



МММЮ измерений

www.ria-stk.ru/mi

6
2014



ISO 50001:2011
OHSAS 18001:2007



Надежность Качество

ПРЭМ – первый в России обладатель
Знака качества средств измерений.

Свидетельства о присвоении Знака качества
выданы ФА «РОССТАНДАРТ» и «РОСТЕСТ-МОСКВА».

www.teplocom-holding.ru

8 800 250 03 03



ISSN 1813-8667



9 771813 866008 >

Тема номера:
Термометрия



ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ

ТЕСЕЙ

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

от неопределенности к стабильности

Компания регулярно предлагает потребителям новые виды продукции и датчики с улучшенными техническими характеристиками.

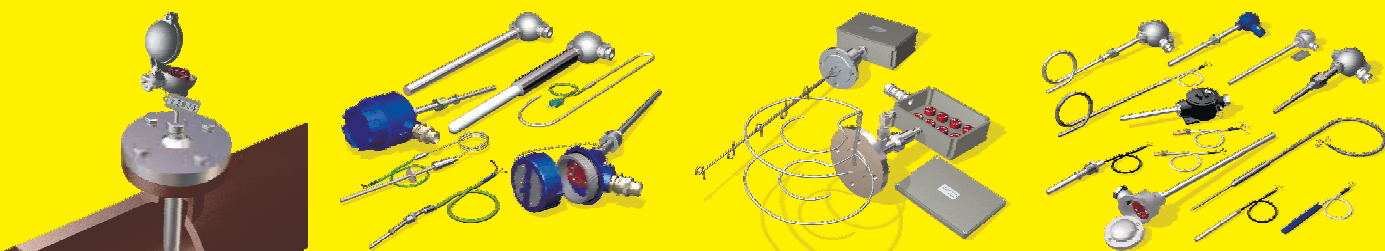
С июня 2014 г. мы приступили к производству термоэлектрических преобразователей и термопреобразователей сопротивления с интервалом между поверками до 5 лет! Срок гарантийных обязательств на такие датчики также продлен до 5 лет!

Линейка продукции расширена датчиками во взрывозащищенном исполнении Exd. Диапазон рабочих температур эксплуатации датчиков этого и других исполнений расширен до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, датчиков с установленными измерительными преобразователями (ИП) до $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Предложены термоэлектрические преобразователи с повышенным классом точности 0, сужающим диапазон отклонений от НСХ, по сравнению с 1-м классом. Предел допускаемой основной погрешности для термоэлектрических преобразователей с ИП снижен вплоть до 0,25% с учетом погрешности компенсации температуры опорного спая, для термопреобразователей сопротивления с ИП до 0,1%

Впервые среди аналогичной продукции установлена величина дрейфа метрологических характеристик за интервал между поверками, что позволит повысить достоверность измерения температуры.

Стали доступны защитные гильзы из таких материалов, как Monel, Hastelloy, Inconel, при этом существенно расширен ряд конструктивных исполнений, появились новые модификации 014, 114, 024, 026, 124.



www.tesey.com

E-mail: zakaz@tesey.com

249037, Россия, Калужская область, г. Обнинск, пр. Ленина, д. 144, оф. 72

Телефоны-факсы: (48439) 9-37-41, 9-37-42, 9-37-43, 9-37-44

16+

Ежемесячный
метрологический
научно-технический
журнал

Основан в марте 2001 г.

Учредители



ООО "РИА "Стандарты
и качество"

Общероссийская
общественная организация
"Всероссийская
организация качества"

Генеральный директор
Н.Г. Томсон

Редакционный совет

Ю.В. Тарбеев, председатель
Ю.С. Васильев
М.В. Балаханов
И.Ф. Шишкин
Н.П. Муравская
Н.Н. Новиков
О.А. Сперанский
Н.Г. Томсон
В.П. Иванов

Тел.: (495) 771 6652,
988 8434
Факс: (495) 771 6653
E-mail: mi@mirq.ru
mi.55@mail.ru

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС 77-33231 от 26.09.2008

Журнал входит в базу данных РИНЦ
на платформе Elibrary.ru

При перепечатке материалов
ссылка на журнал и его электронную
версию обязательна

Редакция не несёт ответственность
за содержание рекламы

Подписные индексы:

каталог агентства
"Роспечать" – 80407,
объединённый каталог – 39445

Подписано в печать 26.04.2012
Бумага мелованная матовая 60×90/8.
Печать офсетная. Усл. п. л. 8.
Тираж 1000. Свободная цена.
Заказ 152705.

Отпечатано в типографии "Вива-Стар".
107023, Москва,
ул. Электровзаводская, д. 20



© ООО "РИА "Стандарты и качество", 2014



ММЮ Измерений

6 (160) 2014

ТЕМА НОМЕРА: ТЕРМОМЕТРИЯ

А.Н. Магунов

Новые технологии и температурные измерения 3

И.Ш. Коган

**Размерность и единица термодинамической температуры при рассмотрении
теплового излучения** 9

В.С. Зиборов

Методы измерений температуры в ударных волнах 14

А.А. Миронов, А.Э. Павлюков, Д.Н. Салтыков

**Комплекс вычислительных моделей для исследования процессов
контроля узлов подвижного состава по инфракрасному излучению** 21

АККРЕДИТАЦИЯ

М.А. Якутова, Е.Ф. Пилюгин

Эксперты по аккредитации в области обеспечения единства измерений 28

ОБ УТВЕРЖДЕНИИ ТИПОВ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ 32

ТЕОРИЯ. ЭКСПЕРИМЕНТ. ПРАКТИКА

И.А. Хасанов

Физическое время и основы его равномерности 34

А.А. Фатуллаев

**Радиально-разностный метод фотометрического измерения степени загрязнённости
приземного слоя тропосферы с применением высотных излучателей** 38

К.В. Филатов

Конденсаторные микрофоны с диафрагмами из различных материалов 41

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Т.А. Семёнова

Оценка погрешностей в лабораторном практикуме младших курсов вузов 47

КОНФЕРЕНЦИИ. ВЫСТАВКИ. СОБЫТИЯ

Что ждёт цифровую вселенную в 2020 г. 54

ВЕЛИКОЕ ПРОШЛОЕ

С.Т. Жуков

Указ 1797 г. как образец деструктивного законотворчества (окончание) 56

DESIDERATA 62



В СЛЕДУЮЩЕМ НОМЕРЕ:

АРКТИКА

Реклама в номере:

ЗАО "Теккноу" – 4-я с. обложки •
ЗАО УК "Холдинга Теплоком" – 1-я с. обложки •
ООО "АйтиИ" – 31 •
ООО "Вибра Рус" – 3-я с. обложки •
ООО "ПК "ТЕСЕЙ" – 2-я с. обложки •

РИА "Стандарты и качество" – 64

Подписка

принимается во всех отделениях связи

80407 каталог агентства "Роспечать"

39445 объединённый каталог

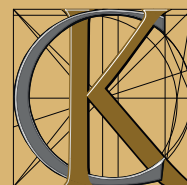
10968 каталог МАП "Почта России"



МИР Измерений

MEASUREMENTS WORLD

6 (160) 2014



РИА СТАНДАРТЫ
И КАЧЕСТВО

MAIN FEATURE: THERMOMETRY

A.N. Magunov

New Techniques vs Temperature Measurements 3

I.Sh. Kogan

The Dimension and the Unit of Absolute Temperature while studying Heat Radiation 9

V.S. Ziborov

Methods for Measuring Temperature in Blasts 14

A.A. Mironov, A.Eh. Pavl'ukov, D.N. Saltykov

Complex of Computing Models for Investigation the Processes of Stock Assemblies Control by Infrared Radiation 21

ACCREDITATION

M.A. Jakutova, E.F. Pilugin

Experts in Accreditation for Measurements' Uniformity Assurance 28

APPROVING TYPES OF MEASURING INSTRUMENTS 32

THEORY. EXPERIMENT. PRACTICE

I.A. Khasanov

Physical Time and the Fundamentals of its Equability 34

A.A. Fatullaev

Differential Radial Method for Photometric Measurements of Troposphere On-earth Layer Pollution Level Using the Flashlights 38

K.V. Filatov

Condenser Microphones Using the Diaphragms Made from Different Materials 41

METROLOGY EDUCATION

T.A. Semjonova

Inaccuracy Estimation in Laboratory Trainings for Freshman Classes 47

CONFERENCES. EXHIBITIONS. EVENTS

What Awaits The Digital Universe in the Year of 2020 54

GREAT PAST

S.T. Zhukov

The 1797 Year Decree as a Pattern of Destructive Lawmaking (conclusion) 56

DESIDERATA 62



IN THE NEXT ISSUE:
THE ARCTIC

Subscribe
"Mir Izmereniy" (Measurements World)

In Russia, CIS, Baltic states
"Rospechat" Agency
www.rosfp.ru

In other countries
"MK-Periodica" agency
www.periodicals.ru

Издатель

ООО "РИА "Стандарты
и качество"

Редакция

Главный редактор

С.В. Новиков

Заместитель главного

редактора

А.Я. Стефанова

Ответственный секретарь

Е.Д. Куничева

Редактор

Е.А. Ремнева

Вёрстка

А.М. Федотов

Директор по развитию бизнеса

А.И. Анискин

(495) 988 0689

Исполнительный директор

Н.В. Кунафеева

Тел.: (495) 771 6652, 988 8434

Начальник отдела продаж

(подписка)

О.В. Абрамова

Менеджеры по работе

с клиентами

А.В. Сафроньева

Ю.С. Шапкина

Тел.: (495) 258 8436

Факс: (495) 258 8437

E-mail: podpiska@mirq.ru

Начальник отдела маркетинга

А.И. Колесников

Менеджеры

Г.Л. Смирнова

Е.В. Наumenko

Т.С. Багратян

E-mail: reklama@mirq.ru

Директор по федеральным

проектам

Л.И. Гарускина

(495) 771 6652 доб. 127

E-mail: liga@mirq.ru

Заместитель директора

Е.В. Соловьёва

(495) 771 6652 доб. 333

E-mail: riastk27@mirq.ru

Интернет-магазин

www.ria-stk.ru

Адрес редакции

115280, Москва

ул. Мастеркова, д. 4

"РИА "Стандарты и качество"

DUNS номер международной

системы идентификации

бизнесов D&B: 354699405

Новые технологии и температурные измерения

Обсуждается техническая несовместимость имеющихся средств термометрии и новых технологий обработки материалов: за последние полвека качественных изменений в измерительных возможностях контактных и бесконтактных средств термометрии не произошло, в то время как технологии принципиально изменились, в связи с чем сложилась ситуация, когда выпускаемые средства термометрии не соответствуют сложным объектам и условиям измерений. Рассматриваются новые методы термометрии, созданные за последние 20–25 лет в предметных областях для температурного мониторинга и контроля новых технологических процессов. Констатируется необходимость прогнозировать тенденции развития принципов, методов и средств термометрии.

Существует много объектов и процессов, где необходимо измерять температуру. С точки зрения новых технологий (появившихся в последние 30–40 лет) проблема современной термометрии заключается в отсутствии измерительных средств, соответствующих объектам и условиям измерений, прошедших стандартные метрологические процедуры и выпускаемых промышленностью. В мире непрерывно работают миллионы установок плазменной, лазерной, лазерно-плазменной, ионно- и электронно-пучковой, микроволновой обработки материалов. Создан большой класс дорогостоящих высокотемпературных технологических операций, где почти не проводятся измерения температуры. Причины неэффективности и непригодности традиционных методов термометрии

применительно к некоторым новым технологиям (плазменным процессам нанесения тонких плёнок и травления микроструктур) подробно рассмотрены в работе [1].

В данной статье обсуждаются причины, обусловившие положение, в котором оказалась термометрия в последние десятилетия, а также возможность преодоления разрыва между новыми технологиями и методами термометрии.

Революция технологий и эволюция методов термометрии

Наиболее развитые отрасли промышленности 50-х и 60-х годов прошлого века – металлургия, энергетика, машиностроение, нефтехимия. В это время складывалось методическое обеспечение темпера-

А.Н. Магунов,
доктор физ.-мат. наук

НИИ перспективных материалов
и технологий, Москва

Ключевые слова: лазерные и плазменные технологии; традиционная термометрия; активная термометрия; спектральная пирометрия; точность измерений; прогнозы развития

турных измерений в промышленности, этим активно занимались метрологи [2, 3]. Имевшиеся тогда в распоряжении средства термометрии (термопары и пирометры) позволяли ответить на многие вопросы. При проведении измерений в сложных условиях требовалась изобретательность, но сложность считалась обычным обстоятельством, а не причиной для отказа от привычных методов и перехода к новым, принципы действия и эффективность которых неизвестны.

При появлении в 1960-е и 1970-е годы новых технологий (плазменной металлургии, плазмохимии, вакуумно-плазменного нанесения плёнок, лазерной обработки материалов [4–6]) казалось естественным, что можно и нужно решать новые задачи теми же методами и средствами, которые были созданы ранее и испытаны практикой. Оставалось усовершенствовать приборы, адаптировать их к специфике конкретных задач. К разработке новых приборов приглашали тех, кто уже имел аналогичный опыт. Поэтому разработчики термопарных датчиков продолжали создавать их снова и снова, а разработчики пирометров улучшали пирометры и разнообразили их специализацию. Большое количество НИОКР по термопарным и пирометрическим приборам выполнялось в вузах, отраслевых НИИ и СКБ. Было заявлено значительное число технических решений, получено множество авторских свидетельств. Складывалось устойчивое мнение, что специалисты в области разработки методов температурных измерений знают, как всем и везде надо измерять температуру.

Специалисты же не занимались прогнозированием новых задач и измерительных методов и не про-

водили перспективных исследований, исходя из проверенного правила: когда что-то понадобится – тогда что-нибудь и будет сделано. Уверенность метрологов в том, что на основе любого физического параметра вещества можно создать метод термометрии [7, 8], не привела к созданию ими оригинальных методов и приборов во второй половине XX века. Вместо разработки новых методов термометрии в качестве основной задачи метрологии выбрала проведение температурных измерений на высшем уровне точности с помощью старых методов, которым соответствуют эталоны температуры (возможность безэталонной термометрии в метрологической литературе не рассматривается).

Новые методы термометрии, созданные в 1960-е и 1970-е годы в рамках лазерной физики, относились к области диагностики плазмы и пламени [9, 10]. Некоторые оптические методы (томсоновское рассеяние света, лазерно-индуцированная флуоресценция, спектроскопия когерентного антистоксова рассеяния света и др.) позволили изучить

процессы при нагревании и удержании плазмы в тороидальных магнитных ловушках, получить данные о плазме лазерного пробоя газов, лазерном факеле у поверхности, ламинарном и турбулентном пламени. Но применение этих методов не носило массового характера из-за сложности измерительных установок.

В технологиях лазерной обработки материалов (упрочнение, резка и сварка) не удавалось и не удаётся применять оптические пирометры (рис. 1). В спектрах излучения, кроме непрерывной тепловой составляющей, всегда содержится интенсивная неравновесная составляющая (рассеянное излучение мощного лазера, проникающее сквозь фильтры; атомарные линии и молекулярные полосы излучения плазмы), при этом ошибки определения температуры могут достигать десятков (в благоприятных случаях) или сотен процентов.

Контактные методы также практически не используются в новых технологиях из-за высокой трудоёмкости и низкой производительности измерений, не сочетающейся



а



б

Рис. 1

Лазерное нагревание и испарение поверхности металла. Мощность лазера, Вт: 20 (а) и 2000 (б). Диаметр пучка на поверхности, мкм: 50 (а) и 600 (б). Образец перемещается относительно лазерного пучка с заданной скоростью. Для выбора режима обработки необходимо непрерывно измерять температуру плазмы, температуру расплава и температуру термозоны, окружающей расплав. В настоящее время, как правило, выбор режима (мощность лазера, скорость перемещения образца) проводится эмпирически – по конечному результату

с необходимостью высокой скорости обработки и быстрой смены образцов. Эти методы не обеспечивают ни комфортности, ни информативности температурных измерений, они давно не соответствуют другим методам диагностического комплекса (электронной микроскопии, рентгеновскому микроанализу, лазерной спектроскопии и т. д.).

То, что между возможностями старых методов термометрии и потребностями новых технологий появился разрыв и он увеличивается со временем, долго не осознавалось, эта стадия сомнений и непринципиальных усовершенствований продлилась около 30 лет. Высокая трудоёмкость измерений контактными методами температуры подложек при нанесении тонких плёнок в вакууме долго казалась преодолемым препятствием. В ряде вакуумно-плазменных установок измеряли температуру водоохлаждаемого плоского держателя, на котором помещалась подложка, и ошибочно считали, что температуры держателя и подложки совпадают. Появление плазменной металлургии, плазмохимии, лазерной и плазменной обработки материалов привело к тому, что яркостные и цветовые пирометры со всей очевидностью стали непригодны для измерений из-за высокой интенсивности постороннего излучения и низкой информативности получаемых первичных данных (измеряются интенсивности излучения на одной или двух длинах волн). Исследователи стали возлагать надежды на вычислительные эксперименты, которые могли полностью или почти полностью заменить измерения. Быстро развивались компьютеры, алгоритмы и программы вычислений, с помо-

щью которых можно было получить качественное представление о динамике температуры [6, 11]. Но потребность в проведении экспериментов по измерению температуры не исчезла. Разрыв в исследовательском комплексе теперь проявлялся в том, что почти вся диагностика технологических процессов была удобна в обращении, её результаты надёжно интерпретировались. Исключением была температурная диагностика – неудобная, трудоёмкая, ненадёжная. Поэтому температурные измерения во многих новых технологиях не проводились, термометрия почти исчезла из обращения, при этом температура в технологических операциях стала неизвестным и неконтролируемым параметром процесса.

На периферии передовых технологий иногда спонтанно появлялись новые решения – измерение температуры подложек в вакууме с помощью лазерной интерферометрии и эллипсометрии [12]. Но такие события ни разу не заинтересовали специалистов по методам температурных измерений. Слишком необычными были новые идеи, слишком сложными казались сами методы и предлагаемое оборудование.

Если требовалось намного более высокое быстродействие или пространственное разрешение метода, исследователям приходилось придумывать что-то новое применительно к задаче. Так, при изучении процессов лазерного отжига наносекундной длительности появился метод термометрии по комбинационному рассеянию света монокристаллами кремния. Но и эта ситуация казалась частным случаем, который закончился и забылся, не нарушив мира термопар и пиро-

метров, не открыв перспективу новых методов.

В 70-е и 80-е годы некоторые новые физические принципы вошли в термометрию вместе с только что разработанными волоконно-оптическими термометрами [13]. Появилась возможность измерять температуру в сильных электромагнитных полях, в газоразрядной плазме. Но эти методы оставались контактными, и требовалось располагать чувствительный элемент на конце оптического волокна так, чтобы между ним и объектом достигалось тепловое равновесие. Чувствительным элементом позднее стало и само оптическое волокно, и это использовали для пространственных измерений температуры (например, получали распределение температуры в глубине нефтяных скважин).

В 80-е и 90-е годы исследователи в области плазменной микротехнологии разработали ряд методов лазерной термометрии твёрдых тел [12], в которых исследуемый объект (подложка из монокристалла полупроводника или диэлектрика, плавленого кварца и т. д.) зондируется извне оптическим пучком, обычно лазерным, при этом измеряется какой-либо из температурно-зависимых оптических параметров вещества – показатель преломления или поглощения, ширина запрещённой зоны, энергия оптического фона, отношение стоксовой и антистоксовой линий рассеянного света, время высвечивания фотolumинесценции. Активные методы (с внешним зондированием) не подвержены влиянию оптических и электрических помех, не зависят от качества теплового контакта датчика и объекта. Сам исследуемый объект стал термочувствительным датчиком, показания которого дистанционно считываются световым пучком.

