

# ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

## 2019 №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

## СОДЕРЖАНИЕ

### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТРОЛОГИИ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

- А. В. Лапко, В. А. Лапко.** Зависимость между параметрами гистограммы и ядерной оценки одномодальной плотности вероятности..... 3
- П. В. Власов, Ф. И. Храпов, Л. С. Субота, Е. М. Черёмина.** Сравнительная оценка точности и робастности различных алгоритмов обработки информации от троированных измерительных каналов..... 9

### НАНОМЕТРОЛОГИЯ

- М. К. Аленичев, А. А. Юшина, Е. Б. Дроженникова, И. С. Филимонов, О. А. Баранова, А. В. Чеканов, А. Д. Левин.** Флуоресцентный наносенсор на коллоидных квантовых точках для определения восстановленного глутатиона .. 16

### ОПТИКО-ФИЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

- Г. Г. Левин, В. Л. Ляковский, А. А. Самойленко, К. Н. Миньков.** Перестраиваемый источник бифотонного излучения на основе спонтанного параметрического рассеяния..... 22

### МЕХАНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

- А. Д. Иванов, В. Л. Минаев, Г. Н. Вишняков, Г. Г. Левин.** Устройство для калибровки электронных спекл-интерферометров..... 27
- И. А. Кириллов.** Измерение расхода питательной воды реакторных установок атомных станций..... 33

### РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

- А. И. Казьмин, П. А. Федюнин.** Восстановление структуры электрофизических параметров многослойных диэлектрических материалов и покрытий по частотной зависимости коэффициента ослабления поля поверхностной электромагнитной волны..... 39
- А. Р. Гасанов, Р. А. Гасанов, Р. А. Ахмедов, Э. А. Агаев.** Временные и частотные характеристики акустооптической линии задержки с прямым детектированием..... 46

### АКУСТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

- А. Е. Исаяев, А. Н. Матвеев, Г. С. Некрич.** Использование отражения звука для подтверждения возможности калибровки векторного приёмника в незаглушенном бассейне..... 53
- В. В. Савченко, Л. В. Савченко.** Метод измерений показателя разборчивости речевого сигнала в информационной метрике Кульбака–Лейблера ..... 59

### ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

- А. М. Полянский, Л. А. Конопелько, В. А. Полянский, Ю. А. Яковлев.** Разработка нового поколения стандартных образцов состава алюминиевых сплавов с низким содержанием водорода..... 65

**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. Механников**

**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](http://www.springer.com/11018)**

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

Сдано в набор: 20.08.2019.  
Подписано в печать: 27.09.2019.  
Формат 60х90<sup>1/8</sup>. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Усл. п.л. 9,0. Уч.-изд. л. 11,5. Тир. 300 экз. Зак 19-12п.

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](mailto:izmt@vniims.ru)

[www.izmt.ru](http://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

## GENERAL PROBLEMS OF METROLOGY AND MEASUREMENT TECHNIQUES

- A. V. Lapko, V. A. Lapko.** The dependence between the parameters of the histogram and kernel estimators of a unimodal probability density ..... 3
- P. V. Vlasov, F. I. Khrapov, L. S. Subota, E. M. Cheremina.** Comparative evaluation of expanded measurement uncertainty at various algorithms of measuring information processing from triplicate measurement channels and their robustness ..... 9

## NANOMETROLOGY

- M. K. Alenichev, A. A. Yushina, E. B. Drozzennikova, I. S. Filimonov, O. A. Baranova, A. V. Chekanov, A. D. Levin.** Fluorescent nanosensors based on colloidal quantum dots for determination of reduced glutathione ..... 16

## OPTICOPHYSICAL MEASUREMENTS

- G. G. Levin, V. L. Lyaskovskiy, A. A. Samoylenko, K. N. Minkov.** Spontaneous parametric down-conversion based tunable bi-photon source ..... 22

## MECHANICAL MEASUREMENTS

- A. D. Ivanov, V. L. Minaev, G. N. Vishnyakov, G. G. Levin.** Device for calibration of electronic speckle pattern interferometers ..... 27
- I. A. Kirillov.** Measurement of feedwater flow of nuclear power plants reactors ..... 33

## RADIO MEASUREMENTS

- A. I. Kaz'min, P. A. Fedjunin.** Reconstruction of the structure electrophysical parameters of multilayer dielectric materials and coatings according to the frequency dependence of the attenuation coefficient of the field of surface electromagnetic wave ..... 39
- A. R. Hasanov, R. A. Hasanov, R. A. Ahmadov, E. A. Agayev.** Time and frequency characteristics of acousto-optic delay line with direct detection ..... 46

## ACOUSTIC MEASUREMENTS

- A. E. Isaev, A. N. Matveev, G. S. Nekrich.** Using sound reflection to confirm the ability to calibrate a vector receiver in a non-anechoic water tank ..... 53
- V. V. Savchenko, L. V. Savchenko.** Measurements method of the speech signal intelligibility in the Kullback–Leibler information metric ..... 59

## PHYSICOCHEMICAL MEASUREMENTS

- A. M. Polyanskiy, L. A. Konopel'ko, V. A. Polyanskiy, Y. A. Yakovlev.** Development of a new generation of reference samples of aluminum alloys with a low hydrogen concentration ..... 65

## Зависимость между параметрами гистограммы и ядерной оценки одномодальной плотности вероятности

А. В. Лапко<sup>1, 2</sup>, В. А. Лапко<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск, Российская Федерация, e-mail: lapko@icm.krasn.ru

<sup>2</sup>Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М. Ф. Решетнёва, Красноярск, Российская Федерация, e-mail: lapko@icm.krasn.ru

Определена зависимость между интервалом дискретизации области значений одномерной случайной величины и коэффициентом размытости ядерной оценки плотности вероятности. В исследованиях использованы результаты анализа асимптотических свойств непараметрической оценки плотности вероятности типа Розенблатта–Парзена и её модификации. Показано, что модификация ядерной оценки плотности вероятности является сглаженной гистограммой. Рассмотрены оптимальные выражения для коэффициента размытости ядерных функций и длины интервала дискретизации области значений одномерной случайной величины. Данные параметры получены из условия минимума средних квадратических отклонений рассматриваемых оценок плотности вероятности. На этой основе установлено соотношение между изучаемыми параметрами, которое определяется константой и зависит от применённой ядерной функции и объёма исходных статистических данных. Значения обнаруженной константы характеризуются видом восстанавливаемой плотности вероятности и не зависят от её параметров. По данным вычислительных экспериментов предложены формулы оценивания анализируемой константы по значению коэффициента контрэкцесса для симметричных и несимметричных законов распределения. Для оценивания коэффициента контрэкцесса использованы исходные статистические данные в задаче восстановления плотности вероятности. Полученные результаты обеспечивают возможность быстрого определения длины интервала дискретизации по значению коэффициента размытости ядерной функции, что имеет актуальное значение при проверке гипотез о распределениях случайных величин. Представленные выводы подтверждены результатами вычислительных экспериментов.

**Ключевые слова:** гистограмма, ядерная оценка плотности вероятности, выбор коэффициентов размытости, дискретизация интервала значений случайной величины.

Теоретическую основу синтеза систем обработки информации и принятия решений в условиях неопределённости составляет проблема оценивания плотности вероятности. Первые исследования в этом направлении были сосредоточены на оценивании плотности вероятности в виде гистограммы [1]. При её построении возникает трудно формализуемая задача дискретизации области значений случайной величины. Существует ряд методов для решения данной задачи [2–5]. Метод оптимального выбора количества интервалов дискретизации для анализа аппроксимационных свойств регрессионной оценки плотности вероятности, являющейся сглаженной гистограммой, предложен в работах [6–9]. При построении сглаженной гистограммы используется методика дискретизации области значений случайной величины, что позволяет «сжать» исходную статистическую информацию в промежуточный массив данных. Элементами этого массива оказываются центры интервалов дискретизации и частота принадлежности значений случайной величины этим интервалам. По полученной информации восстанавливается плотность вероятности в виде непараметрической оценки кривой регрессии ядерного типа. Применяв технологию исследования асимптотических свойств предложенной непараметрической

оценки плотности вероятности, можно установить зависимость между количеством интервалов дискретизации области значений случайной величины и объёмом исходных статистических данных.

В последние десятилетия активно исследуются ядерные оценки плотности вероятности и функционалы от них [5, 10–17]. Исследованы асимптотические свойства и количественные зависимости между коэффициентом размытости ядерной функции, объёмом статистических данных и особенностями восстанавливаемых закономерностей. Полученные результаты позволяют установить зависимость между параметрами гистограммы и коэффициентом размытости ядерной оценки плотности вероятности, что создаёт основу их развития и использования при построении методов принятия решений в условиях неопределённости.

Цель работы состоит в установлении зависимости между параметрами гистограммы и ядерной оценки одномодальной плотности вероятности на основе анализа результатов исследования их асимптотических свойств.

**Свойства ядерной оценки плотности вероятности и её модификации.** В качестве аппроксимации плотности вероятности одномерной случайной величины  $x$  по выборке