

ISSN 0368-1025



И  
Т

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ  
ТЕХНИКА  
2012

СЕНТЯБРЬ № 9



И  
Т



СТАНДАРТИНФОРМ

# ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

## 2012

### №9 сентябрь

Ежемесячный  
научно-технический  
журнал  
основан в 1939 г.

Издаётся  
с приложением  
«Метрология»

#### УЧРЕДИТЕЛИ

Федеральное агентство  
по техническому регулированию  
и метрологии

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

ФГУП «Всероссийский  
научно-исследовательский  
институт оптико-физических  
измерений»

ФГУП «Всероссийский  
научно-исследовательский  
институт физико-технических  
и радиотехнических измерений»

ФГУП «Всероссийский  
научно-исследовательский  
институт метрологической  
службы»

ФГУП «Уральский  
научно-исследовательский  
институт метрологии»

ФГУП «Российский  
научно-технический центр  
информации по стандартизации,  
метрологии и оценке соответствия»

Метрологическая академия

#### ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ЭТАЛОНЫ

- В. А. Тищенко, В. И. Лукьянов, В. И. Токатлы.** Государственный первичный эталон единицы напряженности электрического поля в диапазоне частот 0,0003 — 1000 МГц . . . . . 3

#### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТРОЛОГИИ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

- А. М. Райцин.** Измерение отношения двух нормально распределенных случайных величин . . . 7  
**В. П. Арбузов, М. А. Мишина.** Система базисных функций измерительной цепи датчика с ароматным разделением каналов . . . . . 11

#### НАНОМЕТРОЛОГИЯ

- А. Ю. Кузин, П. А. Тодуа, В. И. Панов, А. А. Ежов, Д. А. Музыченко.** Методика калибровки сканирующего оптического микроскопа ближнего поля при измерении геометрических параметров объектов в режиме квазирезонанса . . . . . 15  
**Н. Н. Моисеев, И. Ю. Целимина.** Измерение параметров шероховатости с использованием интерференционного микроскопа . . . . . 19

#### ЛИНЕЙНЫЕ И УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

- Ю. А. Гродецкий, Ю. Е. Дукаревич, Ю. М. Иванов, А. С. Силицын.** Абсолютные высокочастотные датчики угла нового поколения . . . . . 22

#### ИЗМЕРЕНИЯ МАССЫ

- А. А. Фаткуллин, Б. В. Мирончук.** О погрешности измерения массы нетто сырой нефти . . . 26

#### ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

- П. В. Балабанов.** Применение теории решивней задач Штурма—Лиувилля при разработке методов измерения теплофизических характеристик . . . . . 30  
**А. В. Костановский, М. Е. Костановская.** Термодинамическое приложение метода электростатической левитации . . . . . 34  
**З. М. Селиванова, А. А. Самохвалов.** Интеллектуальная информационно-измерительная система для определения теплофизических свойств материалов и изделий . . . . . 38  
**Г. В. Кузнецов, М. Д. Кац.** Погрешности определения теплофизических характеристик полупрозрачных материалов импульсным методом . . . . . 43  
**В. П. Чулулис.** Сравнительная оценка двух методов косвенных измерений разности расходов теплоносителя . . . . . 45  
**А. В. Мамонтов, В. Н. Нефедов, А. Л. Туев, Д. А. Язьков.** Исследование возможности плавления базальта с помощью СВЧ-энергии . . . . . 49

#### ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

- В. И. Иванов, В. С. Титов, А. С. Петров.** Преобразователи параметров многоэлементных двухполосников с дифференцированием сигналов . . . . . 51  
**В. П. Кораткий, В. Н. Ильин.** Измерение феррозондом в режиме детерминированного хаоса . . . . . 54  
**О. Л. Сокол-Кутыловский, Д. С. Тягунов.** Влияние техногенных магнитных полей на геомагнитные измерения в обсерваториях . . . . . 58

#### РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

- В. А. Козьмин, А. Б. Токарев.** Рекомендации по реализации квазициклового и лихового детекторов в цифровых измерительных радиоприемниках . . . . . 61  
**Е. С. Беспалов, А. С. Головенкова, М. А. Полетков.** Способ формирования азимутальной метки фазового радиопеленгатора . . . . . 64

#### ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

- М. Ю. Медведевских, С. В. Медведевских, Е. П. Собина, В. В. Горшков.** Дополнительные исследования источников неопределенности результатов измерений массовой доли влаги в зерне и зернопродуктах с помощью ГЭТ 173—2006 в рамках подготовки к ключевым сличениям . . . . . 66  
**В. А. Копышев, Н. П. Соколова, А. М. Горбунов, Л. Б. Максеева, М. Р. Киселев, А. Ю. Цивадзе.** Возможности комбинирования резистометрии и инфракрасной фурье-спектроскопии в контроле формирования компактированных металл-оксидных нанокмпозитов . . . . . 69

**Главный редактор**  
**В. Н. Крутиков**

**Редакционная коллегия:**

В. С. Александров,  
В. И. Белоцерковский,  
Ю. А. Богомолов,  
Ю. И. Брегадзе,  
С. И. Донченко, В. С. Иванов,  
Л. К. Исаев, Г. И. Кавалеров,  
А. Д. Козлов, С. А. Кононогов,  
А. Ю. Кузин, В. М. Лахов  
(зам. гл. редактора);  
В. Ф. Матвейчук,  
С. В. Медведевских,  
А. И. Механников,  
В. В. Окрепилов,  
Б. С. Пункевич, Ю. В. Тарбеев,  
П. А. Тодуа, О. Е. Фомкина  
(зам. гл. редактора);  
Н. И. Ханов, В. Н. Храменков,  
И. А. Шайко

**Журнал переводится  
на английский язык  
под названием  
«MEASUREMENT TECHNIQUES»  
издательством Springer  
[www.springer.com/11018](http://www.springer.com/11018)**

Технический редактор *Г. А. Терешкина*  
Корректор *М. В. Бучная*  
Компьютерная верстка *А. П. Финогеновой*

Сдано в набор 01.08.2012. Подписано  
в печать 04.09.2012. Формат 60×90<sup>1/8</sup>. Бумага  
офсетная. Печать офсетная. Усл. п. л. 9,0.  
Уч.-изд. л. 10,41. Тир. 424 экз. Зак. 1210.

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-21572  
от 15.07.2005

Адрес редакции: 117418 Москва, Нахимовский проспект,  
д. 31, к. 2, тел. 531-26-21;  
Почтовый адрес: 117418 Москва, Нахимовский проспект,  
д. 31, к. 2,  
ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»  
e-mail: [izmi@gostinfo.ru](mailto:izmi@gostinfo.ru); [izmi@yandex.ru](mailto:izmi@yandex.ru); [www.gostinfo.ru](http://www.gostinfo.ru)

Калужская типография стандартов,  
248021 Калуга, ул. Московская, 256

© Измерительная техника, 2012

**STATE STANDARDS**

- V. A. Tischenko, V. I. Loukianov, V. I. Tokatly. The State primary standard of electric field strength unit in frequency range 0,0003 — 1000 MHz . . . . . 3

**GENERAL PROBLEMS OF METROLOGY AND MEASUREMENT TECHNIQUES**

- A. M. Raitsin. The measurement of two normally distributed random quantities ratio . . . . . 7  
V. P. Arbuzov, M. A. Mishina. Basis functions system of sensor measuring circuit with time division of channels . . . . . 11

**NANOMETROLOGY**

- A. Yu. Kuzin, P. A. Todua, V. I. Panov, A. A. Ejov, D. A. Muzychenko. The procedure of scanning near-field optical microscope calibration at measuring the geometrical parameters of objects in shear force mode . . . . . 15  
N. N. Moiseev, I. Yu. Tselmina. Roughness parameters measurement on interference microscope . . . 19

**LINEAR AND ANGULAR MEASUREMENTS**

- Yu. A. Grodetsky, Yu. E. Dukarevich, Yu. M. Ivanov, A. S. Sinitin. A new generation of absolute high-precision angle sensors . . . . . 22

**MASS MEASUREMENT**

- A. A. Fatkulini, B. V. Mironchuk. On the error of crude oil net weight measurement . . . . . 26

**TERMOPHYSICAL MEASUREMENTS**

- P. V. Babanov. Application of the theory of Sturm—Liouville problems solutions at development of thermophysical properties measuring methods . . . . . 30  
A. V. Kostanovskiy, M. E. Kostanovskaya. The thermodynamic application of electrostatic levitation method . . . . . 34  
Z. M. Selivanova, A. A. Samokhvalov. Intellectual measuring information system for materials and products thermophysical properties determination . . . . . 38  
G. V. Kuznetsov, M. D. Katz. The errors of semitransparent materials thermophysical characteristics determination by pulse method . . . . . 43  
V. P. Chipulis. Comparative estimation of two methods of indirect measurements of heat carrier consumption difference . . . . . 45  
A. V. Mamontov, V. N. Nefedov, A. L. Tuv, D. A. Zazykov. Analysis of microwave application for basalt melting . . . . . 49

**ELECTROMAGNETIC MEASUREMENTS**

- V. I. Ivanov, V. S. Titov, A. S. Petrov. The converters of parameters of multilevel dipoles with signals differentiation . . . . . 51  
V. P. Korotky, V. N. Ilyin. The construction of broadband ferro-modulation magnetometer invariant to chaotic excitation of sensitive element . . . . . 54  
O. L. Sokol-Kutylovsky, D. S. Tyagunov. The technogenic magnetic fields influence on geomagnetic observatories measurements . . . . . 58

**RADIO MEASUREMENTS**

- V. A. Koz'min, A. B. Tokarev. Recommendations for quasi-peak and peak detectors realization in digital measuring radio receivers . . . . . 61  
E. S. Bespafov, A. S. Holovenkova, M. A. Paletkov. The method of azimuth mark formation for the phase radio direction finder . . . . . 64

**PHYSICO-CHEMICAL MEASUREMENTS**

- M. Yu. Medvedevskikh, S. V. Medvedevskikh, E. P. Sobina, V. V. Gorshkov. Additional studies of sources of uncertainty of measurement results of moisture mass content in grain and cereals by means of GET 173—2008 for key comparisons preparation . . . . . 65  
V. A. Kotanov, N. P. Sokolova, A. M. Gorbunov, L. B. Maksaeva, M. R. Kiselev, A. Yu. Tsivedze. The possibilities of resistometry and IR-Fourier spectroscopy combination in control of compacted metal-oxide nanocomposites . . . . . 69

Безусловное преимущество дифференциального метода состоит в том, что при его использовании погрешность измерения не зависит от измеряемого расхода и не может превышать максимальную (по модулю) погрешность расходомеров (поскольку модуль среднего арифметического двух чисел не может превышать модуль большего из них). В то же время погрешность измерения стандартным методом зависит от измеряемых расходов (а точнее от их соотношения) и стремится к бесконечности с уменьшением степени открытости системы. Все это определяет сферу предпочтительного применения дифференциального метода. Если первоочередным требованием пользователя являются измерения разности расходов с погрешностью в пределах погрешностей измеряемых приборов, то следует остановиться на дифференциальном методе.

Однако при выполнении определенных условий стандартный метод может обеспечить лучший результат по сравнению с дифференциальным. Эти условия сводятся к следующему. Во-первых, необходимо выбирать пары расходомеров с погрешностями одного и того же знака. Во-вторых, в подающий трубопровод следует устанавливать расходомер с меньшей (по модулю) погрешностью, а в обратный — с

большой. Если известна (хотя бы приблизительно) степень с открытости системы, то надо стремиться к тому, чтобы отношение погрешностей выбираемых расходомеров  $\rho = \rho_1/\rho_2$  было больше значения  $s$ , определяемого из графика рис. 3 (оптимальный случай — приближалось к  $s$ ). Представляется, что эти условия нетрудно выполнить. И если эта задача будет решена, то целесообразно использовать малозатратный (по сравнению с дифференциальным) стандартный метод измерения разности расходов теплоносителя.

## Литература

1. Лупей А. Г. О правилах учета тепловой энергии и измерении разности масс // Коммерческий учет энергоносителей: Труды 22-й науч.-практ. конф. СПб., 2005. С. 181—190.
2. Лупей А. Г. Сравнение результатов непосредственных и косвенных измерений количества воды, потребляемой на нужды горячего водоснабжения // Коммерческий учет энергоносителей: Труды 13-й науч.-практ. конф. СПб., 2001. С. 153—161.

Дата принятия 01.12.2011 г.

621.385.6.6

## Исследование возможности плавления базальта с помощью СВЧ-энергии

А. В. МАМОНТОВ, В. Н. НЕФЕДОВ, А. Л. ТУВ, Д. А. ЯЗЫКОВ

Московский государственный институт электроники и математики, Москва, Россия, e-mail: lms@miem.ru

*Представлены результаты экспериментальных исследований применения микроволновой энергии для термообработки базальта. Приведены численные результаты и график изменения температуры образца базальта. Показано, что микроволновый нагрев имеет ряд преимуществ перед традиционными методами плавления базальта с использованием сжигаемого топлива.*

**Ключевые слова:** СВЧ-излучение, теплоизоляционный материал, распределение температуры, волновод, базальт, плавление, термообработка.

*The experimental research results of basalt thermal treatment with the microwave electromagnetic energy application are presented. The numerical results as well as a diagram of basalt temperature change are presented. It is shown that microwave treatment has a number of advantages over the traditional ways of basalt melting with the use of burnable fuel.*

**Key words:** microwave radiation, heat-insulating material, temperature distribution, waveguide, basalt, melting, thermal treatment.

В условиях современного производства все большее внимание уделяется поиску новых технологических решений, соответствующих требованиям экологической чистоты, сбережения энергетических ресурсов с одновременным повышением эффективности технологических процессов. Разрабатываются новые материалы, отвечающие современным требованиям, производство которых требует внедрения новых технологических процессов, так как традиционные технологии в этом случае либо оказываются малоэффективными, либо вовсе не способными привести к необходимому результату. Ниже рассмотрен пример практического изучения возможности применения современных технологий для обработки материалов.

Предпосылкой для проведения данного исследования явилась необходимость модернизации технологии произ-

водства базальтового утеплителя на одном из российских предприятий. Существующий технологический процесс включает плавление базальтового гравия, получение сверхтонкого штапельного волокна из расплава базальта с его одновременной пропиткой связующим веществом, формование полотна утеплителя с последующим отверждением связующего [1, 2]. Наиболее затратным и трудоемким этапом технологического цикла является именно процесс плавления базальта, поскольку обладает рядом недостатков:

длительный этап запуска плавильной печи (несколько дней);

применение кокса в качестве топлива для плавильной печи (в условиях данного технологического процесса);

необходимость использования для плавления щебня базальта только определенных фракций;

вынужденная холостая работа печи для поддержания температуры при технических сбоях на последующих после плавления технологических этапах (формование, отверждение).

Существует и еще несколько менее значимых по сравнению с приведенными выше недостатков данного способа плавления базальта. Для их устранения были проведены экспериментальные исследования по оценке возможности применения энергии электромагнитных волн сверхвысокой частоты (СВЧ) в процессе плавки базальтового сырья.

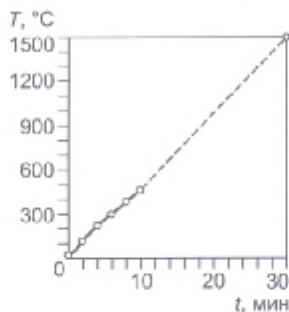
Выбор данного способа нагрева обоснован рядом преимуществ использования в качестве источника тепла СВЧ-энергии по сравнению с сжиганием различных видов топлива: равномерность прогрева материала значительной толщины вне зависимости от его теплопроводности, высокий коэффициент преобразования СВЧ-энергии в тепловую (до 100 %), безынерционность и экологическая чистота процесса и др.

Исследовали образец кондопожского базальта массой около 700 г и объемом 400 см<sup>3</sup>, который нагревали в СВЧ-камере, питаемой одним источником СВЧ-мощностью 600 Вт. С целью снижения теплоотдачи в окружающее пространство образец помещали в теплоизоляционную оболочку из радиопрозрачного материала с низкой теплопроводностью. Для контроля температуры в образце было проделано несквозное отверстие диаметром 2 мм, заканчивавшееся приблизительно в геометрическом центре объема образца. Такое расположение отверстия обусловлено объемным характером нагрева при воздействии СВЧ-излучения и ожидаемым максимумом температуры именно в середине нагреваемого образца.

Температуру измеряли при помощи термопарного датчика в течение нескольких секунд после извлечения базальта из камеры нагрева. К сожалению, возможности используемого измерительного оборудования были ограничены температурой 500 °С. Результаты измерений представлены в таблице.

t, мин	0	2	4	6	8	10
T, °С	22	110	200	300	380	450

После проведения последнего измерения, указанного в таблице, образец был помещен в камеру, где подвергся непрерывному нагреву до появления видимого даже сквозь слой теплоизоляционного материала яркого свечения. Время нагрева составило 20 мин.



Зависимость температуры внутри образца базальта от времени нагрева в СВЧ-камере

После этого образец был извлечен из камеры и удален слой теплоизоляционного материала. На образце образовалась глубокая трещина, разделившая его на две части. Эта трещина явилась следствием сильного теплового расширения внутренней области образца по отношению к внешней, что наглядно демонстрирует именно объемный характер нагрева при СВЧ-термообработке.

Далее образец был разделен на две части по образовавшейся трещине, после чего расплавленная внутренняя область образца вытянулась в стекловидные нити разной толщины, что свидетельствует о достижении необходимой для этого температуры. Приняв во внимание текучесть расплава и его яркое свечение в первый момент времени после разделения, температуру внутренней области можно оценить приблизительно в 1500 °С. Результаты проведенных экспериментальных исследований в виде графика зависимости температуры нагрева от времени воздействия СВЧ-мощности представлены на рисунке. Сплошная линия, проведенная через экспериментально полученные точки, практически совпадает по своему характеру с экстраполированным участком, изображенным в виде пунктирной линии. Общий вид графика демонстрирует практически линейную зависимость роста температуры внутри образца со временем нагрева в СВЧ-камере.

Кроме того, полученные данные (масса и объем образца, время нагрева до конечной температуры, мощность СВЧ-источника камеры) позволили оценить энергетические затраты, приведенные как к объему нагреваемого материала 1,5 МВт/м<sup>3</sup>, так и к его массе 0,8 (кВт · ч)/кг.

Обобщив результаты измерений, можно вполне обоснованно сделать заключение о практической перспективе применения СВЧ-нагрева в технологии плавления базальта. При этом данная технология будет обладать несомненными преимуществами по сравнению с традиционно используемыми в настоящее время: быстрым запуском процесса плавления; отсутствием сгораемого топлива и, как следствие, резким снижением вредных выбросов в атмосферу; возможностью плавления практически любых фракций базальтового щебня (от сопутствующих до 150 мм и более); возможностью получения очень высокой температуры для обеспечения необходимой текучести расплава; «выгодными» энергетическими характеристиками, обусловленными адресным характером СВЧ-нагрева; отсутствием транспорта для топлива (к примеру, трубопроводов для газа) и затрат на его обслуживание и т. д.

Однако для реализации такого процесса на практике требуется соответствующее метрологическое обеспечение, позволяющее контролировать температуру расплава в реальном времени. Термопары, применяемые для этого при традиционном способе плавления, малоприменимы в случае СВЧ-нагрева. Наиболее удачным решением в этом случае могут стать пирометры, обладающие необходимым диапазоном измеряемых температур. Конструктивно пирометр может быть размещен около открытого окошка на верхней стенке плавильной камеры над расплавом. При этом для предотвращения возможных утечек СВЧ-мощности в окружающее пространство окошко может быть выполнено в виде запердельного волновода в форме трубы круглого сечения. Длину и внутренний диаметр трубы рассчитывают исходя из требуемого затухания для СВЧ-волны и показателя визирования пирометра.

#### Литература

1. Уваров А. С. Негорючий экологически чистый базальтоволокнистый утеплитель // Строительные материалы. 1997. № 4. С. 26—27.
2. Базальтовая вата: история и современность: Сборник материалов. Пермь: ИИЕТ РАН, 2003.

Дата принятия 02.04.2012 г.