также собственно разрабатываемые (используемые) модели).
3. Классификация и систематизация семиотических моделей (ПК), установление взаимосвязей и соответствия между различными видами и родами семиотических моделей.
4. Классификация и выбор системы показателей, оценивающих качество знаковых моделей и полимодельных комплексов.
5. Разработка комбинированных методов оценивания значений показателей качества семиотических моделей (полимодельных комплексов), заданных с использованием числовых и нечисловых (номинальных, порядковых) шкал.
6. Разработка методов и алгоритмов решения задач многокритериального анализа, упорядочения и выбора семиотических моделей (ПК), управления качеством семиотических моделей.
7. Объектно-ориентированная спецификация программного продукта в соответствии с ранее разработанной концептуальной моделью развивающихся ситуаций.
8. Разработка прототипа программного обеспечения решения задач оценивания и управления качеством семиотических моделей (ПК) для конкретной предметной области.

Разрабатываемая квалиметрия моделей играет важную роль в решении современных проблем теории измерений. Это касается, прежде всего, разработки системы моделей, позволяющей современным и перспективным киберфизическим системам (КФС) осуществлять метрологический самоконтроль. Для этого, в них должны быть реализованы механизмы обоснованного выбора соответствующих моделей проведения измерений и оценивания их качества. В докладе результаты разрабатываемой теории будут проиллюстрированы на примере решения задачи ситуационного выбора моделей диагностики состояний КФС.

COMPLEX OBJECTS MODELS' QUALITY ESTIMATION AND CONTROL METHODS AND ALGORITHMS

B.V. Sokolov, R.M. Yusupov

Federal state budgetary institution of Science of St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS)

sokolov_boris@inbox.ru

Presently, the theory, methods and techniques concerning application of mathematical models are widely used. However, such problems as that of multi-criteria models' quality estimation, a problem of analysis and arrangement of models classes, a problem of justified selection of applied task-oriented models are not well investigated yet. The importance of the considered problems increases when the complex object of research is not described via a single model, but via a multiple-model complex, consisting of models related to different classes or combined models. Aforementioned problems are the primary objects of the theory of mathematical models' and multiple-model complexes' quality control to be developed.

In our opinion, the proposed research theory includes the following main directions of work.

1. Elaboration of the basic definitions, principles, and approaches used in the information fusion models' and multiple-model complexes' qualimetry.
2. Development of the hierarchy of conceptual models of evolving situations, when participants are the objects, the subjects of modelling, and the models being elaborated (used).
3. Classification and systematization of information fusion models and multiple-model complexes, determination of the interconnections and mutual associations of different types and kinds of information fusion models.
4. Classification and selection of the system of the parameters estimating the quality of the information fusion models and multiple-model complexes.
5. Elaboration of the combined methods for estimation of quality parameters that are presented by digital and non-digital scales in the information fusion models and multiple-model complexes.
6. Elaboration of the methods and algorithms for solving the problem of multi-criteria analysis, arrangement and selection of information fusion models and multiple-model complexes, and quality control of information fusion models.
7. Development of object-oriented specification of software tools according to the developed model of evolving situations.
8. Development of the computer software prototype for solving the problems of estimation and quality control of information fusion models and multiple-model complexes based on direct problem of performance efficiency estimation for CO.

Now, models qualimetry plays an important role in modern theory of measuring. First of all, this is connected with systems of models, which are cyber-physical systems allowed to implement self-control metrological procedures. Algorithms should be realized for a grounded choice of relevant models of making measurements and estimating their quality. In the paper, we'll illustrate advantages of the proposed theory for task of situational choice of cyber-physical systems diagnostics models.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ КАК АКТУАЛЬНАЯ ЗАДАЧА МЕТРОЛОГИИ

К.В. Сапожникова¹, Р.Е. Тайманов¹, Ю.В. Бакшеева²

¹ *ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»*

² *Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения*
k.v.s@vniim.ru

В развитии систем управления в биологии и технике есть общие закономерности. В процессе эволюции животные приобретали способность прогнозировать изменение условий существования и ослаблять ожидаемые последствия нежелательных воздействий для популяции. Пример – суточные и сезонные изменения жизнедеятельности.

В течение истории человечества потребность в прогнозировании возростала, ее сфера и горизонт расширились. Появилась необходимость диагностировать состояние и динамику процессов износа компонентов искусственных систем для предупреждения аварий и производственного брака; исследовать нежелательные изменения в физиологических системах; анализировать закономерности развития общества.

Четвертая промышленная революция с Интернетом вещей, киберфизическими системами, распространением роботов и ростом социальных проблем ставит перед метрологией новые задачи. Массовое использование измерительных систем/средств измерений (СИ) в структурах автоматического управления различными объектами приведет к росту техногенных катастроф, если не будет обеспечена достоверность измерительной информации в течение прогнозируемого достаточно длительного интервала времени.

Традиционные методы метрологического обслуживания экономически неэффективны. Согласно недавним исследованиям через два-три года после калибровки у (10-15) % СИ погрешность превышает допуск, а срок, экономически оправдывающий их замену, в зависимости от применения – 10-60 лет.

Выход – контроль исправности СИ с анализом динамики составляющих погрешности и, желательна, коррекцией доминирующей. Этот процесс включает следующие этапы:

- определение основных причин опасных изменений;
- анализ и прогнозирование роста опасных изменений;
- анализ имеющейся избыточности или избыточности, которая может быть введена искусственно, для того, чтобы измерить величину, характеризующую уровень опасных изменений;
- выявление возможности уменьшить проявления опасных изменений;
- разработка алгоритма управления объектом, ослабляющего опасность.

Автоматический контроль такого типа в СИ именуется в России метрологическим самоконтролем.

Во ВНИИМ накоплен опыт организации метрологического самоконтроля в СИ, предназначенных для измерения перемещения, давления, температуры, уровня, расхода, силы и других величин. Разработаны и вступили в силу три ГОСТ, облегчающие применение самоконтроля. Трудности внедрения отчасти объясняются законом Куна - сопротивлением специалистов ожидаемым последствиям смены парадигмы метрологического обеспечения. Однако количество публикаций по этой проблеме нарастает; СИ с метрологическим самоконтролем разрабатываются в России, США, Великобритании, Германии, Китае.

Рассмотренные выше этапы организации контроля «исправности» необходимы

также при анализе нетехнических, например, физиологических систем, в целях выявления и лечения заболеваний (в том числе, по динамике изменения состояния системы на начальной стадии заболевания). В частности, поиск избыточной (не использовавшейся ранее), измерительной информации, причем выявляемой неинвазивно и оперативно, стал характерной чертой медицины 21 века.

Разрабатываются методы измерения многопараметрических величин, характеризующих здоровье, по мимике лица, пластике движений, кардиограммам, электро- и магнитоэнцефалограммам.

Накопленный во ВНИИМ опыт может использоваться для диагностики и контроля эффективности лечения ряда болезней. В развитие работ по измерению ожидаемых эмоций при восприятии музыки, начаты инициативные исследования, направленные на измерение тех особенностей в звучании голоса, которые количественно характеризуют отклонения в развитии психики. Основой является разработанная модель «механизма» формирования эмоций. Приведены примеры.

SYSTEM STATE FORECASTING AS TOPICAL METROLOGY TASK

K. Sapozhnikova¹, R. Taymanov¹, Iu. Baksheeva²

¹*D.I. Mendeleev Institute for Metrology*

²*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation*

k.v.s@vniim.ru

Biological evolution and development of control systems share some common patterns. In the course of evolution, animals acquired the ability to forecast changes in environment, and alleviate the anticipated consequences of their undesirable impacts on population. The variation of life processes depending on time of day, or season can be considered as examples. In the course of human history, the need for forecasting has constantly been increasing while its sphere and horizon have been expanding.

A necessity has appeared to:

- diagnose the state and wear dynamics of artificial system components in order to prevent accidents and manufacturing defects.
- investigate undesirable changes in physiological systems;
- analyse economical patterns of social development.

The fourth industrial revolution characterized by the Internet of Things, cyber-physical systems, arrival of robots, and aggravation of social problems poses new challenges to metrology. Mass use of multichannel measuring systems/measuring instruments (MIs) in automatic systems that control various objects will entail the increase in the number of technological disasters, if measurement information reliability is not provided for.

Conventional methods of metrological maintenance are economically inefficient. According to a recent research, two-three years after calibration, in 10-15 % of all MIs, errors exceed a permissible limit. And a time of service, that can economically justify their replacement is 10-60 years depending on application.

A solution is to check the MI “health” analysing the dynamics of error components with the correction for the dominant error components if possible. The stages involved in this process are:

- identification of main causes of dangerous changes;
- analysis and forecast of the amount of these changes;
- analysis of the available redundancy or redundancy that can be introduced artificially to measure a particular quantity characterizing the level of the dangerous changes;
- search for an opportunity to diminish manifestations of the dangerous changes;

- development of an object control algorithm to mitigate the danger.

An automatic check of such type in MIs is called “metrological self-check” in Russia.

VNIIM specialists have accumulated significant experience in organizing the metrological self-check in instruments and systems which measure displacement, pressure, temperature, level, flow, force, and other quantities. Three state standards, which facilitate self-check application, were developed and came into force. Difficulties introduction can be partly explained by Kuhn's law: experts' resistance to expected consequences of the shift to a different metrological maintenance paradigm. However, the number of publications on this problem is increasing. MIs with the metrological self-check or its analogues have been developed in Russia, USA, United Kingdom, Germany, and China.

The stages of the organization for health-state checks are also necessary for analysing non-technical, e.g., physiological systems, in order to prevent and treat diseases.

In particular, a search for redundant measurement information, which had not been used earlier, and can be obtained noninvasively and rapidly, has become a characteristic feature of medicine in the 21st century. Measurement methods that enable measurement of multidimensional quantities characterizing health on the basis of facial expression, gestures, cardiograms, electro- and magnetoencephalograms, are under development.

The experience accumulated at the VNIIM can be applied to diagnosing and checking treatment efficiency of a number of diseases. To enhance works on measurements of expected emotions caused by music, proactive investigations have been started that are aimed at measuring the very features of voice sounding that can quantitatively characterize psyche development deviations. The basis is a developed model of emotion formation “mechanism”. Examples are given.

ВВЕДЕНИЕ В ОБРАБОТКУ СИГНАЛОВ PRISM

Манус П. Генри

Университет Оксфорда

manus.henry@eng.ox.ac.uk

Интернет вещей, Internet of Things (IoT) [1], и Индустрия 4.0, Industrie 4.0 [2], предполагают значительное расширение областей размещения датчиков в разнообразных средах. Проблемы существенны: локальные вычислительные возможности должны эффективно и гибко использоваться как для выполнения текущих метрологических задач, так и для изменения алгоритмов конфигурации/реконструирования обработки потока сигналов в связи с изменением требований к мониторингу с течением времени

В настоящей статье представляется Prism - новый тип блока обработки сигналов - как вклад в решение задач метрологии XXI века. Prism действует как в полной мере рекуррентный КИХ-фильтр со сдвоенным выходом: вычислительная нагрузка низкая и не зависит от протяженности окна данных. Конструкция Prism простейшая, так что сети Prism могут быть собраны для выполнения широкого круга метрологических задач, как во время разработки, так и автономно, в режиме реального времени. Блоки Prism при обработке частоты, фазы и/или амплитуды синусоиды работают близко к нижней границе неравенства Крамера-Рао, (CRLB) для отношения сигнал/шум, SNR, до 0 дБ.

Обработка сигнала Prism использована при разработке преобразователя массового Кориолисова расходомера следующего поколения, что привело к существенному улучшению измерительных возможностей. В то время как существующие промышленные технологии обычно реализуют измерения, как правило, на частоте до 100 Гц, новый прототип обеспечивает обновления на частоте 48 кГц и

может дополнительно управлять и контролировать расходомерную трубку одновременно в двух режимах вибрации, обеспечивая независимые измерения массового расхода и плотности (оба параметра на частоте до 48 кГц). Возможность двойного режима Кориолиса применяется для валидации измерений, при проектировании расходомерных трубок и при многофазном потоке. Структуры нового метода Prism генерируются в реальном времени для обеспечения оптимального отслеживания измерений, поскольку частота колебаний изменяется во времени. Для контроля впрыска дизельного топлива в испытательном автомобильном двигателе был применен быстрый динамический отклик нового преобразователя: расход в импульсе продолжительностью 1 мс можно отслеживать при частоте вращения двигателя 1000 об/мин.

Литература

1. L.D. Xu, W. He, and S.L. Wang, IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2014. Vol. 10, issue 4. p. 2233–2243.
2. B. Vogel-Heuser, D. Hess. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. 2016. Vol 14, issue 2.

AN INTRODUCTION TO PRISM SIGNAL PROCESSING

Manus P. Henry

University of Oxford

manus.henry@eng.ox.ac.uk

The Internet of Things (IoT) [1] and Industrie 4.0 [2] propose substantial increases in the deployment of sensors into a diverse range of environments. The challenges are considerable: local computational power must be efficiently and flexibly deployed both to perform current metrological tasks and to reconfigure/redesign the signal processing flow as monitoring requirements evolve over time.

This paper introduces the Prism (precise, repeat integral, signal monitor), a new type of signal processing block, as a contribution towards to the challenges of 21st Century metrology. The Prism acts as a fully recursive, dual output, FIR filter: the computational burden is low and independent of data window length. Prism design is trivial, so that networks of Prisms can be assembled, whether at design time or autonomously in real time, to carry out a wide range of metrological tasks. Prism-based trackers for the frequency, phase and/or amplitude of a sinusoid perform close to the Cramer-Rao Lower Bound (CRLB) for SNRs down to 0 dB.

Prism signal processing has been used in the development of a next-generation Coriolis mass flow meter transmitter, resulting in substantial improvements in metering capability. Whereas the current commercial technology typically generates measurement updates typically at up to 100 Hz, the new prototype provides updates at 48 kHz, and can further control and monitor the flowtube in two modes of vibration simultaneously, thus providing independent measurements of mass flow and density (both at up to 48 kHz). The Coriolis dual mode capability has applications in measurement validation, flowtube design, and multiphase flow. New Prism structures are generated in real time to enable optimal tracking of the measurements as the frequency of oscillation varies over time. The fast dynamic response of the new transmitter has been applied to the monitoring of diesel fuel injection in an automotive test engine: short flow pulses of 1 ms duration can be tracked at engine speeds of 1000 rpm.

References

1. L.D. Xu, W. He, and S.L. Wang, IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2014. Vol. 10, issue 4. p. 2233–2243.
2. B. Vogel-Heuser, D. Hess. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. 2016. Vol 14, issue 2.

ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВРЕМЯПРОЛЕТНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ РАСХОДОМЕРОВ

Гуревич В.М.

ЗАО “Центрприбор”, Москва

raisa_gur@mail.ru

Причинами несоответствия нормированных статических и динамических характеристик времяпролетных ультразвуковых расходомеров (УЗР) при эксплуатации являются изменчивость гидродинамического коэффициента от условий монтажа и случайный характер времени распространения. Для улучшения качества динамических измерений проанализированы статистические характеристики входного и выходного сигналов УЗР, полученные на основе изучения реальных шумов, отчасти с учетом подходов, изложенных в [1]. Предложен адаптивный метод фильтрации выходного сигнала для работы в системах автоматического регулирования расхода, основанный на анализе шумовых параметров. Фильтр с перестраиваемым количеством точек скользящего среднего позволил автоматически изменять время нарастания выходного сигнала и стабилизировать работу систем за счет уменьшения пульсаций показаний и сохранения высокого быстродействия при резких перепадах потока.

После калибровки расходомера на стенде и его монтажа в трубопровод возникает необходимость осуществлять метрологический самоконтроль и коррекцию функции преобразования для сложных эксплуатационных конфигураций трубопроводов и разных режимов потока. Для этой цели модернизирован алгоритм расчета калибровочных коэффициентов для УЗР, работающих на деформированных потоках, который построен с учетом набора кривых коррекции от профиля потока по факту конкретных локальных сопротивлений, длины прямого участка, фактора закрутки, числа Рейнольдса и размера пьезоэлектрического преобразователя.

Разработан подход для увеличения межповерочного интервала за счет поверки на неподвижной среде в рабочих условиях эксплуатации. Для этой цели создан объем программной среды и проведен комплекс натурных исследований.

Проведение натурных исследований, разработка и моделирование устройств осуществлялись с использованием программной среды Matlab/Simulink.

Применение описанных инноваций в УЗР позволит расширить область применения за счет повышения точности, расширения диапазона измерений и использования в динамических режимах, а также увеличения метрологической надежности в связи с интеллектуализацией (введением метрологического самоконтроля).

Литература

1. Weber F.J., Johari H. and Durgin W.W. ASME FEDSM. 2001. вып. FEDSM2001-18038. С.85-91.

OPTIMIZATION OF CHARACTERISTICS OF TIME-OF-FLIGHT ULTRASONIC FLOW METERS

Gurevich V.M.

Closed Stock Society (ZAO) "Centrpribor", Moscow

raisa_gur@mail.ru

The reasons for the discrepancy between the normalized static and dynamic characteristics of time-of-flight ultrasonic flow meters (UFM) during operation are the variability of the hydrodynamic factor from the installation conditions and the random nature of the propagation time. To improve the ability of dynamic measurements, the statistical characteristics of the input and output signals of the UFM, obtained on the basis of real noise studies and partly taking into account the approaches described in [1], were analyzed. An adaptive method for filtering the output signal for work in automatic flow control systems based on the analysis of noise parameters was proposed. A filter with a variable number of moving average points allowed to automatically change the rise time of the output signal and stabilize the operation of the systems by reducing the pulsations of the readings and keeping a high speed in case of sudden flow changes.

After calibrating the flow meter on the stand and installing it in the pipeline, it becomes necessary to perform metrological self-checking and correction of the measurement function for complex operational configurations of pipelines and various flow regimes. For this purpose, an algorithm for calculating the calibration factors for USMs, operating on deformed flows, taking into account a set of flow profile correction curves after the installation in the given pipeline configuration, the length of the straight section, the swirl factor, Reynolds number and the size of the piezoelectric element, has been modernized.

The approach to increase the calibration interval due to calibration on a stationary medium under operating conditions was developed. For this purpose, the volume of the software environment was created, and a set of full-scale studies was conducted.

Conducting field studies, developing and modeling devices was carried out using software Matlab/Simulink.

Применение описанных инноваций в УЗР позволит расширить область применения за счет повышения точности, расширения диапазона измерений и использования в динамических режимах, а также увеличения метрологической надежности в связи с интеллектуализацией (введением метрологического самоконтроля).

The application of the described innovations in UFM will allow us to expand the application area by increasing the accuracy, expanding the measurements range and using dynamic modes, as well as improving the metrological reliability due to an increase in metrological reliability in connection with intellectualization (the introduction of metrological self check-up).

References

1. Weber F.J., Johari H. and Durgin W.W. ASME FEDSM. 2001. Paper No. FEDSM2001-18038. PP.85-91.

**ПОВЫШЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ДОСТОВЕРНОСТИ
МОНОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ
ГИДРОСТАТИЧЕСКИМИ УРОВНЕМЕРАМИ**

А.А. Калашников

Московский филиал "ЦЕНТРАТОМТЕХЭНЕРГО" АО "АТОМТЕХЭНЕРГО"
alexander_ak1987@mail.ru

В докладе рассматриваются гидростатические измерения уровня жидких сред в аспекте многопараметрических измерений. Такое нестандартное рассмотрение данного вида измерений позволило разработать новые методы по повышению метрологической достоверности промышленных гидростатических уровнемеров. Причем под метрологической достоверностью в докладе понимается не только повышение точности измерений, но и надежность ее сохранения в период эксплуатации.

На первый взгляд может показаться, что гидростатические измерения уровня жидкой среды являются простыми измерениями в промышленности. Однако, данное понимание справедливо только в идеализированном случае измерений уровня однофазной рабочей среды со стационарами теплофизическими характеристиками. В действительности, в ходе технологического процесса теплофизические характеристики среды изменяются в довольно большом диапазоне. Например, в атомной и тепловой энергетике температура изменяется от 25 °С до 370 °С, давление - от 100 кПа до 16,5 МПа; рабочей средой является двухфазная среда (вода - пар), достигающая состояния насыщения. Такие изменения приводят к сложным физико-химическим межфазовым процессам, протекающим в условиях больших массовых переносов пароводяной смеси. При этом сама граница раздела сред (пар - вода) является нечеткой как в вертикальном, так и в горизонтальном сечении, поэтому абсолютно точно выразить уровень воды мерой длины является крайне затруднительным.

При использовании гидростатических уровнемеров непосредственно определяется именно «весовая характеристика» уровня. Так, в случае типовой гидростатической схемы измерений с однокамерным уравнительным сосудом датчик измеряет разность между давлением воды и пара внутри технологической емкости и давлением воды в импульсной линии. Для последующего вычисления уровня требуется учитывать целое множество динамически меняющихся параметров рабочей среды, включая плотность воды и водяного пара, распределение температур и давлений в технологической емкости и в импульсных линиях.

Для обеспечения достоверных измерений уровня, в том числе в условиях быстрых переходных процессов, разработан алгоритм обработки измерительных сигналов гидростатических уровнемеров, который обеспечивает высокую точность коррекции показаний с учетом множества параметров рабочей среды. Методы коррекции показаний на основе разработанного алгоритма нашли применение в атомной энергетике России.

Помимо коррекции показаний алгоритм обеспечивает и выполнение on-line мониторинга для идентификации всех возможных дефектов измерительных каналов уровня, включая скрытые дефекты, которые не выявляются посредством штатных средств АСУТП или в процессе регламентных процедур технического обслуживания.

Доклад содержит описание данного алгоритма и его применение в задачах коррекции показаний и on-line мониторинга метрологической исправности измерительных каналов уровня в условиях непрерывного технологического процесса.

IMPROVEMENT IN METROLOGICAL VALIDITY OF MULTIPARAMETER MEASUREMENTS DONE BY HYDROSTATIC LEVEL SENSORS

A.A. Kalashnikov

TSENTRATOMTEKHENERGO JSC ATOMTEKHENERGO

alexander_ak1987@mail.ru

The report focuses on the hydrostatic fluid level measurements in the context of multiparameter measurements. Such a non-typical consideration of this type of measurements has allowed for new methods of improvements in metrological validity of industrial hydrostatic level sensors. And in this report, the term “metrological validity” does not only mean an increase in accuracy of measurements but also the reliability of measurements during operation.

At first glance it may seem that hydrostatic level liquid measurements are simple measurements in the industry. However, this understanding is only right in an idealized case of the level measurement of a single-phase working fluid with stationary thermal and physical characteristics. In reality, during a technological process the fluid thermal and physical characteristics are measured in a rather wide range. For example, in atomic and thermal power industries the temperature changes from 25 °C to 370 °C, pressure - from 100 kPa to 16.5 MPa; working fluid is two-phase fluid (water-steam), in the state of saturation. Such changes result in complex physical-chemical interphase processes ongoing in the conditions of big mass transfers of water-steam mixture. Meanwhile, the medium interface (steam-water) itself is indistinct in vertical, as well as in horizontal section. Therefore, it is extremely difficult to express absolutely the true water level as a measure of length.

When using hydrostatic level sensors it is the "weight property" of the level that is determined directly. Thus, in the case of a typical hydrostatic measurement scheme with a single-tank level vessel the sensor measures a difference between the water and steam pressure inside a technological vessel and the water pressure in the impulse line. For the further level calculation it's required to take into account a lot of dynamically changeable parameters of the working fluid including the density of water and water vapour and distribution of temperatures and pressures in the technological vessel and in the impulse line.

To provide reliable level measurements, including in the conditions of fast transient processes, an algorithm for processing the measurement signals of hydrostatic sensors was developed which ensures a high precision in readings correction with regard to a great number of working fluid parameters. Methods for correction of readings based on the developed algorithm have been implemented in Russian nuclear power industry.

In addition to the correction of readings, the algorithm also provides on-line monitoring for corection for other possible defects of fluid level measuring channels including hidden defects that are not detected by existing facilities of control system or during routine maintenance procedures.

The report describes this algorithm and its application for the tasks of readings correction and on-line monitoring of fluid level measuring channels in the conditions of a continuous work-flow.

ПРОБЛЕМЫ МЕТРОЛОГИИ НЕРВО-ПОДОБНЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ И РАСПРЕДЕЛЕННЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

Буймистряк Г.Я.

ООО «Сенсорное приборостроение «Интел-Системы»

gy@isi.spb.ru

Аналогично эффективной биологической нервной системе, возможности построения малоразмерных распределенных волоконно-оптических и беспроводных сенсоров, встраиваемых в конструкции изделий с помощью аддитивных технологий, открывают перспективу реализации сенсорной сети неразрушающего контроля динамики температур, нагрузок и дефектов путем непрерывного измерения параметров в процессе эксплуатации объектов [1, 2].

Рассмотрены проблемы метрологического обеспечения измерительных преобразователей нерво-подобных сенсорных систем и беспроводных сенсорных сетей.

Разработанной является технология встраивания волоконно-оптических сенсоров в структуру изделий, например, из полимерно-композитных материалов (ПКМ). Диаметр оптических волокон, применяемых в композитных изделиях, не должен превышать диаметр основных армирующих волокон (порядка 10 микрон), используемых в ПКМ, чтобы исключить возникновение в нем внутренних напряжений.

Измерительные волоконные сенсорные сети и беспроводные сенсорные структуры микронного и субмикронного (нанометрового) масштаба образуют класс нерво-подобных мультисенсорных систем.

Встроенные датчики невозможно калибровать (поверить) традиционными способами в лабораториях, так как они являются неснимаемыми в течение всего срока эксплуатации объектов – несколько десятков лет.

Рассмотрены возможности интеллектуализации волоконно-оптических датчиков (ВОД), встраиваемых с помощью традиционных и аддитивных технологий в композитные, металлические и керамические структуры, в частности, путем реализации в них функции самоконтроля работоспособности и функции метрологического самоконтроля достоверности измерений в процессе эксплуатации.

Результаты разработок и исследований интеллектуальных ВОД разных типов: интерференционных, дифракционных, рефлектометрических и доплеровских доказали, что они, в силу присущей им многопараметрической природы оптического сигнала и мультимодальной чувствительности, позволяют реализовать функции диагностического и метрологического самоконтроля без введения дополнительной структурной и информационной избыточности [3].

Интеллектуальные ВОД имеют информационную избыточность – двойную зависимость изменения выходного электрического сигнала U_s как от изменения внешней измеряемой физической величины G , так и от изменения параметра внутреннего оптического сигнала λ_0 .

Структурная избыточность интеллектуальных ВОД минимальна и сводится к применению, вместо стандартных стабилизированных, стандартных перестраиваемых оптоэлектронных элементов (оптических излучателей или оптических фильтров).

Алгоритмы реализации интеллектуальных ВОД сводятся к быстрому периодическому изменению параметра оптического излучения, при условии временного постоянства измеряемой физической величины, и получении текущей калибровочной характеристики ВОД, сравнении её с хранимой в памяти микроконтроллера калибровочной характеристикой, полученной при заводской поверке ВОД, а при отличии - изменении калибровочных коэффициентов.

Метрологические аспекты ВОД с функцией метрологического самоконтроля, как средств измерения одного уровня точности рассматриваются нами с позиций экспериментального оценивания их погрешностей по методу сличения серии (более трёх) калибровочных характеристик, полученных в процессе эксплуатации интеллектуальных ВОД, с заводской калибровочной характеристикой, определения оценок систематической и случайной погрешностей ВОД, которые вводятся в качестве поправки в показания ВОД с функцией метрологического самоконтроля, при этом, значимость поправок в отсутствие эталонов, определяют по критерию Стьюдента. Таким образом, основные метрологические характеристики встраиваемых в композиты нерво-подобных интеллектуальных ВОД – среднеквадратическое отклонение и оценку систематической погрешности — можно существенно улучшить по результатам статистической обработки результатов сравнения серии текущих калибровочных характеристик измерительных преобразователей интеллектуальных волоконных сенсорных сетей и беспроводных сенсорных структур.

Литература

1. Буймистряк Г.Я., Николаев В.Н. XXI Всеросс. Конф. по неразрушающему контролю и технической диагностике. -Сборник трудов. М.: ИД «Спектр», 2017. С.326-327.
2. Буймистряк Г.Я., Базлов М.С., Сухов С.Ю. II Отрасл. Конф. по измерительной технике и метрологии для исслед. летательных аппаратов. -Материалы. ФГУП ГНЦ «ЦАГИ», г. Жуковский, 25 -25 октября 2016. С.117-124
3. Буймистряк Г.Я. Принципы построения интеллектуальных волоконно-оптических датчиков.- Фотон-Экспресс, 2011. № 6 (94), с. 83-84.

METROLOGY CHALLENGES OF NERVE-SIMILAR OPTICAL FIBER AND DISTRIBUTED WIRELESS SENSOR SYSTEMS AND NETWORKS

Buymistriuk G.Y.

The “Intel-Systems” Sensing Instruments LLC

e-mail: gy@isi.spb.ru

Similarly to an effective biological nervous system, a possibility exists to build an artificial distributed network of small-sized wireless sensors, built into the structure of a target device through additivity technologies, with the purpose of creating a sensor network for nondestructive continuous monitoring of temperature, load and defect measurements in the course of an object's exploitation [1, 2]. They are called “nerve-similar distributed measurement systems”.

The report reviews issues of metrological support of transducers incorporated in such systems and of wireless sensor networks.

There exists a technology of embedding fiber optic sensors in the structure of products from, for example, polymeric composite materials (PCM). The diameter of optical fibers used in composite products must not exceed the diameter of the main reinforcing fibers (about 10 microns) used in PCM, to prevent the internal tensions.

Fiber optic measuring sensor networks and wireless sensor structures of micron and submicron (nanometer) scale form a class of nerve-similar multisensory systems.

Embedded sensors cannot be calibrated by the methods of traditional metrology in standards laboratories, as they are not removable throughout the period of operation of objects – tens of years. The possibility of intellectualization of fiber-optic sensors (FOS) embedded with traditional and additive technologies into composite, metal and ceramic structures, are considered in the report, particularly, in terms of ensuring their functional diagnostic

possibilities, as well as metrological self-checking possibilities (for error of measurements) in the course of operation.

The results of research and development of intelligent FOS of different principles of operation: interference, diffraction, reflectometric, and Doppler, proved that they, due to inherent multi-parameter nature of optical signal and multi-modal sensitivity, allow for functions of diagnostic and metrological self-checking without the introduction of additional structural or information redundancy [3].

Information redundancy is an intrinsic feature of Intelligent FOS – the dual dependence of the electrical output signal U_s both on a change in the measured physical quantity G , and the parameter change of the internal optical signal λ_0 .

The structural redundancy of the intelligent FOS is minimal and is limited to the use of standard tunable opto-electronic elements (optical emitters and optical filters), instead of the standard stabilised ones.

The algorithms of implementation of the intelligent FOS include:

4. a rapid periodic change of the parameter of the optical radiation, provided temporal consistency of the measured physical quantity;
5. obtaining the current calibration characteristic;
6. comparing it to the one obtained during factory calibration of FOS, which is stored in the microcontroller memory,
7. changing the calibration coefficients, provided there is a difference.

Metrological aspects of FOS with the function of metrological self-checking, as a means of measuring of one accuracy characteristics, are considered from the viewpoint of experimental estimation of their errors by the method of comparing a series (more than three) of the calibration characteristics obtained in the course of exploitation of the intellectual FOS, with factory calibration characteristics, and determining the estimates for systematic and random errors of the FOS, which are introduced as corrections in the readings of the FOS with the function of metrological self-check option, while, the significance of the corrections in the absence of reference standards is determined according to Student's criterion. Thus, the basic metrological characteristics of nerve-similar intelligent FOS embedded in composites, namely the standard deviation and the estimate of the systematic error, can be significantly improved as a result of statistical processing of the comparisons of the current series of calibration characteristics of measuring transducers of intelligent fiber sensor networks and wireless sensor structures.

References

1. Buymistriuk, G. Ya., Nikolaev V. N. XXI All-Russian. Conf. for non-destructive testing and technical diagnostics.-The collection of works. M.: Publishing house “Spektr”, 2017. P. 326-327.
2. Buymistriuk, G. Ya., Bazlov M. S., Sukhov S.Yu. II Aerospace Conf. of measuring equipment and Metrology for research of aircraft. -Materials. National Science Center "TSAGI", Zhukovsky , 25 -25 October 2016. P. 117-124
3. Buymistriuk, G. Ya. Principles of an intelligent fiber-optic sensors. -Photon-Express, 2011. No. 6 (94), pp. 83-84.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С ФУНКЦИЕЙ ДООБУЧЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ

Фетисов В.С., Харисова З.И.

Уфимский государственный авиационный технический университет
fet777@rambler.ru

Интеллектуализация средств измерений – одно из магистральных направлений в современной метрологии. Особенно заметны преимущества интеллектуализации в тех системах, которые предназначены для работы в технологических потоках, где особенно важно непрерывное поддержание метрологической надежности.

В измерительной технике в последние десятилетия все большее применение находят искусственные нейронные сети (ИНС), позволяющие заменить операции вычисления градуировочных зависимостей обучением системы на примерах. Особенно полезными ИНС могут оказаться там, где часто меняется сам объект измерений, и, соответственно, необходимо повторять градуировку. Для проведения градуировочных операций (актов обучения ИНС) используется канал с образцовым средством или методом измерения, причем быстродействие этого канала может быть значительно ниже, чем у основного, поскольку он используется только для начальной градуировки, а далее только по необходимости (дообучение), когда система обнаруживает по некоторым особым признакам, что текущее состояние объекта сильно отличается от уже известных и хранящихся в памяти.

В рамках описанной концепции авторами разработана система для экспрессного поточного определения гранулометрического состава суспензий на основе видеотехнических средств и искусственной нейросети.

Под гранулометрическим составом подразумевают процентное (долевое) распределение массы или числа частиц по их размерам (диапазонам размеров) [1]. Средства такого анализа должны работать в условиях поточного производства и обладать достаточным быстродействием для обеспечения нормального управления технологическими процессами.

Предлагаемая система [2] обладает быстродействием поточного нефелометрического анализатора на основе простой измерительной камеры с зондирующим лазерным излучением и видеокamеры и, в то же время, высокой метрологической надежностью, поддерживаемой за счет подключаемого по мере необходимости объективного средства анализа. Таким объективным средством может быть, например, микроскопический анализ.

Обученная при начальной градуировке на нескольких образцовых суспензиях ИНС в процессе работы, по сути, является средством быстрого отображения вектора входных сигналов, получаемых из картин рассеяния света в измерительной камере, в вектор параметров распределения частиц по размерам. Дообучение ИНС в процессе работы способствует постепенному улучшению точностных характеристик системы и поддержанию достоверности гранулометрического анализа.

Литература

1. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. Л.: Химия. 1987. С.11.
2. Харисова З.И., Фетисов В.С. Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2017. № 2. С.50-57.

INTELLIGENT MEASURING SYSTEMS FOR ON-LINE MEASUREMENTS WITH ADDITIONAL SELF-TRAINING DURING OPERATION

Fetisov V.S., Kharisova Z.I.
Ufa State Aviation Technical University
fet777@rambler.ru

Intelligent measurement instrumentation is one of the principal trends in contemporary metrology. Its advantages are most vivid in such areas as on-line systems for industrial technologies, where continuous maintenance of metrological reliability is very important.

In recent decades, artificial neural networks (ANN) have been extensively used in measurement technologies. They allow for replacement of calculations of calibration dependancies by training an ANN on examples. ANNs may prove most useful in cases, when the object of measurement often changes its parameters, which leads to necessity of repeating calibrations.

ANNs require training, or calibrational operations through a control channel with the standard means or method of measurements. Responce time for such channel may be much longer than for the main measuring channel, as it is only used for initial calibration and further, only by necessity (additional self-training), when the system determines by some special factors that the object's condition differs significantly from the known and stored in the device memory.

So, within the described concept, the authors propose the system for rapid on-line analysis particle size-distribution in suspensions, based on the video capturing device and ANN.

Particle size distribution analysis means determination of percentage of particles quantity or mass ranged by their size, or size ranges [1]. Such analyzers must work in conditions of line-production and be rapid enough to provide proper process control.

The proposed system [2] has the operation speed equal to that of an on-line nephelometric analyzer based on simple measuring cell with laser emitter and a camera, and, at the same time, features high metrological reliability due to the reference analyzing means, which may be switched on if necessary. Microscopic analysis may be used, for example, as such analyzing means.

The ANN is trained on several standard suspension examples during the initial calibration and then, in the course of operation, serves as a unit for fast conversion of input signal arrays, obtained from the images of scattered light in the measuring cell, into arrays of particle size distribution parameters. Additional ANN self-training in the course of operation contributes to the gradual improvement in the system accuracy and maintaining the reliability of particle size analysis.

References

1. Kouzov P.A. Fundamentals of particle size analysis for industrial dust and grinded materials. 1987. P.11 (in Russian).
2. Kharisova Z.I., Fetisov V.S. Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics. 2017. № 2. P.50-57 (in Russian).

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ АВТОСОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОГРАММ ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НЕТОЧНЫХ ДАННЫХ

Окрепиллов М.В.^{1,2}, Семенов К.К.², Солопченко Г.Н.²

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии
им. Д.И. Менделеева*

² *Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
semenov.k.k@iit.icc.spbstu.ru*

Интерес к развитию метрологического сопровождения программ обработки результатов измерений был впервые проявлен сотрудниками ВНИИМ [1]. По результатам исследований был разработан документ МИ 2174-91, рекомендуемый выполнять метрологическую аттестацию алгоритмов и программ. После этого разработаны: стандарт ГОСТ Р 8.654-2015, рекомендации по метрологической аттестации программного обеспечения (ПО) МИ 2955-2010 и рекомендации по защите ПО от несанкционированного редактирования МИ 3286-2010. В настоящей работе наряду с достигнутыми результатами обсуждается целесообразность разработки и законодательного закрепления стратегии метрологического автосопровождения ПО средств измерений, а также расширения области применения функций, присущих метрологии, на программы вычислений, которые могут быть признаны средствами цифрового преобразования неточных исходных данных, например, программы моделирования, решения алгебраических, дифференциальных и интегральных уравнений и систем уравнений, поиск экстремальных значений. Основное внимание уделено оценке наследственной погрешности, порождаемой погрешностью исходных данных. Погрешность, вызванная неверной реализацией желаемого алгоритма, проверяется вычислениями по известным исходным данным.

Для реализации метрологического автосопровождения программ предлагается воспользоваться: для описания неточных исходных данных – нечеткими интервалами [2] и специальными правилами арифметических действий с ними [3], для линеаризации вычисляемых функций – средствами автоматического дифференцирования программ [4]. Для этой цели программа вычислений должна быть слегка модифицирована следующим образом [5]: производится замена типа переменных с “double” на “interval” и подключается библиотека дифференцирования используемых функций [2]. В таком случае каждый промежуточный, а также конечный результат вычислений будет получен в форме нечеткого интервала, содержащего в себе отдельную информацию о систематической и случайной погрешностях. Использование нечеткого интервала и действий с ним [3], позволяют сохранять без изменений систематическую и уменьшать случайную погрешность среднего в \sqrt{n} раз по сравнению с результатами многократных измерений. Таким образом, эта модификация программ обеспечивает автоматическое определение наследственной погрешности результатов собственными средствами этих программ [5]. Описанную процедуру мы предлагаем именовать как «метрологическое автосопровождение программ» подобно тому, как в англоязычной литературе используются термины “self-verified programs” или “self-validated programs”.

Литература

1. Тарбеев Ю.В., Челпанов И.Б., Сирая Т.Н., Кудрявцев М.Д. Измерительная техника. 1983. № 9. С. 28-29.
2. Резник Л.К. Труды ВНИИЭП «Архитектура, модели и программное обеспечение ИИС и ИВК». – Л.: 1983.
3. Семенов К.К., Солопченко Г.Н. Измерительная техника. 2011. № 4.

С. 14-19.

4. Семенов К. К. Известия вузов. Приборостроение. 2011. Т. 54. № 12.

С. 34-40.

5. Семенов К.К. Программные средства метрологического автосопровождения обработки неточных данных. Уч. пособие.– СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2017.

THE METROLOGICAL SELF-ASSURANCE OF THE SOFTWARE THAT NUMERICALLY PROCESSES THE INACCURATE DATA

Okrepilov M.V.^{1,2}, Seменов К.К.², Solopchenko G.N.²

¹ D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM), Russia

² Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia
semenov.k.k@iit.icc.spbstu.ru

The interest in the development of the methods for the metrological support of measurements processing software was firstly demonstrated by the staff of the D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM) [1]. Basing on the results of the corresponding research, the document MI 2174-91 was developed that recommended to perform metrological certification of algorithms and programs. After that, the following standards were developed: GOST R 8.654-2015, the recommendations MI 2955-2010 for the metrological software attestation and the recommendations MI 3286-2010 for the software protection against the unauthorized editing. This paper discusses the feasibility of the developing and legislation of the metrological self-assurance strategies for the measuring instruments' software along with the already obtained results, as well as the issue of extending the scope of the application of the functions inherent to metrology to computational programs that can be recognized as the means of the digital conversion of inaccurate input data, for example, mathematical modelling software, programs for solving algebraic, differential and integral equations and systems of equations, the software for searching for extreme values. The main attention is paid to the estimation of the inherited error caused by the initial data errors. The uncertainty that arises from the incorrect implementation of the desired algorithm is verified by calculations with the known input data.

For the realization of the programs metrological self-assurance, it is proposed to use: the fuzzy intervals [2] and the arithmetic operations with them [3] to describe and handle the inaccurate initial data, the means of the automatic differentiation [4] of the functions implemented by the computational programs to linearize them. For this purpose, the computational software should be slightly modified as follows [5]: the variable type should be changed from "double" to "interval" and the special library should be linked to the software source code to realize the differentiation of the used elementary functions [2]. In this case, each intermediate and final result of the calculations will be obtained in the form of the fuzzy interval that will contain separate information on the systematic and random errors. The use of the fuzzy interval and the operations with it [3] makes it possible to retain the systematic component of the error unchanged and to reduce the random component of the error of the mean value by a factor of \sqrt{n} in comparison with the results of multiple measurements. Thus, such modification of the computational software provides for the automatic determination of the inherited error of its results by these programs' own means [5]. We propose to call the procedure described above as "metrological self-assurance of programs" in the context of the already used terms "self-verified programs" or "self-validated programs".

Literature

1. Tarbeev Yu.V., Chelpanov I.B., Siraya T.N., Kudryavtsev M.D. Measurement

techniques. 1983. Vol. 26. Is. 9. P. 716-718.

2. Reznik L.K. VNIIEP Proceedings on the architecture, models and software of measuring infomational systems and measuring computational complexes. 1983. (In Russian).

3. Semenov K., Solopchenko G. Measurement techniques. 2011. Vol. 54. Is. 4. P. 378-386.

4. Semenov K. Journal of Instrument Eng. 2011. Vol. 54. Is. 12. P. 34-40. (In Russian).

5. Semenov K.K. The software for metrological self-aussrance of inaccurate data processing. St. Petersburg, 2017. (In Russian).

ВАЖНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ОПЫТА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ В 21 ВЕКЕ: ВЫЗОВ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А. Лекосье¹, К. Ча-Токи², С. Ричир²

¹ *LAMPA laboratory, Arts et Métiers Paris Tech Angers, SOURIAU ESTERLINE*
adrien.lecossier@ensam.eu

² *LAMPA laboratory, Arts et Métiers Paris Tech Angers*
katy.tcha-tokey@ensam.eu

Технологии составляют основу революции 21 века. Они все больше меняют то, как мы работаем, учимся и то, как мы определяем понятие «человек». В последнее время ученые пытаются понять и освоить технологии с помощью концепции User eXperience (UX) – «пользовательский опыт». ISO DIS 9241-210 ориентировочно определяет UX как «все аспекты пользовательского опыта при взаимодействии с продуктом, услугой, окружающей средой или объектом». Поэтому UX стал подходом, используемым во многих дисциплинах (например, HCI (взаимодействие человека и машины), эргономика, информационная архитектура, брендинг и т.д.) для улучшения продукции и услуг, с которыми будет взаимодействовать человек. Без сомнения, UX по-прежнему является важным аспектом качества продукции. Конкретным продуктом, подчеркивающим важность рассмотрения UX, является виртуальная реальность (VR) – популярная технология, которая находит применение для широкой публики. Исследования показывают, что учитывая UX, можно облегчить симптомы кибермании (например, тошноту, головокружение, дезориентацию и т.д.), поражающие пользователей VR [1]. Современные технологии сложны, модны, они стимулируют чувства пользователя, они нематериальны. Поэтому стратегия раннего исследования UX фокусируется не на инструментальных измерениях, а скорее на более целостных субъективных восприятиях, таких как гедонистические качества, аффекты и эмоции.

Таким образом, большинство методов оценки UX являются субъективными, самостоятельно разработанными или не подтвержденными статистически [2]. Существует потребность в четких эталонах для оценки UX. Нынешняя ситуация вызывает тревогу, так как действительное качество продукта не обязательно является субъективным, но при этом должно быть объективно оценено для того, чтобы его можно было сравнивать и контролировать. Согласно Международному словарю по метрологии (VIM 3), процесс измерений должен привести к получению «одного или более значений величины, которые могут быть обоснованно приписаны величине». Более того, «результаты процесса получения количественных значений характеризуются метрологической совместимостью, метрологической сопоставимостью и, при необходимости, метрологической прослеживаемостью» [3]. В настоящее время это не относится к UX. Следовательно, основная проблема, с которой UX сталкивается в контексте 21-го века, - обеспечить, чтобы новая продукция и услуги предоставляли пользователям хороший UX. Для этого исследования UX должны

определить фактические показатели «объектов измерения», является ли критерий UX гедонистическим (например, удовольствие, мотивация, удовлетворение) или инструментальным (например, производительность). Для этого необходимо, чтобы UX определялся как результат измерения.

В этой статье мы рассматриваем важность разработки новых измерительных методов, чтобы превратить UX в измеряемую величину. Мы рассматриваем несколько исследований, в которых для оценки UX предлагаются объективные методы. Мы сосредотачиваемся на нескольких существующих на сегодняшний день методиках измерения, таких как электроэнцефалографические и электромиографические отклики, которые в некоторых случаях используются для оценки объективного UX (т.е. психического состояния пользователя, мимики). Наконец, мы обращаем внимание на сложную техническую задачу, которую на сегодняшний день представляют собой измерения UX, так как технологии, позволяющие правильно оценить восприятие пользователя, еще не существуют или находятся в разработке.

Литература

1. Lin, J. J., Abi-Rached, H., & Lahav, M. (2004, April). Virtual guiding avatar: An effective procedure to reduce simulator sickness in virtual environments. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (pp. 719-726). ACM.
2. Bargas-Avila, J. a., & Hornbæk, K. (2011). Old wine in new bottles or novel challenges: A critical analysis of empirical studies of user experience. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'11), 2689–2698.
3. Sapozhnikova, K., Chunovkina, A., & Taymanov, R. (2014). “Measurement” and related concepts. Their interpretation in the VIM. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 50(1).

THE USER EXPERIENCE MEASUREMENT: A CHALLENGE OF THE TWENTY-FIRST CENTURE

Adrien Lecossier¹, Katy Tcha-Tokey², Simon Richir²

¹ LAMPA laboratory, Arts et Métiers Paris Tech Angers, SOURIAU ESTERLINE
adrien.lecossier@ensam.eu

² LAMPA laboratory, Arts et Métiers Paris Tech Angers
katy.tcha-tokey@ensam.eu

Technologies are at the heart of the 21st century revolution. They are more and more changing the way we work, learn and the way we define human. Recently, researchers have been trying to understand and master technologies through the concept of User eXperience (UX). ISO DIS 9241-210 tentatively defines UX as "all aspects of the user's experience when interacting with the product, service, environment or facility. This is why, UX has been in the last years an approach used in numerous disciplines (e.g., HCI, ergonomics, information architecture, branding, ...) to improve user-centric products or services. No doubt is made that UX is still an important dimension in product quality. A specific product that highlights the importance of considering UX is virtual reality (VR), a technology greatly in vogue that provides applications to the general public. Studies show that UX consideration can alleviate the cybersickness (e.g., nausea, vertigo, disorientation, ...) affecting users in VR [1]. Today's technologies are more complex, they are fashionable, they stimulate the user's senses, they are immaterial. Therefore, early UX research strategy, rather than focusing on instrumental measures, focuses on more holistic subjective perceptions such as hedonic qualities, affects or emotions.

The report is clear: most UX evaluation methods are subjective, self-developed or not statistically validated [2]. There is an urge for clear measurement standards for UX evaluation. The current situation is alarming since a product's intrinsic quality does not have to be subjective but has to be objectively measured in order to be easily compared and controlled. According to the International Vocabulary of Metrology (i.e., VIM 3), a measurement process should generate “*one or more quantity values that can reasonably be attributed to a quantity*”. Moreover, “*the results of the process, by which quantity values have been obtained, are characterized by the metrological compatibility, metrological comparability and, if necessary, metrological traceability*” [3]. It is currently not the case for UX. Consequently, the main challenge UX is facing in this 21st century context, is to ensure that new products and services provide good UX to users. To do so, UX research needs to define actual “objective measurement” metrics whether the UX criterion is hedonic (e.g., pleasure, motivation, satisfaction, ...) or instrumental (e.g., performances, ...). This requires UX to be defined and determined as a measurement result.

In this paper, we cover the importance of designing UX measurement methods in order to turn UX a measurand. We review several studies in which objective UX methods are proposed for UX assessment. We focus on the few measurement techniques existing today such as electroencephalographic and electromyographic responses that, in some cases, are used to assess objective UX (i.e., user mental state, facial expressions). Finally, we point out the difficult technical challenge UX measurement represent today, as, technologies to properly evaluate the user's perceptions do not exist or are still immature.

References

1. Lin, J. J., Abi-Rached, H., & Lahav, M. (2004, April). Virtual guiding avatar: An effective procedure to reduce simulator sickness in virtual environments. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (pp. 719-726). ACM.
 2. Bargas-Avila, J. a., & Hornbæk, K. (2011). Old wine in new bottles or novel challenges: A critical analysis of empirical studies of user experience. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'11), 2689–2698.
- Sapozhnikova, K., Chunovkina, A., & Taymanov, R. (2014). “Measurement” and related concepts. Their interpretation in the VIM. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 50(1).

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕГРАДУИРОВАННОЙ ГРАФИЧЕСКОЙ ШКАЛЫ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ОЦЕНОЧНОГО СТИЛЯ ЭКСПЕРТА

Николаева И.А.

Курганский государственный университет
nikolaeva-irina@yandex.ru

Точность экспертной оценки зависит от ряда факторов. В качестве наиболее сильных, влияющих на процесс оценивания, называют тип оценочной шкалы, способ представления объектов эксперту и заданный способ оценивания [4]. Это «внешние», заданные факторы.

Наиболее весомым «внутренним» фактором следует считать *оценочный стиль* эксперта. Понятие «оценочный стиль» означает устойчивые предпочтения человека к использованию тех или иных *способов оценивания* независимо от объектов оценивания [1, 2]. Например, эксперимент по оценке различных искусственных объектов (цветовые сочетания, неправильные геометрические фигуры, несуществующие слова) с помощью полярных вербальных шкал («тяжелый - легкий», «хороший - плохой» и т.д.) позволил

выделить ряд параметров оценочного стиля: *валентность, поляризация, детализация, изменчивость* [2].

Для статистической обработки подобных параметров порядковая шкала преобразуется в балльную. Баллы являются условными единицами.

Новизна нашего подхода к анализу экспертных оценок заключается в том, что мы стремимся учесть естественные (психологические) механизмы вынесения оценки [3]. Мы используем для апостериорной градуировки графической шкалы не общую условную единицу, а индивидуальную для каждого эксперта единицу измерения. Она находится как минимальное расстояние между оценками эксперта, сделанными на неградуированной графической шкале. Другой способ: мы вычисляем значение каждой оценки как соотношение интервалов, на которые эта метка разбивает биполярную шкалу. Данные приемы позволяют в полном смысле *измерить* вышеназванные параметры оценочного стиля и выделить новые параметры.

Кроме того, в экспертизе социальных объектов полезно учитывать Я-критерий. Его неосознанно используют эксперты, отождествляя себя с оцениваемыми объектами, или противопоставляя себя им. На основе Я-критерия нами выделено четыре дополнительных параметра оценочного стиля экспертов.

Литература

1. Батурин Н.А. Психология оценки: общие представления, дифференциация понятий и области изучения // Вестник ЮУрГУ. 2008. № 31, серия Психология, вып. 1, С. 17-31.
2. Выбойщик И.В. Оценочный стиль как один из факторов точности оценивания// Вестник ЮУрГУ. 2008. № 32. серия Психология, вып. 2, С.29-36.
3. Николаева И.А. Мир измерений. 2013, №11. - С.40-45.
4. Серенков П.С., Романчук В.М., Иванова Н.Н. Исследование достоверности методов экспертного оценивания //Метрология и приборостроение. 2016. №1. С. 22-30.

EXPERIENCE IN THE USE OF NON-GRADED GRAPHIC SCALE IN DEFINING EXPERT EVALUATION STYLE

Nikolaeva I.A.

Kurgan State University
nikolaeva-irina@yandex.ru

The accuracy of expert estimates depends on a number of factors. The strongest of them are a type of rating scale, method of presenting objects for evaluation, and a specified method of assessment. They are the "external" factors.

Expert evaluation style should be considered as the most important "internal" factor, including sustainable human preferences for use of various methods of assessment; and it does not depend on objects for evaluation [1, 2]. For example, an experiment on evaluation of various artificial objects (color combinations, irregular geometric shapes, non-existent words) by using polar verbal scale ("heavy - light", "good - bad", etc.) allowed to identify a number of parameters of evaluative style: valency, polarization, detail, variability [2]. In these experiments, the ordinal scale is converted into a point for statistical processing. The points are conventional units.

The novelty of our approach to the analysis of expert assessments is that we want to account for natural (psychological) mechanisms in passing an assessment [3]. We use an individual unit for each expert, not a conditional one, for a posteriori calibration of the graphic

scale. This unit is the minimum distance between the expert's marks on the non-graded graphic scale. Alternatively, we calculated the value of each mark as the ratio of the intervals at which this mark breaks a bipolar scale. These techniques make sense to *measure* the abovementioned parameters of the assessment style and find new properties.

In addition, it is useful to consider the "Self"- criterion, especially in the evaluation of social objects. Experts unconsciously use themselves as a "touchstone", identifying themselves with the assessed objects, or opposing them. On the basis of "Self"-criterion, we have identified four parameters of the expert evaluation style.

References

1. Baturin N.A. Psychology of the estimation: the general representations, differentiation of concepts and areas of studying // "Bulletin of the South Ural State University. Series "Psychology" 2008. № 31, is. 1, P. 17-31.
2. Vyboyshchik I.V. Evaluation Stile as one of the factors in accurate estimation // "Bulletin of the South Ural State University. Series "Psychology". 2008. № 32, is. 2, P.29-36.
3. Nikolaeva I.A. Measurements of the intensity of experiences value in psychology // The World Of Measurement. 2013. № 11. - P. 40-45.
4. Serenkov P. S., Romanchuk V. M., Ivanova N. N. The study of the reliability of expert estimation methods //Metrology and instrumentation. 2016. № 1. P. 22-30.

МУЛЬТИСЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ И МЕТРОЛОГИЯ

Легин А.В., Кирсанов Д.О.

Институт Химии Санкт-Петербургского государственного университета
andrey.legin@gmail.com

Мультисенсорные системы для анализа жидкостей, наиболее широко известные сейчас как «электронные языки» (ЭЯ) или «сенсоры вкуса» появились, как новая аналитическая технология, в начале 90-х годов.

С тех пор наблюдается значительный рост числа исследовательских статей в этой области. Согласно данным Скопус (март 2017), число публикаций, в которых словосочетания «электронные языки» или «сенсоры вкуса» упомянуты в названии, абстракте или ключевых словах составляет более 1300, при этом, наиболее часто используемый термин «электронный язык» употребляется свыше 900 раз. Эта область исследований является уже сильно развитой, в ней работает много исследователей во многих лабораториях. Десять или более статей на эту тему опубликовали авторы из 21-й страны мира.

Являясь активными игроками на этом поле уже более 20 лет, авторы предлагают свой взгляд на проблемы и «узкие места», с точки зрения метрологии, в области мультисенсорных систем для анализа жидкостей.

Первая, очевидная проблема - это отсутствие единого понимания таких базовых аналитических и метрологических терминов, как «чувствительность», «селективность», «предел обнаружения» и др. Хотя можно интуитивно представить, о чем здесь идет речь, широко принятой терминологии и формальных описаний здесь пока не существует. Возможно, это частично связано с неопределенностью теоретических представлений о мультисенсорных системах.

Другая серьезная проблема - это недостаток стандартов. Функционирование любого аналитического прибора должно проверяться с помощью стандартов и сравниваться с другими приборами. Во многих случаях, особенно при оценке вкусов, используются узкоспециализированные методики и шкалы оценки. Когда ЭЯ

градуируют с использованием таких методик и шкал, становится крайне затруднительно сравнить поведение различных приборов в одном приложении или даже оценить работу того же самого прибора в различных приложениях.

Еще одна проблема в этой области - это широкое использование методов многомерной калибровки и связанные с этим метрологические сложности. Методы могут быть квазилинейные, такие как Анализ по Главным Компонентам (АГК) или Проекция на латентные Структуры (ПЛС) или нелинейные, например, Искусственные Нейронные Сети (ИНС). Методы также могут быть непараметрическими, т.е. они не накладывают никаких ограничений на форму зависимости между исходными и конечными данными и эта зависимость вообще может быть неизвестна. Метрологические проблемы, связанные с этими и другими особенностями методов обработки данных, могут быть весьма разнообразны.

Однако, мультисенсорные системы во многих случаях хорошо работают и позволяют получать интересные хотя и необычные аналитические результаты.

Требуются серьезные метрологические усилия для введения мультисенсорных систем в число практически используемых аналитических устройств.

MULTISENSOR SYSTEMS AND METROLOGY

Legin A.V., Kirsanov D.O.

Institute of Chemistry, St. Petersburg state university

andrey.legin@gmail.com

Multisensor systems for analysis of liquids, most widely known now as “electronic tongues” (ET) or “taste sensors” **emerged** as a novel analytical technology in early 90’s.

Since that time a continuous growth of research papers in this field **has been** observed. According to Scopus (March, 2017) the number of publications **with** “electronic tongue” or “taste sensor” in the title, abstract or keywords was about 1300, with the most frequently used term “electronic tongue” published in over than 900 papers. The area looks now pretty mature with a lot of different teams contributing to this research in many locations. Ten or more papers on these topics were published by the researchers from at least 21 countries all over the world.

Being the active players in this field for over 20 years we would like to suggest our view point to the problems and bottlenecks of multisensor systems for liquid phase analysis related to metrology.

The first obvious problem is the lack of uniform understanding of basic analytical and metrological terms such as “sensitivity”, “selectivity”, “detection limit”, etc. Though one can imagine intuitively what they are standing for there is no widely accepted terminology and formal descriptions in this area. This can be partly related to the ambiguity of theoretical understanding of multisensor systems.

Another serious problem is the lack of standards. The performance of any analytical device should be verified by some standards and compared to the other devices. In multiple cases, particularly in assessment of flavor (taste) custom-made methodologies and scales are used. When an ET is being calibrated using such a scale it would be pretty hard to compare different devices in similar application or even the same device to itself in different applications.

One more issue in this area is the widest use of multivariate data analysis methods and metrological problems related to these issues. These methods include quasi-linear algorithms like Principle Component Analysis (PCA) or Projection on Latent Structures (PLS) or non-linear such as Artificial Neural Networks (ANN). They can also be non-parametric i.e. the

dependence between measured value and final result may not be necessarily known. Metrological problems here can be quite cumbersome.

However, multisensor systems perform well on many tasks and help obtain sound albeit unusual analytical results.

Serious metrological efforts are needed to incorporate multisensor systems in the realm of practicable analytical devices.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ТЕСТЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ОДНОРОДНОСТИ И ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛОВ

Успенский В.М.¹, Воронцов К.В.^{2,3}, Жариков И.Н.², Бунакова В.Р.², Ишкина Ш.Х.³

¹Центральный военный клинический госпиталь им. П.В.Мандрыка МО РФ, г. Москва

²Московский физико-технический институт (государственный университет),
г. Долгопрудный

³Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, г. Москва
medddik@mm.st

Анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР) позволяет оценивать состояние организма человека по последовательности интервалов времени между соседними R-пиками электрокардиограммы. *Информационный анализ электрокардиосигналов* [1] расширяет ВСР по двум направлениям. Во-первых, наряду с интервалограммой используется амплитудограмма — последовательность амплитуд R-пикув. Во-вторых, последовательность приращений интервалов и амплитуд преобразуется в *кодограмму* — символьную строку, обычно в 6-буквенном алфавите, затем в вектор частот триграмм размерности $6^3 = 216$. Векторные представления кодограмм здоровых людей и больных с различными патологиями составляют обучающую выборку, по которой методами машинного обучения строятся диагностические решающие правила [2]. Этот принцип заложен в основу системы скрининговой диагностики Скринфакс [1]. Аналогичный подход, основанный на методах символьной динамики, применялся в [3].

В данной работе предлагаются статистические тесты для проверки гипотез об однородности электрокардиосигналов на основе Z-теста, G-теста и точного теста Фишера. Последовательности интервалов и амплитуд, как правило, не проходят тесты однородности при повторной регистрации сигнала у одного человека или при регистрации сигнала разными приборами. Однако кодограммы, получаемые в результате его дискретизации, обладают намного более устойчивыми статистическими характеристиками и позволяют говорить о воспроизводимости наблюдений.

Тесты однородности предлагается применять для повышения качества входного сигнала путём обнаружения участков неоднородности и увеличения времени регистрации сигнала; для обнаружения значимых изменений состояния обследуемого при длительном кардиомониторинге; для проверки приборов на соответствие требованиям информационного анализа электрокардиосигналов.

Эксперименты по одновременной регистрации ЭКГ-сигналов двумя приборами, Скринфакс и CardioQVARK (www.cardioqvark.ru), показали, что данные двух приборов однородны и могут объединяться при формировании обучающих выборок.

Эксперименты с повторными обследованиями у одних и тех же испытуемых с интервалом не более часа показали воспроизводимость в 90% случаев.

Литература

1. Успенский В.М. Информационная функция сердца. Теория и практика диагностики заболеваний внутренних органов методом информационного анализа

электрокардиосигналов. – М.: Экономика и информатика, 2008. – 116с.

2. Uspenskiy V.M., Vorontsov K.V., Tselykh V.R., Bunakov V.A. Information function of the heart: discrete and fuzzy encoding of the ECG-signal for multidisease diagnostic system // in *Advances in Mathematical and Computational Tools in Metrology and Testing (vol.X)*, Series on Advances in Mathematics for Applied Sciences, vol. 86, World Scientific, Singapore, 2015. pp 377-384.

3. Parlitz U., Berg S., Luther S., Schirdewan A., Kurths J., Wessel N. Classifying cardiac biosignals using ordinal pattern statistics and symbolic dynamics // *Computers in Biology and Medicine*, 2012. – 42(3) – 319-27.

STATISTICAL TESTS OF HOMOGENEITY AND REPRODUCIBILITY OF ELECTROCARDIOSIGNALS

Uspenskiy V.M.¹, Vorontsov K.V.^{2,3}, Zharikov I.N.², Bunakova V.R.², Ishkina Sh.Kh.³

¹*Central Clinical Military Hospital n.a. P.V.Mandryka of the Ministry of Defence of the Russian Federation, Moscow*

²*Moscow Institute of Physics and Technology (state university), Dolgoprudny*

³*Computing Centre of FRC CSC RAS, Moscow*

medddik@mm.st

The analysis of heart rate variability (HRV) is widely used to evaluate the state of the human body by a sequence of time intervals between adjacent R-peaks of the electrocardiogram. The *information analysis of ECG-signals* expands the HRV analysis in two directions [1]. Firstly, it uses both RR-intervals and amplitudes of R-peaks. Secondly, it converts the sequence of RR-intervals and R-amplitudes increments into a symbolic string named a *codogram*, usually in the six-letter alphabet. Then, the codogram is converted into a vector of trigram frequencies. The dimension of this vector is $6^3 = 216$. The vector representation of codograms for healthy people and patients with different pathologies form a training set to teach a classifier [2]. This approach is used in Skrinfaks screening diagnostics system [1]. A similar approach based on symbolic dynamics is used in [3].

In this paper, we propose statistical tests for testing the homogeneity of codograms based on Z-test, G-test and Fisher's exact test. As a rule, the interval-amplitude sequences do not pass homogeneity tests for signals recorded repeatedly for a person as well as for signals recorded by means of different devices. We show that the codograms obtained by discretization are much more stable and reproducible than the initial sequences themselves.

We propose three applications of our homogeneity tests. The first one is the improvement of the quality of the raw ECG-signal by detecting the intervals of heterogeneity and increasing the recording time. The second application is the detection of significant changes in the state of the human body during a long-term cardiac monitoring. The third application is a checking of new devices for compliance with the technology of the information analysis of ECG-signals.

Experiments on the simultaneous recording of the ECG signals by two devices, Skrinfax and CardioQVARK (www.cardioqvark.ru), show that the codograms from these devices are homogenous and can be combined in the training set. Experiments with repeated recording of a signal within an hour for the same person showed reproducibility in 90% of cases.

References

1. Uspenskiy V. M. Information Function of the Heart. A Measurement Model // *Measurement 2011, Proceedings of the 8-th International Conference, Slovakia. 2011, p. 383–*

386.

2. Uspenskiy V.M., Vorontsov K.V., Tselykh V.R., Bunakov V.A. Information function of the heart: discrete and fuzzy encoding of the ECG-signal for multidisease diagnostic system // in Advances in Mathematical and Computational Tools in Metrology and Testing (vol.X), Series on Advances in Mathematics for Applied Sciences, vol. 86, World Scientific, Singapore, 2015. pp 377-384.

3. Parlitz U., Berg S., Luther S., Schirdewan A., Kurths J., Wessel N. Classifying cardiac biosignals using ordinal pattern statistics and symbolic dynamics // Computers in Biology and Medicine, 2012. – 42(3) – 319-27.

НЕИНВАЗИВНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ ХОЛЕСТЕРИНА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА

Сановар Хан¹, Екатерина Арестович²

¹ City, University of London

² Imperial College Healthcare NHS Trust

s.h.khan@city.ac.uk

Холестерин ($C_{27}H_{46}O$), «самая известная малая молекула в биологии», представляет собой липидный воскообразный спирт, который транспортируется плазмой крови всех животных. Несмотря на то, что он выполняет ряд важных функций в организме, накопление холестерина в крови считается значительным фактором риска появления сердечно-сосудистых заболеваний. Таким образом, учитывая обеспокоенность общественности вопросами здравоохранения, относящимися к сердечно-сосудистым и другим заболеваниям, растет необходимость в простом, неинвазивном, надежном и эффективном методе измерения уровня холестерина в крови.

Все современные методы измерения холестерина в крови [1] требуют наличия образца крови, полученного из организма инвазивным путем. Сама процедура несет с собой риск образования синяков, заражения и/или гематомы. Тем не менее, существуют некоторые косвенные методы, при использовании которых уровень общего холестерина может быть оценен с помощью измерений биоэлектрического импеданса, произведенных в других местах тела. Так как такие методы являются непрямыми и основываются на выведении уровня холестерина из статистических данных, полученных при многократных импедансных измерениях других тканей, а не крови, они сложны, требуют много времени и зачастую не обладают точностью и воспроизводимостью.

Поэтому средство измерений, основанное на методе неинвазивного импеданса для прямых измерений, можно считать «святым Граалем» в области измерения уровня холестерина в крови. В этом докладе кратко обсуждается работа, проведенная в Лондонском городском университете, по разработке теоретической основы и установлению возможности создания нового неинвазивного инструмента для измерения общего содержания холестерина в крови по методу электрического импеданса. В основе лежат, в первую очередь, изменения результатов импедансных измерений в заданном объеме крови из-за изменений концентрации частиц (например, холестерина, различных клеток крови и т. д.). Работа включает в себя 2D и 3D моделирование конечных элементов (FE) и расчет распределения электрического поля в объеме крови с учетом распределения, ориентации, свойств материала и геометрии некоторых основных компонентов крови. Прделанная на сегодняшний день работа по моделированию дала некоторые обнадеживающие результаты для общего содержания

холестерина в крови на уровнях 3, 5 и 7 ммоль/л [2].

Список литературы

1. Bairaktari E. T., Seferiadis K. I. and Elisaf M. S., *Journal of Cardiovascular Pharmacology and Therapeutics*, 2005, vol. 10, no. 1, pp. 45-54.
2. Aristovich E. and Khan S., *Journal of Physics: Conference Series*, 2013, vol. 450, p. 012057 (6p).

NON-INVASIVE MEASUREMENT OF CHOLESTEROL BY ELECTRICAL IMPEDANCE TECHNIQUE

Sanowar Khan¹, Ekaterina Aristovich²

¹ City, University of London, London, UK

² Imperial College Healthcare NHS Trust, London, UK

s.h.khan@city.ac.uk

Cholesterol (C₂₇H₄₆O), ‘the most highly decorated small molecule in biology’ is a lipid like, waxy alcohol which is transported in the blood plasma of all animals. Although it fulfils a number of essential bodily functions, the accumulation and concentration of cholesterol in the blood is considered to be a significant risk factor for cardiovascular diseases. Thus, given concerns over public health associated with cardiovascular and other related diseases, an easy, non-invasive, reliable and effective method for measuring the cholesterol level in blood is of increasing importance.

All current methods for measurement of blood cholesterol [1] require a sample of the blood obtained from the body by an invasive procedure. The procedure may carry a risk of bruise, infection and/or hematoma. There are, however, some indirect methods by which the level of total cholesterol can be estimated using bioelectrical impedance measurements carried out elsewhere in the body. As these methods are indirect and based on inference of cholesterol level from statistical data obtained by multiple impedance measurements of substances other than blood, they are complicated, time consuming and often lack accuracy and reproducibility.

Thus an instrument based on non-invasive impedance technique for direct measurement could be considered as a ‘holy grail’ for blood cholesterol measurement. This paper briefly discusses the work done so far at City University of London to develop the theoretical basis and establish the feasibility of a novel instrument for non-invasive measurement of total blood cholesterol based on electrical impedance technique. This is primarily based on changes in the impedance measurements across a given blood volume due to changes in the particle concentration (e.g. cholesterol, various blood cells, etc.). The work involves 2D/3D finite element (FE) modelling and computation of electric field distribution in the blood volume by taking into account distribution, orientation, material properties and geometry of some of the main blood components. The modelling work done so far has shown some encouraging results for total blood cholesterol levels at 3, 5, and 7 mmol/l [2].

References

1. Bairaktari E. T., Seferiadis K. I. and Elisaf M. S., *Journal of Cardiovascular Pharmacology and Therapeutics*, 2005, vol. 10, no. 1, pp. 45-54.
2. Aristovich E. and Khan S., *Journal of Physics: Conference Series*, 2013, vol. 450, p. 012057 (6 p).

ЭЛЕКТРОННЫЙ НОС – МЕЧТА ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?

Рембеза С.И.¹, Кошелева Н.Н.¹, Рембеза Е.С.², Свистова Т.В.¹,

¹*ФГБОУ ВО Воронежский государственный технический университет,
г. Воронеж*

²*ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет, г. Воронеж
rembeza@yandex.ru*

В докладе рассмотрена целесообразность и анализируются возможности создания искусственного органа обоняния – Электронного Носа, который может со временем заменить использование животных в сфере распознавания запахов наркотиков, взрывчатых веществ и других объектов. Рассмотрена возможная структура прибора и реальность изготовления всех его компонентов. По аналогии с биологическим прототипом, Электронный Нос должен иметь набор газочувствительных «рецепторов» (сенсоров газов), «нейронную» систему первичной обработки сигналов и более сложную схему распознавания «образов» газовых смесей, формирующих определенные запахи.

Описаны основные методы распознавания и контроля различных газов, базирующиеся на их характерных физико-химических свойствах. Например, температуры каталитического горения разных газов отличаются, и их измерение используется для распознавания таких горючих газов, как водород, метан и другие углеводороды. Каталитические сенсоры горючих газов (пеллисторы) основаны на измерении температуры горения газа на поверхности катализатора. Большинство датчиков метана в шахтах использует каталитические сенсоры. Наиболее универсальными являются сенсоры газов, использующие изменение электропроводности металлооксидных полупроводников при поверхностной адсорбции газов и их взаимодействии с ионами кислорода. Металлооксидные датчики серии TGS для разных газов выпускаются японской фирмой FigaroLtd. Описан принцип работы электрохимических сенсоров (топливных ячеек) и особенности их применения для контроля токсичных и взрывоопасных газов. Важное место в газовой сенсорике занимают оптические методы, основанные на эффектах резонансного поглощения света атомными колебаниями молекул газов.

Прототипом Электронного Носа можно считать анализаторы состава дымовых газов, которые содержат набор газовых сенсоров и электронную систему обработки результатов измерений для определения режимов горения и степени загрязнения окружающей среды. Например, в анализаторе дымовых газов Testo используются электрохимические сенсоры газов O₂, CO, NO, NO₂, H₂Si SO₂. Устройства с большим количеством различных сенсоров (20 и более) и сложной системой обработки сигналов используются для определения качества пищевых продуктов по их запаху (вариант Электронного Носа). Для первичной обработки показаний сенсоров используются статистические методы: корреляционный анализ и обработка мультисенсорного сигнала методом линейно-дискриминационного анализа, а также обучение нейронных сетей с помощью стандартных программ. Затем полученные результаты сравниваются с хранящимся в памяти устройства «образом» запаха пищевого продукта. Применение Электронного Носа быстрее и дешевле обычного химического анализа продуктов.

Электронный Нос продолжает совершенствоваться и, хотя он еще не содержит десятки миллионов рецепторов, как его биологический прототип, можно с уверенностью считать, что он может различать компоненты запахов, не доступные обонянию живых существ.

ELECTRONIC NOSE – DREAM OR REALITY?

Rembeza S.I.¹, Koshelev N.N.¹, Rembeza E.S.², Svistova T.V.¹

¹ *Voronezh State Technical University, Voronezh*

² *Voronezh State University, Voronezh*

rembeza@yandex.ru

The report is dedicated to experience and possibility analysis of creating an artificial organ of smell – Electronic Nose, which can later replace animals used for smell control of drugs, explosive materials, etc. The possible device structure as well as possibility of production of all of its components are observed. By analogy with biological prototype the Electronic Nose must have the collection of gas sensing “receptors” (gas sensors), “neuronic” system of primary signal adaptation and more complicated system of recognition of gas mixture “patterns” which form particular smells.

Main methods of recognition and control of different gases based on their typical physical and chemical properties are described. For instance, the difference in catalytic burning temperatures of various gases can be used to recognise a burning or explosive gas, such as hydrogen, methane and other hydrocarbons. The work of catalytic sensors of burning gases (pellistors) is based on the measurements of burning temperature on the catalyst surface. Methane sensors in mines are made with catalytic gas sensors. The most universal ones are semiconducting metal-oxide ion adsorption electroresistivity change gas sensors. Metal-oxide sensors TGS for different gases detection are produced by Japanese firm Figaro Ltd. The working principles of electrochemical gas sensors (fuel cells) and details of their application for control of toxic and explosive gases are described. Specific place in gas sensoric belongs to optical methods based on effects of resonance light absorption by atom vibration of gas molecules.

The Electronic Nose’s prototype can be analyzers of smoke gas compositions that have gas sensors array and electronic system for adaptation of the results of measurements for determination of burning conditions and environment pollution. For instance, smoke gas composition analyzer Testo uses the electrochemical gas sensors for O₂, CO, NO, NO₂, H₂S and SO₂ detection. Devices consist of many different gas sensors (20 and more) and a complicated system for signal analysis is used for quality control of food by the smell (some version of Electronic Nose). For the initial sensor signal analysis statistical methods are used: correlative analysis and line-discrimination analysis, as well as training of neuronic nets with the help of standard programmers. The results are compared with smell “pattern” of the food in the memory of device. The application of Electronic Nose is cheaper and faster than standard chemical method of food quality analysis.

Electronic Nose continues to improve its efficiency and even though it does not have tens millions of receptors yet, like the biological prototype does, it is evident that Electronic Nose can differentiate the smell components that are not accessible for animals noses.

БИОЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА С МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ САМОКОНТРОЛЕМ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОСТРОЙ ТОКСИЧНОСТИ ВОДЫ

Любимцев В.А.¹, Холодкевич С.В.^{1,2}, Дружинин И.И.³

¹*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности Российской академии наук, Россия, 197110, Санкт-Петербург, Корпусная ул., 18*

²*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7-9*

³*ФГУП "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева", Россия, 190005, Санкт-Петербург, Московский пр., 19*

lyubimcev55@mail.ru

Использование беспозвоночных животных в измерительной системе в качестве датчиков позволяет по их кардиоактивности или поведению осуществлять непрерывный эффективный мониторинг общей токсичности сырой воды, поступающей на водопроводную станцию, и оперативно обнаруживать опасные «залповые» загрязнения воды. В разработанной в НИЦЭБ РАН (г. С-Петербург) 6-8 канальной биоэлектронной системе (БЭС) БиоАргус в качестве датчиков используются речные раки, а в качестве контролируемой величины – частота сердечных сокращений (ЧСС). Критерий значимого изменения качества воды - синхронные и однонаправленные изменения ЧСС с выходом за пределы флуктуаций, характерных для каждого из раков в условиях покоя. Измерительная система включает лазерные волоконно-оптические каналы преобразования ЧСС в электрический сигнал, обеспечивающие неинвазивный съем информации, и устройство обработки данных.

Главными проблемами в области обеспечения достоверности результатов измерений в такой БЭС являются:

- отличие ЧСС и ее стабильности в условиях покоя, а также порога чувствительности к острой токсичности воды и значения ЧСС в условиях стресса у различных экземпляров раков на момент сборки БЭС.

- отклонение за допускаемые пределы погрешности определения ЧСС в отдельных каналах в процессе эксплуатации БЭС.

Уменьшение разброса характеристик «датчиков», устанавливаемых в БЭС, обеспечивается за счет предварительного отбора раков по значениям ЧСС с использованием тестовых имитаторов загрязнения.

Повышение достоверности измеряемых БЭС характеристик осуществляется с помощью периодического контроля метрологической «исправности» раков и организации метрологического самоконтроля собственно измерительной системы.

Основной причиной возникновения погрешности измерительной системы в определении ЧСС в процессе эксплуатации БЭС является сравнительно низкое отношение уровня измеряемого сигнала к шуму (С/Ш). Источником шума на 90-95% является пространственная неоднородность излучения, выходящего из оптического зонда и рассеиваемого на панцире рака, а также изменение этой неоднородности во времени. Отношение С/Ш может изменяться в 2-3 раза за счет вариации излучения в разных каналах. Методом моделирования установлено, что по мере уменьшения соотношения С/Ш сначала растет погрешность в определении междударных интервалов сердечных сокращений и только потом – погрешность оценки ЧСС. Для обеспечения метрологического самоконтроля БЭС используется контроль стабильности среднего квадратичного отклонения для распределения значений междударных интервалов каждого из датчиков – речных раков.

THE METROLOGICAL SELF-MONITORING BIO ELECTRONIC SYSTEM FOR THE DIAGNOSIS OF ACUTE WATER TOXICITY

Lyubimtsev V. A.¹, S. V. Kholodkevich^{1,2}, Druzhinin I.I.³

¹*Saint-Petersburg Scientific Research Centre for Ecological Safety Russian Academy of Sciences, 197110, Russia, St. Petersburg, Corpusnaia str., 18*

²*Saint-Petersburg State University, Russia, 199034, St. Petersburg, Universitetskaya nab., 7-9*

³*D.I. Mendeleev Institute for Metrology, Russia, 190005, Saint-Petersburg, Moskovsky pr., 19
lyubimcev55@mail.ru*

Use of invertebrates as sensors of a measurement system allows to implement effective continuous monitoring of total toxicity of raw water entering a water treatment plant, and quickly detect threatening massive discharges of water pollution by a change in their cardiac activity or behavior. In the 6-8 channel bioelectronic system (BES) "Bioargus" by SRCES RAS (St. Petersburg), crayfish are used as sensors, and their heart rate (HR) as the controlled variable. The sign of a significant change in water quality is the synchronous and unidirectional change of crayfish heart rate beyond the fluctuation range for each of the crayfish at rest. The measuring system includes a laser fiber-optic heart rate/electrical signal converter, providing for a non-invasive data readout, and a processing device.

The main problems in the field of assurance of measurement reliability in such a BES are:

- Variation of HR and its stability at rest for each crayfish; different sensitivity threshold for acute toxicity of water, and different values of heart rate under stress.
- Measurements error above the permitted limits in some individual channels during the continuous operation of the BES.

Reduction in variability of the characteristics of the "sensors" is realized by pre-selection of crayfish by values of the HR at rest and HR when the test toxicant simulators are used.

The reliability of the measured characteristics of the BES is improved by means of periodic crayfish "health" control and the metrological self-control of the actual measuring system.

The main cause of the error of a measuring system in reading the HR during the operation of the BES is a relatively low signal-to-noise (S/N) ratio. 90-95% of the noise value is induced by the spatial heterogeneity of the radiation emerging from the optical probe and being dissipated on the crayfish shell, as well as changing of this heterogeneity in time. The S/N ratio can demonstrate 2-3-fold variation due to the variation of laser radiation in different channels. Mechanical modeling of S/N ratio lead to conclusion, that a decrease in S/N ratio, first, leads to the error increase for the intervals of heartbeats, and only after that the error in HR starts to increase as well.

The stability control of the standard deviation for the heartbeats interval values distribution of each of the crayfish-sensors is used to ensure the metrological self-control of the BES.

ПРОБЛЕМА ИЗМЕРЕНИЯ СЛОЖНЫХ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Костромина С.Н.

Санкт-Петербургский государственный университет

s.kostromina@spbu.ru

Одна из ключевых методологических задач психологической науки –

объективизация изучаемых психологических явлений. Решение этой задачи во многом определяет вектор принадлежности психологии к гуманитарному или естественно-научному знанию. Полемика вокруг используемых в психологии методов исследования не стихала на протяжении всего XX века, что определило формирование двух магистральных направлений: психометрического и идеографического с их достоинствами и ограничениями. В основу доказательности существования тех или иных психологических закономерностей были положены методы математической статистики (STATISTIKA, SPSS, пакет программ R), компьютерная обработка получаемых данных, сложные многомерные методы статистического анализа: регрессия, факторный и дискриминантный анализ, моделирование структурными уравнениями.

Развитие психофизиологических и нейрофизиологических методов изучения нервной системы и мозга человека во многом способствовало усилению роли биологизаторского подхода и естественно-научного направления в психологических исследованиях. При этом вопрос о линейности проявлений функциональной активности мозга и психической активности человека остался открытым. Опыт прошедших десятилетий, сопровождавшийся изучением сложных психологических феноменов с использованием нейрофизиологических методов или генетических методов (например, таких как изучение определенных чувств – патриотизма, эмотивности или качеств личности – доброты, агрессии и др.), показал условность прямой интерпретации и невозможность транспарентного переноса получаемых данных на феноменологию психологических явлений.

Сложные психологические явления, которые сегодня находятся в центре внимания: сознание, личность, психологическое время, принятие решения, психология выбора, жизненные сценарии и т.д. многогранны в своих проявлениях и не могут быть “измерены” с помощью опросника или аппаратуры. Большая часть из них относится к зоне неопределенного и неточного. Каждый знает, что сознание есть, но трудно определить, что это такое, операционализировать, выделить индикаторы и параметры для регистрации и измерения. Пересечение характеристик, которые лежат лишь в плоскости качественных описаний сложного психологического явления с теми, которые, как кажется, можно объективно зафиксировать и количественно представить, а также двойственность их происхождения, в связи с чем трудно определить “вклад” биологических и социальных факторов, создают необходимость разработки многомерного дизайна психологического исследования. Отсутствие методологии проведения таких исследований приводят к спонтанности сочетания разных средств измерения и оценки, к несоответствию изучаемого содержания психологических явлений и используемых процедур измерения, в результате чего рождаются необоснованные интерпретации и выводы. Дополнительной трудностью является учет быстро меняющихся условий, в которых живет современный человек, и подвижность самой психической структуры. Как следствие, исследователи столкнулись с трудностями реплицирования изучаемых психологических явлений на новых выборках и временных интервалах.

Таким образом, сегодня можно констатировать, что несмотря на достижения в применении новых методов статистики в психологии “зоной ближайшего развития” психометрии является разработка методологии комплексного измерения и оценки сложных психологических явлений, устанавливающей доказательные принципы и правила сочетания качественных и количественных методов исследования, психологических, социологических и нейро-психофизиологических методов, а также их взаимосвязанной математико-статистической обработки.

THE PROBLEM OF MEASURING COMPLEX PSYCHOLOGICAL PHENOMENON

Kostromina S.N.¹

¹ *Saint-Petersburg State University*

s.kostromina@spbu.ru

One of the key methodological problems of psychology is objectivization of the studied psychological phenomena. The solution of this problem essentially determines the attribution of psychology to Humanities, or Natural Sciences. The controversy about research methods used in psychology was heated throughout the XX century which determined the formation of two main areas: psychometric and ideographic with their merits and limitations. The evidence of certain psychological patterns was based on the methods of mathematical statistics (STATISTIKA, SPSS, R software package), computer processing of obtained data, complex multivariate methods of statistical analysis: regression, factor and discriminant analysis, structural equation modelling.

The development of psychophysiological and neurophysiological methods studying the nervous system and human brain investigation mainly contributed to the strengthening of biological approach and scientific directions in psychological research. The question of linearity of the functional brain and mental activity remains open. The experience of the past decades accompanied by the study of complex psychological phenomena using neurophysiological or genetic methods (e.g., the study of patriotism, or emotive qualities – kindness, aggression, etc.) showed the limitations of direct interpretation and the impossibility of transparent transfer of the received data on psychological phenomena.

Complex psychological phenomena widely studied today (consciousness, personality, psychological time, decision-making, psychology of choice, life scenarios, etc.) are comprehensive in their manifestations and cannot be “measured” using a questionnaire or devices. Most of them can hardly be defined. Everyone knows that consciousness exists but it is difficult to determine and operationalize it, to highlight the indicators and parameters for measuring. The need of development of multidimensional design of psychological research is determined by the intersection of qualitative characteristic description of complex psychological phenomena with those that are recorded objectively and may be represented quantitatively, as well as the duality of their origin, therefore it is difficult to identify the contribution of biological and social factors. The lack of methodology to conduct such studies leads to spontaneous combination of different measuring and evaluation instruments, discrepancy between the content of a studied psychological phenomenon and measuring. As a result of this, there are unsustainable interpretations and conclusions. An additional problem is the rapidly changing environment in which the modern man lives and mobility of mental structure. Therefore, researchers are faced with difficulties of replication of studied psychological phenomena on new samples and temporal spans.

Thus, it can be said that despite the achievements in the application of new statistical methods in psychology, “zone of proximal development” for psychometrics is in the development of an integrated methodology of measurement and evaluation of complex psychological phenomena, establishing evidence-based principles for combining qualitative and quantitative research methods, psychological, sociological and neuro-physiological techniques, as well as their interrelated mathematical and statistical processing.

О ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ ПСИХИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ МНОГОМЕРНОЙ ВЕЛИЧИНЫ В ПРОСТРАНСТВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НЕЙРОМАРКЕРОВ

Кропотов Ю.Д.¹

¹ *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мозга человека им. Н.П. Бехтеревой*
yurykropotov@yahoo.com

Доклад представляет недавно созданную методологию измерения функциональных нейромаркеров электрической активности головного мозга человека [1, 2]. Эти нейромаркеры извлекаются из многоканальной ЭЭГ и потенциалов, связанных с событиями, регистрируемых с поверхности головы с помощью металлических электродов у человека, находящегося в состоянии спокойного бодрствования или в процессе выполнения психологического теста.

Методология включает методы слепого выделения сигналов, используемых для коррекции немозговых артефактов и для извлечения латентных (скрытых) компонентов из спонтанной биоэлектрической активности мозга и потенциалов, связанных с событиями, методы создания как нормативных баз данных, так и баз различных психических нарушений, методы сравнения индивидуальных показателей с референтными данными. Были получены нейромаркеры психических процессов, таких как категоризации зрительных стимулов, сравнения сенсорного следа с энграммой памяти, детекции и мониторинга конфликта, подавления подготовленного действия и перехода от одного действия к другому.

Показана высокая степень надежности и воспроизводимости измеряемых нейромаркеров, их высокая чувствительность и специфичность для определения функциональных нарушений при синдроме дефицита внимания с гиперактивностью, при шизофрении, навязчивых состояниях, аутизме, депрессии и различных видах деменции.

В докладе будут также представлены данные о возможности предсказания клинического исхода при лечении фармакологическими методами, а также данные о способах конструкции протоколов нейромодуляции, таких как биологическая обратная связь по ЭЭГ, микрополяризация и магнитная стимуляция мозга.

Работа поддержана грантом РФФИ 16-15-10213.

Литература:

1. Kropotov J.D. 2009 Quantitative EEG, event-related potentials and neurotherapy. Academic Press, Elsevier, 542 p.
2. Kropotov J.D. 2016 Functional neuromarkers for psychiatry. Academic Press, Elsevier, 464 p.

POSSIBILITY OF DIAGNOSIS OF PSYCHIC DYSFUNCTIONS BY MEANS OF MEASURING MULTY-DIMENSIONAL PARAMETER IN THE SPACE OF FUNCTIONAL NEUROMARKERS

Kropotov J.D.¹

¹ *N.P. Bechtereva Institute of the Human Brain of Russian Academy of Sciences*
yurykropotov@yahoo.com

The paper describes a recently developed methodology of measuring functional

neuromarkers of electrical activity of the human brain [1,2]. These neuromarkers are extracted from spontaneous multi-channel EEG and from event-related potentials (ERP) measured on the surface of the human head, when wake and relaxed, and while completing a psychological task.

The methodology includes methods of blind source separation for artifact correcting and extracting latent (hidden) components from the resting state EEG and from event-related potentials, methods for constructing normative and patient databases, for comparing the extracted individual parameters with the normative data. Neuromarkers of different psychological operations are extracted, such as indices of operations of categorization, comparing with the sensory template, conflict detection and monitoring, action inhibition and shifting from one action to another.

The high test-retest reliability of neuromarkes, the high level of specificity and sensitivity for defining dysfunctions in ADHD, schizophrenia, OCD, autism, depression, and dementia are described.

Application of the methodology for predicting clinical outcome in response to medication, for constructing protocols of neuromodulation such as neurofeedback, tDCS (transcranial Direct Current Stimulation) and TMS (transcranial magnetic stimulation) in clinical population is presented.

The work is supported by grant 16-15-10213 from Russian Science Foundation.

Literature

1. Kropotov J.D. 2009 Quantitative EEG, event-related potentials and neurotherapy. Academic Press, Elsevier, 542 p.
2. Kropotov J.D. 2016 Functional neuromarkers for psychiatry. Academic Press, Elsevier, 464 p.

ПРОБЛЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ПСИХИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Гнедых Д.С.

Санкт-Петербургский государственный университет

d.gnedyh@spbu.ru

Основная цель нейрофизиологических исследований психических явлений – поиск и объяснение физиологических закономерностей и механизмов, служащих основанием психической активности человека. Данная область исследований получила название «картирование мозга» (brain imaging), или «чтение мозга» (brain reading) [2,7,8]. Наиболее распространенными методами чтения мозга являются функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) и электроэнцефалография (ЭЭГ). Принцип работы таких измерительных приборов строится на измерении электромагнитных волн (для фМРТ) и электрических сигналов, исходящих с поверхности головы (для ЭЭГ).

Среди основных направлений данных исследований выделяют: изучение активации отделов мозга при классификации объектов; определение эмоционального состояния субъекта; мозготипирование (определение личностных свойств по степени активации мозговых структур) [2].

Проведенные в данной области исследования сегодня позволили сформировать довольно обширные представления о том, какие участки головного мозга отвечают за определенные психические функции и как соотносится его функциональное состояние с протеканием тех или иных психических процессов [3]. На основании подобных

исследований производится попытка построения моделей когнитивного пространства [5, 6], а также поиск и доказательства ее сходства с физиологической.

Несмотря на активное развитие вышеуказанных методов, необходимо выделить ряд проблем и спорных моментов, связанных с измерением и оценкой этого соотношения:

1. Какой метод и какие средства измерений являются оптимальными и наиболее точными в подобного рода исследованиях? От средств, и, соответственно, методов измерений зависит правильное определение значения измеряемой величины [1]. Например, нейрофизиологические методы можно, с одной стороны, отнести к контактному методу (при ЭЭГ электроды плотно прилегают к коже головы, улавливая электрическое поле). При этом говорить о контакте (в полном смысле этого слова) измерительного прибора с психическим явлением представляется не совсем корректным, так как психические явления (внимание, мыслительные операции и др.) не материальны, и, по сути, не имеют собственной массы, длины и т.п. Данное противоречие может повлиять на точность измерения и исказить оценку, а, следовательно, привести к недостоверному результату.

2. Как на основе нейрофизиологических методов обеспечить точность измерений, а главное, точность их интерпретации? Повышение «точности» измерений – это задача исследователей метрологов, психологов или нейрофизиологов? В зависимости от постановки вопроса будут строиться пути его решения, и, следовательно, определяться области наук, ответственные за него.

С одной стороны, объяснение природы психических явлений, проявление которых мы наблюдаем в поведении, это предмет изучения психологии. С другой, обоснование поведения человека в терминах активности мозга является областью нейрофизиологии [4]. Для реализации данных целей нужны определенные методы фиксации измерений и установления их точности и достоверности. А разработка таких методов - уже зона ответственности метрологии [1]. Таким образом, для разрешения выявленных противоречий при измерении психических явлений с помощью нейрофизиологических методов требуется активное сотрудничество специалистов всех обозначенных областей.

Литература

1. Бисерова В.А., Демидова Н.В., Якорева А.С. Метрология, стандартизация и сертификация. М.: ЭКСМО. 2007. 10 с.
2. Иваницкий А.М. «Чтение мозга»: достижения, перспективы и этические проблемы // Журнал высшей нервной деятельности. 2012, Т. 62, вып. 2. С. 133–142.
3. Ливанов М.Н. Пространственная организация процессов головного мозга. М.: Наука. 1972. 182 с.
4. Прищепа И.М., Ефременко И.И. Нейрофизиология. Минск: «Высшая школа». 2013. 287 с.
5. Роик А.О., Иваницкий Г.А. Нейрофизиологическая модель когнитивного пространства. Журнал высшей нервной деятельности. 2011. 61(6). С. 688–696.
6. Peverelli P.J. Cognitive space: a social cognitive approach to Sino-Western cooperation. Delft (Netherlands): Eburon in Delft. 2000. 179 p.
7. Posner M.I., DiGirolamo G.J., Fernandez-Duque D. Brain Mechanisms of Cognitive Skills. Consciousness and cognition. 1997. №6. 267–290.
8. Rose N. Reading the Human Brain: How the Mind Became Legible. BODY & SOCIETY. 2016. Vol. 22 (2). P.140-177.

THE PROBLEM OF MENTAL PHENOMENA'S MEASURING BY MEANS OF NEUROPHYSIOLOGICAL METHODS

Gnedych D.S.

Saint-Petersburg State University

d.gnedych@spbu.ru

The main objective of neurophysiological studies of mental phenomena is the search and explanation of physiological mechanisms as the basis of human mental activity. Such research area is called "brain imaging" or "brain reading" [2,7,8]. The most common methods of brain reading are functional magnetic resonance imaging (fMRI) and electroencephalography (EEG). The operating principle of these measuring instruments is based on the measurement of electromagnetic waves (for fMRI) and electric signals from a scalp (for EEG).

The main directions of such kind of research are: the study of activation of brain divisions when classifying objects; identifying the emotional state of a person; "brain typing" (identification of personality according to the degree of brain structures activation) [2].

Conducted research allowed to form quite an extensive set of ideas of what brain divisions are responsible for certain mental functions and how its functional state relates to the certain mental processing [3]. On the basis of such studies the modeling of cognitive space [5, 6] as well as search and proof of its similarity to the physiological model is attempted.

Despite the active development of the above mentioned methods it is necessary to identify a number of problems and controversial points related to the measurement and evaluation of this similarity:

1. What measurement technique and what measuring instruments are the best and most accurate in this kind of research? The correct determination of the measured values depends on chosen measurement methods [1]. For instance, neurophysiological methods can be attributed to the contact methods (EEG electrodes are adjacent to a scalp detecting the electric field). However, talking about the contact (in the real sense of the word) of measuring instruments with mental phenomena is not quite correct because mental phenomena (attention, mental operations, etc.) are not material, and, in fact, do not have their own mass, length, etc. This contradiction may affect the measurement accuracy, distort the evaluation and therefore lead to unreliable results.

2. How to ensure the measurement accuracy on the basis of neurophysiological methods, and especially the accuracy of their interpretation? Is increasing the "accuracy" of measurements a task for metrologists, psychologists or neurophysiologists? The ways of answering the question will depend on its formulation and therefore the fields of science responsible for it will be defined.

On the one hand, the explanation of the nature of mental phenomena the manifestation of which we observe in behavior is the subject matter of psychology. On the other, the reasoning of human behavior in terms of brain activity is an area of neurophysiology [4]. To achieve these purposes we need certain methods for measurements and verifying their accuracy and reliability. And the development of such methods is the area of responsibility of metrology [1]. Thus, to resolve the identified inconsistencies in the measurement of mental phenomena by means of neurophysiological methods, the active cooperation of specialists of all named areas is required.

References

1. Biserova V.A., Demidova N.V., Jakoreva A.S. Metrologija, standartizacija i sertifikacija. M.: JeKSMO. 2007. 10 s.
2. Ivanickij A.M. "Chtenie mozga": dostizhenija, perspektivy i jeticheskie problemy //

Zhurnal vysshej nervnoj dejatel'nosti. 2012, T. 62, vyp. 2. S. 133–142.

3. Livanov M.N. Prostranstvennaja organizacija processov golovnogo mozga. M.: Nauka. 1972. 182 s.

4. Prishhepa I.M., Efremenko I.I. Nejrofiziologija. Minsk: «Vysshaja shkola». 2013. 287 s.

5. Roik A.O., Ivanickij G.A. Nejrofiziologicheskaja model' kognitivnogo prostranstva. Zhurnal vysshej nervnoj dejatel'nosti. 2011. 61(6). S. 688–696.

6. Peverelli P.J. Cognitive space: a social cognitive approach to Sino-Western cooperation. Delft (Nederlands): Eburon in Delft. 2000. 179 p.

7. Posner M.I., DiGirolamo G.J., Fernandez-Duque D. Brain Mechanisms of Cognitive Skills. Consciousness and cognition. 1997. №6. 267–290.

8. Rose N. Reading the Human Brain: How the Mind Became Legible. BODY & SOCIETY. 2016. Vol. 22 (2). P.140-177.

РЕГИСТРАЦИЯ, ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЭГ-ПАТТЕРНОВ ВООБРАЖАЕМЫХ ДВИЖЕНИЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ДЛЯ ИНТЕРФЕЙСА МОЗГ-КОМПЬЮТЕР

Станкевич Л.А.¹, Сонькин К.М.¹, Шемякина Н.В.², Нагорнова Ж.В.², Хоменко Ю.Г.³,
Гунделах Ф.В.¹, Чевыкалова А.В.¹,

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

² Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН, Санкт-Петербург

³ Институт мозга человека им. Н.П. Бехтеревой РАН, Санкт-Петербург
stankevich_lev@inbox.ru

В работе рассматривается новая методика и средства регистрации и преобразования сигналов ЭЭГ, а также классификации ЭЭГ-паттернов воображаемых движений в реальном времени. В соответствии с разработанной **методикой** в отдельных блоках заданий испытуемым предлагалось выполнить поочередно несколько типов реальных и воображаемых движений, в частности, отдельными пальцами руки. Внутри отдельного блока испытуемые должны были сначала нажимать на кнопку компьютерной мыши пальцем, обозначенным в инструкции, в задаваемом звуками ритме, а после выключения звука продолжать воображать движение этим же пальцем.

Регистрация сигналов ЭЭГ проводилась с помощью электроэнцефалографа «Мицар» (ООО «Мицар», С.-Петербург) с использованием пакета WinEEG от 19 AgCl электродов в частотной полосе 0.53 Гц–30 Гц. Из ЭЭГ записей исключались артефакты, такие как движения глаз, медленные волны (0–1 Гц с амплитудой больше 50 мкВ), быстрые волны (20–30 Гц с амплитудой выше 35 мкВ), фрагменты ЭЭГ с амплитудой сигнала больше 100 мкВ. Так выделялись ЭЭГ-паттерны воображаемых движений без артефактов, зарегистрированные с отведений С3, Cz, F3 по системе 10–20. Временная область ЭЭГ-паттерна воображаемого движения пальца руки соответствовала 600 мс.

Преобразование ЭЭГ-паттернов имело конечной целью получение их признаков во временной области. Для обеспечения требований реального времени вычисление признаков осуществлялось по каждой отдельной пробе без накопления. Совместно в скользящем окне шириной 100 мс со сдвигом в 50% вычислялись два вида признаков: площадь под кривой и длина кривой участка сигнала.

Классификация ЭЭГ-паттернов проводилась комитетом классификаторов, основанном на искусственных нейронных сетях и методе опорных векторов. В off-line сессии при классификации ЭЭГ-паттернов воображаемых движений без накопления

количество правильных классификаций 4-х типов воображаемых движений превышала случайный порог в 25% и в среднем составляла $36\pm 5\%$ для отведений C3, Cz и $50\pm 5\%$ для отведений F3, C3. При on-line классификации на стадии обучения точность мультиклассовой классификации в среднем была равна 40%. В варианте обучения с обратной связью для воображаемых движений среднего пальца и мизинца было получено количество правильных классификаций 58% и 56% соответственно.

Проведенные исследования направлены на создание неинвазивного интерфейса «мозг-компьютер» (ИМК) как основы системы реабилитации и протезирования. Результаты исследования прототипа ИМК показали, что временные задержки при ответе классификатора, находятся в пределах 150 мс, что является приемлемым для использования биологической обратной связи.

Работа поддержана грантом РФФИ офи-м №16-29-08296.

REGISTRATION, TRANSFORMATION, AND CLASSIFICATION OF IMAGINARY MOVEMENTS EEG-PATTERNS IN REAL TIME FOR BRAIN COMPUTER INTERFACES

Stankevich L.A.¹, Sonkin K.M.¹, Shemyakina N.V.², Nagornova G.V.²,
Khomenko J.G.³, Gundeloh F.V.¹, Chevikalova A.V.¹

¹*Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University*

²*Institut of Evaluative Physiology and Biochemistry by name of I.M. Sechenov, RAS, Saint Petersburg*

³*Institut of Human Brain by name of N.P. Behtereva, RAS, Saint Petersburg*

In this work the new technique and means of registration and transformation of signals ЭЭГ, and also classifications of EEG-patterns of imaginary movements in a real time are considered. According to the developed **technique** in separate blocks of tasks examinees were offered to execute serially some types of real and imaginary movements, in particular, separate fingers of the hand. In the separate block examinees at first should push button of the computer mouse of the finger which has been marked out in the instruction, in rhythm given by sounds, and after sound ceased to continue to imagine the movement by the same finger.

Registration of EEG signals was carried out with the help of EEG device «Mitsar» (Open Company «Мицар», Saint Petersburg) with use of package WinEEG from 19 AgCl electrodes in a frequency band of 0.53 Hz-30. EEG records with artifacts, such as movements of eyes, slow waves (0-1 Hz with amplitude more 50 мкВ), sweeping waves (20-30 Hz with amplitude above 35 мкВ), fragments EEG with amplitude of a signal more 100 мкВ were excluded. Thus EEG-patterns of imaginary movements registered from canals of C3, Cz, F3 on system 10-20 without the artifacts are selected. The time area of each the EEG-patterns of imaginary movements of the hand fingers matched 600 мс.

Transformation of EEG-patterns had as final goal reception of their features in time domain. For maintenance of demands of a real time computation of features was carried out on each separate test without accumulation. Two types of features were computed in a sliding window in width 100 мс with shift in 50 %: the square under a curve and length of a curve of a section of a signal.

Classification of EEG-patterns was carried out by committee of the qualifiers, based on artificial neural networks and a support vector machine. In off-line sessions at classification EEG-patterns of imaginary movements without accumulation quantities of correct classifications of 4 types of imaginary movements exceeded a casual threshold in 25 % and on the average was $36\pm 5\%$ for channels of C3, Cz and $50\pm 5\%$ for canals of F3, C3. At on-line classification at learning stage accuracy of multiclass classification was on the

average 40 %. In variant of learning with a biological feedback for imaginary movements of a middle finger and a little finger the quantities of correct classifications of 58 % and 56 % accordingly have been gained.

The conducted researches are directed to creation of the noninvasive brain-computer interface (BCI) as base of systems for rehabilitation and prosthetics. Results of research of prototype BCI have shown that time delays at the qualifier answer, are in limits of 150 mc that is comprehensible to use of the biological feedback.

The work is supported by Grant of RFBR ofi-m #16-29-08296.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЗЫКИ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТЕЙ С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ ТРЕВОЖНОСТИ

М.В. Егоров, А.Н. Шеповальников

Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН
9890757@gmail.com

Каким образом музыка воздействует на нейропсихологическое состояние человека, остается в решающей степени неизвестным, хотя исследования в этом направлении ведутся с прошлого века. Для решения этой загадки необходимо найти величины, возможно, многопараметрические, изменение значения которых позволяло бы количественно оценивать эффект воздействия музыки на функционирование мозга.

К настоящему времени установлено, что одним из важнейших показателей деятельности мозга является уровень активности системы взаимных связей его церебральных центров.

Авторы исследовали воздействие музыкальных фрагментов мажорной и минорной тональностей на динамику электрической активности коры больших полушарий мозга у детей. С помощью электроэнцефалограмм (ЭЭГ) рассмотрены изменения связей между активностью различных дистантно разобщенных зон традиционными методами, а также с помощью оригинального (запатентованного) метода, предполагающего построение трехмерной корреляционной матрицы, характеризующей активность связей между зонами с повышенной электрической активностью.

При прослушивании детьми с повышенным и с нормальным уровнем тревожности четырех избранных мелодий было обнаружено статистически значимое уменьшение уровня корреляционных связей ЭЭГ в правой передней височной области.

Ярко выраженное генерализованное уменьшение уровня межзонных связей в коре больших полушарий у исследованных детей было обнаружено при прослушивании мелодии «К Элизе» (Бетховен).

Полученные результаты дают основание высказать предположение, что универсальное воздействие музыки на психоэмоциональное состояние человека объясняется её релаксирующим влиянием на базовую систему взаимосвязи нервных центров, обеспечивающих непрерывную готовность перехода от состояния относительного покоя к активной специализированной деятельности. Если это предположение подтвердится, то выявленный феномен уменьшения уровня корреляционных связей ЭЭГ под влиянием музыки можно будет рассматривать как инструмент для детального изучения нейрофизиологических механизмов воздействия различных по характеру и силе музыкальных стимулов на процессы интеграции церебральных структур.

USING MUSIC FOR CORRECTION OF PSYCHO-PHYSIOLOGICAL STATE OF CHILDREN WITH DIFFERENT DEGREE OF ANXIETY

M.V. Egorov, A.N. Shepovalnikov

Institute of environment physiology and biochemistry Sechenov I.M. RAS

9890757@gmail.com

The exact mechanisms of music's influence on neuropsychological status of the human remain largely unknown, although research in this direction started in the last century. In order to solve this puzzle, it is necessary to find the quantities, possibly multivariate, change of values of which would allow to estimate the effect of music on the brain functioning.

By now, it is established that one of the most important indicators of brain activity is the level of activation of interdependence system of its cerebral centers.

The authors investigated the impact of music in major and minor tonalities on the dynamics of electrical activity in the children's cortex of cerebrum. With the help of electroencephalogram (EEG), tendencies in inter-relations between activities of various spatially unrelated zones were studied, and also with the use of original proprietary technique including a three-dimensional correlation matrix, characteristics of connections between the brain areas of intense electrical activity were studied.

When children with high and normal levels of anxiety were exposed to four chosen tunes, there was found a statistically significant decrease in the level of correlations in the EEG in the right anterior temporal region.

When listening to the melody "für Elise" (Beethoven), the subjects demonstrated a discernable generalized reduction in the level of correlation between areas of cortex of cerebrum.

Obtained results lead to an assumption that the universal effect of music on the emotional state of a person is due to its relaxing effect on the basic correlations of nerve centers, and provide for a constant readiness of the transition from a relatively restful state to lively specialized activities. If this assumption is confirmed, the recognized decrease in the level of correlations in EEG under the influence of music can be seen as a tool for the detailed study of neurophysiological mechanisms of action for musical stimulae of different natures and power on the process of integration of cerebral structures.