

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА 2019 № 3 март

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

СОДЕРЖАНИЕ

ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ЭТАЛОНЫ

- И. В. Садковская, А. И. Эйхвальд, Т. А. Эйхвальд. Лазерный интерференционный масляный манометр Государственного первичного эталона единицы давления ГЭТ 101–2011.....* 3

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТРОЛОГИИ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

- В. Ш. Сулаберидзе, А. Г. Чуновкина. О гармонизации терминологии в нормативных документах по оценке соответствия средств и методик выполнения измерений метрологическим требованиям.....* 8
- К. К. Семёнов, А. А. Целищева. Обобщённый интервальный метод бисекции для метрологически обоснованного поиска решений систем уравнений с неточно заданными исходными данными.....* 13

Международный семинар «Математическая, статистическая и компьютерная поддержка качества измерений»

- Л. А. Мироновский, В. А. Слаев. Стрип-преобразование изображений с заданными инвариантами.....* 19
- В. Д. Мазин. Векторное выражение единицы физической величины.....* 26

ИЗМЕРЕНИЯ В ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

- С. В. Соколов, В. А. Позгорелов. Нелинейная динамическая оценка углов ориентации подвижного объекта по распределённым спутниковым измерениям.....* 30

ОПТИКО-ФИЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

- А. А. Мочалов, А. Ю. Варакин, А. Н. Арбеков. Измерения полей скорости нестационарных воздушных вихрей методом анемометрии по изображениям частиц.....* 37

ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ И ЧАСТОТЫ

- В. В. Акулов, Г. П. Пашев. Анализ цифровых линейных систем автоподстройки частоты высокостабильного генератора по радиосигналу глобальной навигационной системы.....* 42

МЕХАНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

- В. И. Чесноков, Б. А. Иполитов. Оценивание погрешности определения коэффициента расширения для стандартных сужающих устройств в рабочих условиях узла учёта газа.....* 46

АКУСТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

- Р. А. Балакин, В. Э. Голавский. Измерение расхода воды в реках с ледяным покровом методом горизонтального гидроакустического зондирования.....* 53
- А. В. Савченко, В. В. Савченко. Метод измерения частоты основного тона речевого сигнала для систем акустического анализа речи.....* 59

МЕДИЦИНСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

- А. А. Федотов. Помехоустойчивость методик контурного анализа пульсовой волны.....* 64

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

- В. Н. Симонов, Д. А. Власов. Пьезорезонансные химические сенсоры на эластичных полимерных плёнках.....* 68

Главный редактор
С. С. Голубев

Редакционная коллегия:

В. И. Белоцерковский
С. И. Донченко
И. В. Емельянова
(зам. гл. редактора)
Л. К. Исаев
А. Д. Козлов
Е. П. Кривцов
В. Н. Крутиков
А. Ю. Кузин
С. В. Медведевских
А. И. Механиков
В. В. Окрепилов
В. Н. Храменков
И. А. Шайко
В. В. Швыдун

**Журнал переводится
на английский язык
под названием
«Measurement
Techniques»
издательством Springer
www.springer.com/11018**

Корректор *М. В. Бучная*
Компьютерная вёрстка *С. А. Мамедова*

Сдано в набор: 27.02.2019.
Подписано в печать: 28.03.2019.
Формат 60х90^{1/8}. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. п.л. 9,0. Уч.-изд. л. 11,5. Тир. 300 экз. Зак 19-16в.

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-21572
от 15.07.2005.

Адрес редакции: 119361 Москва, ул. Озёрная, 46,
ФГУП «ВНИИМС»
Тел.: 8 (495) 781-48-70
e-mail: izmt@vniims.ru
www.izmt.ru

Редакция не несёт ответственности за
содержание рекламных материалов. Точка зрения
редакции может не совпадать с мнением авторов.

ООО «Типография Миттель Пресс»
127254 Москва, ул. Руставели, 14 с. 6, оф.14

© Измерительная техника, 2019

CONTENTS

STATE STANDARDS

I. V. Sadkovskaya, A. I. Eikhvald, T. A. Eikhvald. Laser interferometric oil manometer of State primary pressure standard GET 101–2011..... 3

GENERAL PROBLEMS OF METROLOGY AND MEASUREMENT TECHNIQUES

V. Sh. Sulaberidze, A. G. Chunovkina. Harmonization of terminology in regulatory documents on the assessment of conformity of methods and measuring instruments with metrological requirements 8
K. K. Semenov, A. A. Tzelischeva. The generalized interval bisection for the metrologically valid solving of the system of the equations with inaccurate initial data . 13

International seminar «Mathematical, statistical and computer support of measurement quality»

L. A. Mironovskiy, V. A. Slaev. Strip-transformation of images with given invariants 19
V. D. Mazin. Vector aspect of physical quantity unit..... 26

MEASUREMENTS IN INFORMATION TECHNOLOGIES

S. V. Sokolov, V. A. Pogorelov. Nonlinear dynamic evaluation of orientation angles of a moving object using diverse satellite measurements..... 30

OPTICOPHYSICAL MEASUREMENTS

A. A. Mochalov, A. Yu. Varaksin, A. N. Arbekov. The measurements of the velocity fields of non-stationary air vortexes by particle image velocimetry 37

TIME AND FREQUENCY MEASUREMENTS

V. V. Akulov, G. P. Pashev. The analysis of digital linear automatic frequency control systems of high-stability generator by radio signal of space navigation system..... 42

MECHANICAL MEASUREMENTS

V. I. Chesnokov, B. A. Ipolitov. Error estimation in measurements the expansion factor for standard pressure differential devices at working conditions gas metering station .. 46

ACOUSTIC MEASUREMENTS

R. A. Balakin, V. E. Golavskii. Horizontal hydroacoustic sounding method of water flow measurement in rivers with ice cover..... 53
A. V. Savchenko, V. V. Savchenko. A method of the speech signal pitch frequency measurement for acoustic speech analysis systems..... 59

MEDICAL AND BIOLOGICAL MEASUREMENTS

A. A. Fedotov. Noise immunity of pulse wave contour analysis 64

PHYSICOCHEMICAL MEASUREMENTS

V. N. Simonov, D. A. Vlasov. Piezoresonance chemical sensors on elastic polymer films .. 68

Лазерный интерференционный масляный манометр Государственного первичного эталона единицы давления ГЭТ 101–2011

И. В. Садковская¹, А. И. Эйхвальд², Т. А. Эйхвальд¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: siv@vniim.ru

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: eich47@mail.ru

Описаны конструкция, принцип действия и бюджет погрешностей лазерного интерференционного масляного манометра, разработанного во ВНИИМ им. Д. И. Менделеева и вошедшего в состав Государственного первичного эталона единицы давления ГЭТ 101–2011. Представлены результаты проведённых с применением лазерного интерференционного масляного манометра исследований высокоточных средств измерений давления. Приведены итоги ключевых сличений и международного сотрудничества в области жидкостной манометрии.

Ключевые слова: эталон, лазерный интерференционный масляный манометр, поплавковое демпфирующее устройство, компрессионный манометр, капиллярные явления, эффект термической транспирации, ключевые сличения.

Утверждённый в 2012 г. Государственный первичный эталон единицы давления для области абсолютного давления в диапазоне $1 \cdot 10^{-1}$ – $7 \cdot 10^5$ Па ГЭТ 101–2011 содержит три измерительные установки: лазерный интерференционный масляный манометр (ЛИММ), диапазон измерений которого составляет $1 \cdot 10^{-1}$ – $1 \cdot 10^3$ Па; лазерный интерференционный ртутный манометр (ЛИРМ) с диапазоном $1 \cdot 10^2$ – $1,3 \cdot 10^5$ Па; грузопоршневой манометр с газовой смазкой с диапазоном $7 \cdot 10^3$ – $7 \cdot 10^5$ Па [1].

ЛИММ построен на основе поплавковых демпфирующих устройств (поплавок), изобретённых в 2004 г. во ВНИИМ им. Д. И. Менделеева [2]. За время, прошедшее после утверждения эталона ГЭТ 101–2011, были проведены работы по совершенствованию конструкции поплавков, накоплен опыт по исследованию с помощью ЛИММ высокоточных средств измерений (СИ) низкого давления. В 2013 г. ЛИММ принял участие в ключевых сличениях ССМ.Р.-К4.2012, по результатам которых проведены дополнительные исследования его метрологических характеристик. В настоящей статье представлены результаты этих работ.

Воспроизведение единицы давления в диапазоне 0,1–1000 Па. До 1980-х гг. в качестве первичных эталонов единицы давления в диапазоне 0,1–1000 Па широко использовали ртутные компрессионные манометры Мак-Леода. В частности, в СССР (во ВНИИМ) был разработан Государственный специальный эталон единицы давления для области абсолютного давления в диапазоне 10^{-3} – 10^3 Па ГЭТ 49–80 [3], основу которого составляли компрессионные манометры Мак-Леода. Указанный эталон обеспечивал воспроизведение единицы давления со средним квадратическим отклонением результата измерений, не превышающим 0,3 %, при неисключённой систематической погрешности (НСП), не превышающей 0,3 %.

Однако возросшие требования к точности воспроизведения единицы давления, сложность эксплуатации и отсутствие

перспективы совершенствования привели к отказу от манометров Мак-Леода в мировой метрологии. Им на смену пришли интерференционные масляные манометры (оптические и ультразвуковые) [4–8] и генераторы давления, действующие на принципе статического расширения газа [9].

Во ВНИИМ исследования с целью разработки масляного манометра с лазерно-интерференционным измерителем разности уровней жидкости были начаты в 1999 г.

Конструкция и принцип действия ЛИММ. Основная проблема разработки оптических интерференционных масляных манометров была связана с вибрационными колебаниями поверхности масла, приводящими к неустойчивости интерференции. В [4–6] для подавления вибрационных колебаний зеркала интерферометра устанавливали под поверхностью масла на глубине не более 2 мм. В результате вязкого трения поверхностные волны в таком тонком слое масла имели достаточно низкую интенсивность, что позволяло проводить интерференционные измерения. Однако это приводило к существенному ограничению сверху диапазона измеряемого давления, например до 6 Па [6]. В начале 2000-х гг. во ВНИИМ было найдено техническое решение задачи демпфирования поверхностных волн масла в U-образном манометре в широких пределах измеряемого давления. Этим решением стало поплавковое демпфирующее устройство, внутри которого масло образует тонкий слой над твёрдым дном чаши поплавок [2]. В процессе эксплуатации ГЭТ 101–2011 поплавковые устройства ЛИММ были усовершенствованы, их современная конструкция представлена на схеме манометра (рис. 1). Поплавок состоит из фторопластовой чаши 3, в которую масло проникает сквозь донные отверстия 11, и стеклянного баллона 2 с фторопластовым стабилизатором 1. Стабилизатор обеспечивает минимальность поперечных смещений поплавок относительно оси колена манометра (около 0,1 мм).