



ISSN 1681-7710

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПОВІТРЯНИХ СИЛ  
ІМЕНІ ІВАНА КОЖЕДУБА

# Системи обробки інформації

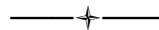
Наукове  
періодичне  
видання

**Випуск 6 (143)**



МЕТРОЛОГІЯ,  
ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ  
ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ

METROLOGY,  
INFORMATION MEASURING  
TECHNOLOGIES AND SYSTEMS



ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ  
В СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

MINFORMATION PROCESSING  
IN COMPLEX ENGINEERING SYSTEMS

Харків  
2016

Збірник наукових праць «Системи обробки інформації» заснований у 1996 році. У збірнику публікуються результати досліджень з розробки нових інформаційних технологій як для рішення традиційних задач збору, обробки та відображення даних, так і для побудови систем обробки інформації у різних проблемних галузях. Збірник призначений для наукових працівників, викладачів, докторантів, ад'юнктів, аспірантів, а також курсантів та студентів старших курсів відповідних спеціальностей.

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

- Голова:** СТАСЄВ Юрій Володимирович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків).
- Члени:** БАЙРАМОВ Азад Агахар Огли (д-р фіз.-мат. наук проф., Військова академія, Баку, Азербайджан);  
БАРАННИК Володимир Вікторович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);  
БІЛЬЧУК Віктор Михайлович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);  
ВАРША Зігмунд Лех (PhD, Polish Metrological Society, Варшава, Польща);  
ГОРОБЕЦЬ Микола Миколайович (д-р техн. наук проф., ХНУ, Харків);  
ГОРОДНОВ В'ячеслав Петрович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків);  
ДРОБАХА Григорій Андрійович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків);  
ЄВДОКИМОВ Віктор Федорович (д-р техн. наук проф., член-кор. НАНУ, ІПМЕ НАНУ, Київ);  
ЄРМОШИН Михайло Олександрович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків);  
ЗАХАРОВ Ігор Петрович (д-р техн. наук проф., ХНУРЕ, Харків);  
ІВАНОВ Віктор Кузьмич (д-р фіз.-мат. наук с.н.с., ІРЕ НАНУ, Харків);  
КОНОВАЛЕНКО Олександр Олександрович (д-р фіз.-мат. наук проф., академік НАНУ, РІ НАНУ, Харків);  
КОНОНОВ Володимир Борисович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);  
КРАСНОБАЄВ Віктор Анатолійович (д-р техн. наук проф., ХНУ, Харків);  
КУПЧЕНКО Леонід Федорович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);  
КУЧУК Георгій Анатолійович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);  
ЛОСЄВ Юрій Іванович (д-р техн. наук проф., ХНУ, Харків);  
ПАВЛЕНКО Максим Анатолійович (д-р техн. наук доц., ХУПС, Харків);  
ПОРОШИН Сергій Михайлович (д-р техн. наук проф., НТУ «ХПІ», Харків);  
РАДЄВ Христо Кирилов (д-р техн. наук проф., Технічний університет, Софія, Болгарія);  
РУБАН Ігор Вікторович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);  
СЕРЕНКОВ Павло Степанович (д-р техн. наук проф., БДУ, Мінськ, Білорусь);  
СМЕЛЯКОВ Кирило Сергійович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);  
СМЕЛЯКОВ Сергій В'ячеславович (д-р фіз.-мат. наук проф., ХУПС, Харків);  
СМІРНОВ Євген Борисович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків);  
ТИМОЧКО Олександр Іванович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);  
ХАКІМОВ Ортаголи Шарипович (д-р техн. наук проф., ДУ ЦНЕ, Ташкент, Узбекистан);  
ХАРЧЕНКО В'ячеслав Сергійович (д-р техн. наук проф., НАКУ «ХАІ», Харків);  
ШМАКОВ Олександр Миколайович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків);  
ЯРОШ Сергій Петрович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків).

**Відповідальний секретар:** КОРОЛЮК Наталія Олександрівна (канд. техн. наук, ХУПС, Харків).

Адреса редакційної колегії: 61023, м. Харків, вул. Сумська, 77/79,  
Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.  
Телефон редакційної колегії: +38 (057) 704-96-53 (консультації, прийом статей).  
E-mail редакційної колегії: info@hups.mil.gov.ua.

За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор.

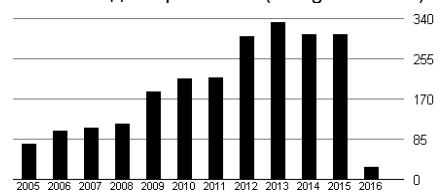
Затверджений до друку Вченою Радою Харківського університету Повітряних Сил  
(протокол від 17 травня 2016 року № 9).

Занесений до «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук»,  
(технічні та військові науки; затверджено наказом Міністерства освіти і науки України від 29.12.2014 № 1528;  
попередні постанови президії ВАК України: від 14.10.2009 р. № 1-05/4; від 9.02.2000 р. № 2-02/2)

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 9500 від 13.01.2005 р.

Інформаційний сайт збірника: [www.hups.mil.gov.ua](http://www.hups.mil.gov.ua).  
Реферативна інформація зберігається у загальнодержавній реферативній базі даних „Україніка наукова” та публікується у відповідних тематичних серіях УРЖ „Джерело”.  
Видання індексується міжнародними бібліометричними та наукометричними базами даних: **Scientific Indexed Service (США), Index Copernicus (Польща), Universal Impact Factor, Google Scholar** (наукометричні показники –  $quot. = 2391 / h = 13 / i10 = 30$ ).

Розподіл «quotation» (Google Scholar)



## З М І С Т

### МЕТРОЛОГІЯ, ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ

<i>Альравашдех Бакер, Сергиенко М.П.</i> Проблемы стандартизации в области динамических измерений .....	7
<i>Альравашдех Раки</i> Разработка модели внешнего магнитного поля для измерений его параметров, конфигурации и координат источника .....	13
<i>Андрусишина И.Н., Голуб И.А., Лампека Е.Г.</i> Опыт использования стандартных образцов сыворотки крови человека для межлабораторного контроля качества результатов элементного анализа .....	17
<i>Боцюра О.А., Захаров И.П.</i> Сравнительный анализ различных способов вычисления коэффициентов охвата при реализации байесовского подхода к оцениванию неопределенности измерений .....	20
<i>Виткин Л.М., Ролько О.Р.</i> Оценка рисков на мясоперерабатывающем предприятии .....	25
<i>Владимирова Т.М.</i> Неопределенность измерения уровня и расхода с помощью измерительной системы ЕНР-ТЕКНИККА (engl.) .....	28
<i>Глухова Н.В.</i> Метод расчета неопределенности измерений геометрических параметров газоразрядных изображений .....	32
<i>Грибанов Д.Д., Вячеславова О.Ф., Зайцев С.А.</i> Методика измерений массы сжиженных углеводородных топлив .....	36
<i>Гринев Б.В., Гурджян Н.Р., Зеленская О.В., Любинский В.Р., Мицай Л.И., Молчанова Н.И., Тарасов В.А.</i> Оценивание неопределенности результатов измерений ослабления света в цилиндрических сцинтилляторах .....	41
<i>Еремеев И.С., Дичко А.О.</i> Проблема неопределенности при мониторинге окружающей среды .....	45
<i>Зинченко В.П., Зинченко С.В., Добролюбова М.В.</i> Автоматизированные системы измерения давления в аэродинамическом эксперименте .....	48
<i>Кадацкая О.И., Сабурова С.А.</i> Методы метрологического обеспечения параметров качества NGN-сетей .....	52
<i>Кириченко И.А., Кашура А.Л., Кашура М.А.</i> О повышении точности построения тарировочных характеристик заглубленных цилиндрических резервуаров .....	55
<i>Клочко Н.Б., Долішній Б.В., Піндус Н.М., Чеховський С.А.</i> Оптимізація алгоритму опрацювання вимірювальної інформації турбінних лічильників газу при їх калібруванні .....	58

## C O N T E N T

### METROLOGY, INFORMATION MEASURING TECHNOLOGIES AND SYSTEMS

<i>Alrawashdeh Baker, Sergiienko M.P.</i> The particular standardization issues in a field of dynamic measurements .....	7
<i>Alrawashdeh Raqi</i> Development model external magnetic field to measure its parameters, configuration, and coordinates of the source .....	13
<i>Andrusyshyna I.N., Golub I.A., Lampeka E.G.</i> Experience of use references materials of blood serum of man in interlaboratory investigation quality control elemental analysis .....	17
<i>Botsiura O.A., Zakharov I.P.</i> Comparative analysis of various methods for calculating of coverage factor at implementation of Bayesian approach by the measurement uncertainty evaluation .....	20
<i>Vitkin L.M., Rolko O.R.</i> Risks assessment on meat producer by enterprise .....	25
<i>Vladimirova T.M.</i> Uncertainty of the measurement of level and flow using EHP-TEKNIKKA measurement system .....	28
<i>Glukhova N.V.</i> Evaluation of measurement uncertainty of geometric parameters of the gas-discharge emission images .....	32
<i>Gribanov D.D., Vyacheslavova O.F., Zaitsev S.A.</i> The method of measuring mass of liquefied hydrocarbon fuels .....	36
<i>Grynyov B.V., Gurdzhian N.R., Zelenskaya O.V., Lyubynskiy V.R., Mitcay L.I., Molchanova N.I., Tarasov V.A.</i> Light attenuation measurements uncertainty estimation in cylindrical scintillators .....	41
<i>Yeremeyev I.S., Dychko A.O.</i> Uncertainty problems in environmental monitoring procedures .....	45
<i>Zinchenko V.P., Zinchenko S.V., Dobroliubova M.V.</i> The automated control system of pressure measurement in wind tunnel experiment .....	48
<i>Kadackaya O.I., Saburova S.A.</i> Methods of NGN-networks quality parameters metrological support .....	52
<i>Kirichenko I.O., Kashura O.L., Kashura M.O.</i> Improving the accuracy of construction of the calibration characteristics of the buried cylindrical tanks .....	55
<i>Klochko N.B., Dolishniy B.V., Pindus N.N., Chehovskiy S.A.</i> The optimization of algorithm of measurement information processing of turbine gas meters at their calibration .....	58

<b>Коваленко І.В., Кійко В.В.</b> Проблеми визначення якості півмасок фільтруючих ..... 62	<b>Kovalenko I.V., Kiiko V.V.</b> Determination problems the quality of respirators ..... 62
<b>Кононенко М.А., Габльовська Н.Я.</b> Розрахунковий метод оцінювання якості різьбової частини труб нафтового сортаменту за допомогою зведеного коефіцієнту ..... 65	<b>Kononenko M.A., Gablovska N.Ya.</b> Calculation method for assessing the quality of the threaded portion of oil pipe assortment using the reduced rate ..... 65
<b>Крюков О.М.</b> Принцип побудови засобу вимірювання геометричних характеристик поверхонь каналів стволів..... 69	<b>Kriukov O.M.</b> The construction principle of the measuring instrument for geometric characteristics of the surface of the barrel channels measurement ..... 69
<b>Кузніченко В.В., Нікітенко О.М.</b> Використання системи комп'ютерної математики Maple для дослідження роботи осцилографа ..... 72	<b>Kuznichenko V.V., Nikitenko O.M.</b> Using computer mathematics system maple for oscilloscope work research ..... 72
<b>Кучірка Ю.М., Баран С.В., Винничук А.Г., Витвицька Л.А.</b> Дистанційна лабораторія для вивчення методів основних технологічних параметрів рідини і навколишнього середовища ..... 75	<b>Kuchirka Yu.M., Baran S.V., Vynnychuk A.G., Vytvytska L.A.</b> Distance laboratory for study methods measurement main fluid technological parameters and environment ..... 75
<b>Левин С.Ф.</b> Стандартизований пример расчета неопределенности поверки термопреобразователя сопротивления ..... 78	<b>Levin S.F.</b> The standardized example of calculation of uncertainty verification of the thermo converter of resistance ..... 78
<b>Мартынюк А.В., Щербак Л.Н.</b> Метрологический мониторинг систем измерения характеристик шумовых процессов ..... 82	<b>Martyniuk G.V., Scherbak L.M.</b> Metrological monitoring of measurement systems of characteristics of noise processes ..... 82
<b>Михайленко В.В., Маков Д.К., Святненко В.А., Чуняк Ю.М.</b> Вимірювання напруг та струмів у напівпровідниковому перетворювачі з двадцятидвохзонним регулюванням вихідної напруги ..... 86	<b>Myhaylenko V.V., Makov D.K., Syvatnenko V.A., Chuniyak Yu.M.</b> Measurement of the voltages and current in semiconductor converter with twenty-second zones regulation of output voltage ..... 86
<b>Михайлова Г.М., Гілевич Ю.В., Матієнко-Купріянова Н.М.</b> Оцінювання невизначеності результатів вимірювання вмісту вільного формальдегіду в постільних виробах ... 89	<b>Mikhailova G.N., Gilevich Yu.V., Matienko-Kupriyanova N.M.</b> Estimating of uncertainty in the measurement results of free formaldehyde in beddings ..... 89
<b>Мокійчук В.М., Монченко О.В., Олійник Ю.А.</b> Методика оцінювання невизначеності вимірювання пружних констант матеріалів ..... 93	<b>Mokiychuk V.M., Monchenko O.V., Oliynik Yu.A.</b> Method of estimation of measurement uncertainty of the elastic constants of materials ..... 93
<b>Монченко Е.В., Мельник Е.С.</b> Определение дискретных характеристик сигналов ультразвукового контроля ..... 97	<b>Monchenko O.V., Melnyk O.S.</b> Determination of the discrete characteristics of ultrasonic testing signals ..... 97
<b>Моргун Б.А., Прокопович И.В., Костина М.М., Моргун Ю.Б.</b> Метрологическое обеспечение АСУ ТП непрерывного литья медной катанки ..... 100	<b>Morgun B.A., Prokopovich I.V., Kostina M.M., Yu.B. Morgun</b> Metrological assurance of automated process control system of continuous casting copper rod ..... 100
<b>Новоселов О.А.</b> Аккредитация калибровочной деятельности – гарантия достоверности и объективности результатов измерений ..... 104	<b>Novoselov O.A.</b> Accreditation of calibration activities – guarantee of reliability and credibility of measurement ..... 104
<b>Остапів В.В., Піндус Н.М., Чеховський С.А., Клочко Н.Б.</b> «Віртуальні еталони» як засіб підвищення точності вимірювань ..... 108	<b>Ostapiv V.V., Pindus N.M., Chehovskiy S.A., Klochko N.B.</b> Virtual standard" as a means of improving the measurement accuracy ..... 108
<b>Паленный Ю.Г., Гнатюк А.П., Жеглова В.М., Фоменко Д.С.</b> Информационно-измерительная система контроля процесса глубокого сверления ..... 112	<b>Palennyy Y.I., Gnatyuk A.P., Zheglova V.M., Fomenko D.S.</b> Information-measuring system of control of the deep hole drilling process ..... 112
<b>Пацера С.Т., Корсун В.І., Дербіба В.А., Ружин П.О.</b> Алгоритм імітаційно-статистичного дослідження контрольно-вимірювальної системи та його програмна реалізація у Ni LabVIEW ..... 116	<b>Patsera S.T., Korsun V.I., Derbaba V.A., Ruzhyn P.O.</b> The algorithm of simulation and statistical modeling of control-measuring systems and software implementation in Ni LabVIEW ..... 116

<b>Петришин И.С., Присяжнюк Т.И., Бас А.А.</b> Уменьшение суммарной неопределенности измерений при воспроизведении единиц объема и объемного расхода газа эталонными установками ..... 120	<b>Petrushun I.S., Prisyajnyuk T.I., Bas O.A.</b> Reducing the total measurement uncertainty prover gas volume and volume flow rate reproduction ..... 120
<b>Полищук А.А., Мозолева Т.Н.</b> Опыт участия центральной химико-бактериологической лаборатории в межлабораторных сравнительных испытаниях ..... 124	<b>Polischuk A.A., Mozolevska T.M.</b> Experience of participation of central chemical and bacteriological laboratory in interlaboratory comparative tests ..... 124
<b>Прокуда Э.Ю.</b> Сравнение расчетных и экспертных методов при оценке состояния базовых элементов карьерных автосамосвалов ..... 127	<b>Prokuda E.Yu.</b> Comparison of the calculated and an expert method for determining the weighting factor of basic elements of dump trucks ..... 127
<b>Романів В.М., Мельничук С.І.</b> Алгоритмічне забезпечення засобу контролю вищих вуглеводневих компонент природного газу ..... 131	<b>Romaniv V.M., Melnychuk S.I.</b> Algorithmic support of control means higher hydrocarbon component of natural gas ..... 131
<b>Руженцев И.В., Луцкий С.В., Феткив В.П.</b> Дискретно-вероятностные информационные модели расчета суммарной погрешности механообработки ..... 135	<b>Ruzhentsev I.V., Lutsky S.V., Fetkiv V.B.</b> Discrete probabilistic information model of machining processing total error calculation ..... 135
<b>Середюк О.Е., Малисевич В.В., Середюк Д.О., Малисевич Н.Н.</b> Метрологическая модель измерения энергетической ценности природного газа с использованием расходомеров переменного перепада давления ..... 139	<b>Serediuk O.E., Malisevych V.V., Serediuk D.O., Malisevych N.M.</b> The metrological model of measuring of natural gas energy value with the using of the variable pressure-drop flow meters ..... 139
<b>Синица В.І., Подрубайло М.В.</b> Навчально-дослідницька система моделювання авторегресійних алгоритмів на базі технології LabVIEW ..... 143	<b>Sinitsa V.I., Podrubailo M.V.</b> Teaching and research system for the simulation of autoregression algorithms on the basis of LABVIEW technology ..... 143
<b>Склярів В.В., Довженко Я.С.</b> Дослідження впливу часу дії попереднього завантаження при вимірюванні твердості (engl.) ..... 147	<b>Skliarov V.V., Dovzhenko Ya.S.</b> Investigation of the influence of duration of preliminary and total forces for measurement of hardness ..... 147
<b>Слабінога М.О., Депутович А.І., Шевчук М.І.</b> Комп'ютерна система збору та фіксації інформації про негативний антропогенний вплив на території українських Карпат ..... 151	<b>Slabinoha M.O., Deputovych A.I., Shevchuk M.I.</b> Computer system for acquisition and fixation of negative human impact in Ukrainian Carpathians ..... 151
<b>Сніжко Д.В., Сушко О.А.</b> Мікро- та наноелектроди для електрохімічних вимірювальних систем ..... 156	<b>Snizhko D.V., Sushko O.A.</b> Micro- and nanoelectrodes for electrochemical measurement systems ..... 156
<b>Тихенко В.Н., Старцев В.И., Анисимов А.А., Пчелинский С.В.</b> Методика оценки состояния узлов станка для обработки колесных пар ..... 161	<b>Tikhenko V.N., Startsev V.I., Anisimov A.A., Pchelinskiy S.V.</b> Methodology assessing the state units of the machine for processing of wheel pairs ..... 161
<b>Туз Ю.М., Козыр О.В., Порхун А.В.</b> Спосіб визначення динамічних характеристик термопар за допомогою радіоімпульсу струму ..... 164	<b>Tuz Yu.M., Kozyr O.V., Porkhun A.V.</b> A technique for dynamic identification of thermocouples by means of radio pulse current ..... 164
<b>Харламова Ю.Н., Корсун В.И.</b> Использование метода тяжелого шарика в задаче адаптивного оценивания параметров квазистационарного объекта ..... 167	<b>Kharlamova Yu.M., Korsun V.I.</b> Using heavy ball method for problem of adaptive parameters estimation of quasistationary object ..... 167
<b>Черепашук Г.А., Потыльчак А.П., Быкова Т.В.</b> Оценка неопределенности измерения плотности жидкости прибором с поплавком изменяемой массы ..... 170	<b>Cherepaschuk G.A., Potilchak A.P., Bykova T.V.</b> Measurement uncertainty evaluation of liquid density with the help of device with float variable mass ..... 170
<b>Шевкун С.М., Сурду М.М., Вельчко О.М., Добролюбова М.В.</b> Аналіз і оптимізація схем передавання і способів відтворення одиниць параметрів імпедансу ..... 174	<b>Shevkun S.M., Surdu M.M., Velychko O.M., Dobroliubova M.V.</b> Analysis and optimization of transmission schemes and reproducing methods of impedance parameters units ..... 174
<b>Шнира А.В., Чапалюк Б.В., Алімов А.І., Добролюбова М.В.</b> Система моніторингу 3D-принтеру з технологією друку FDM ..... 180	<b>Shnyra A.V., Chapaliuk B.V., Alimov A.I., Dobroliubova M.V.</b> Monitoring system for 3D-printer with FDM printing technology ..... 180

<b>Штефан І.Ю., Штефан Н.В.</b> Організаційно-правові проблеми метрологічного забезпечення вимірювальних систем .....	185	<b>Shtefan I.Yu., Shtefan N.V.</b> Legal organizational problems of the measuring system metrological assurance .....	185
<b>Шумков Ю.С.</b> Автоматичне узгодження опору навантаженням з хвильовим опором кабелю у вимірювальних системах .....	188	<b>Shumkov Yu.S.</b> Automatic coordination of resistance load with wave impedance of the cable in measurement systems .....	188
<b>Яремчук Н.А., Года О.Ю.</b> Оценивание неопределенности ординального измерения .....	194	<b>Yaremchuk N.A., O.Yu. Goda</b> Evaluation of ordinal measurement uncertainty .....	194
<b>ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ В СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ</b>		<b>INFORMATION PROCESSING IN COMPLEX ENGINEERING SYSTEMS</b>	
<b>Заковоротный А.Ю.</b> Стабильно-пластичные нейронные сети на основе перцептрона в задачах прогнозирования буксования .....	197	<b>Zakovorotnyi A.Yu.</b> Stable plastic neural network based perceptron in forecasting problems slippage .....	197
<b>Зори С.А.</b> GPU-реализация параллельной вычислительной системы 3D-стерео визуализации с использованием метода трассировки лучей .....	201	<b>Zori S.A.</b> Visualization 3D-stereo parallel computer system GPU-realization with the use of rays tracing method .....	201
<b>Корытченко К.В., Стаховский О.В., Серпухов А.В., Бизоньч Д.В., Санчит Аджмани</b> Механизмы влияния свечей накаливания на рабочий процесс в дизельных двигателях .....	205	<b>Korytchenko K.V., Stakhovskiy O.V., Serpukhov A.V., Bizonych D.V., Sanchit Ajmani</b> Mechanisms of influence of candles of incandescence on working process in diesel engines .....	205
<b>Носан С.Л., Фединский О.И., Сургай В.М.</b> Методика керівництва роботою обслуговування радіолокаційних станцій та рухомих радіовисотомірів при управлінні екіпажами винищувальної авіації в умовах радіоелектронної протидії .....	211	<b>Nosan S.L., Fedinskiy O.I., Surgay V.M.</b> The method of management calculations of radar stations and moving radoviste in managing crews of fighter aircraft in conditions of electronic countermeasures .....	211
<b>Лысенко И.А., Смирнов А.А.</b> Разработка упорядоченных каскадных таблиц решений с использованием матриц следования .....	216	<b>Lysenko I.A., Smirnov A.A.</b> Establishing an orderly cascading solution using matrices follow .....	216
<b>Наші автори</b> .....	221	<b>Authors</b> .....	221
<b>Алфавітний покажчик</b> .....	225	<b>Alphabetical index</b> .....	225

УДК 004.942:519.876.5

А.В. Мартынюк, Л.Н. Щербак

Национальный авиационный университет, Киев

## МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ШУМОВЫХ ПРОЦЕССОВ

*Предложен метод метрологической аттестации виртуальных систем измерения характеристик шумовых процессов. Для виртуальных систем рассмотрено информационное обеспечение при проведении компьютерных измерительных экспериментов. Обоснована модель шумового сигнала в качестве «образцовой меры» для метрологической аттестации виртуальных систем для статистического оценивания характеристик шумовых процессов. В качестве образцовой меры предложено использовать цифровую реализацию стационарного белого шума, формируемого программными генераторами псевдослучайных чисел.*

**Ключевые слова:** мониторинг, метрологическая аттестация, виртуальная система измерения, шумовые процессы, белый шум, образцовая мера.

### Введение

**Постановка проблемы.** Шумовые процессы, проходящие в средах различной природы, технических системах машиностроения, энергетики, транспорта и других отраслях, в последнее время стали актуальным и важным объектом исследований. Среди направлений исследований шумовых процессов можно условно выделить два основных:

а) шумовые процессы порождают сигналы, которые по постановке задач исследований являются помеховыми в комбинациях с полезными сигналами, характеристики (параметры) последних являются основными результатами решения поставленных задач;

б) шумовые процессы порождают сигналы, которые несут информацию о состоянии, режимах и динамике функционирования объектов, в том числе технических систем, что обеспечивает основную роль шумового процесса, как объекта исследования, статистическое оценивание характеристик шумовых сигналов и формирование соответствующих задач.

Данная работа посвящена задачам второго направления исследований шумовых процессов и более конкретно задачам метрологического обеспечения при измерении характеристик сигналов, порождаемых шумовыми процессами.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Результаты решения задач рассматриваемого направления исследований шумовых процессов относятся в большинстве случаев к задачам измерения характеристик случайных процессов и полей. Математический аппарат решения задач основан на использовании методов теории случайных функций, математической статистики, теории измерений, теории систем и теорию цифровой обработки сигналов.

Применение современных информационных технологий существенно увеличили потенциальные возможности эффективного практического решения

задач измерений характеристик шумовых процессов, а использование научно-технических основ технических систем способствует созданию современных систем измерений. К последним публикациям по результатам научно-технических проблем измерения характеристик шумовых процессов следует отнести, например, [1-6].

Несколько слов о терминологии, используемой в работе. *Понятие метрологического мониторинга средств измерения, является интегральным понятием совокупности операций и действий, результаты которых определяют текущие и прогнозируемые метрологические характеристики, а в совокупности и метрологическую надежность функционирования систем измерений.* Современные системы измерений являются аппаратно-программными средствами. Поэтому метрологический мониторинг систем измерений, в основном реализуется в виде разработки и применения алгоритмически-программного обеспечения при обработке данных измерений.

Известно, что современные системы измерения могут быть реализованы как:

- реальные аппаратно-программные системы;
- виртуальные системы с использованием со-

временных информационно-измерительных технологий моделирования различных видов систем и сигналов, включая математическое, физическое, с широким использованием средств вычислительной техники для проведения моделирующего измерительного эксперимента.

Известно [7], что виртуальные средства измерений по сравнению с реальными имеют преимущества. К ним относят значительный диапазон исследований различных вариантов структур, режимов функционирования, разработки моделей шумовых сигналов, алгоритмически-программного обеспечения, что в итоге дает возможность обосновать эффективность, оптимальность по заданным критериям варианта ре-

лизации реальной системы измерений. При этом, с одной стороны, происходит значительное уменьшение временных, производственных, финансовых, других затрат и ресурсов, а с другой – увеличение интеллектуального объема исследований.

Естественно, что в рамках одной публикации трудно отобразить всю многоплановость и разнообразие задач метрологического обеспечения систем измерения. Поэтому в данной работе рассматривается основная специфика работы систем измерения шумовых сигналов, которая существенно определяет их метрологическое обеспечение.

**Формулирование цели.** Обосновать модель шумового сигнала в качестве «образцовой меры» для метрологической аттестации виртуальной системы измерений для статистического оценивания характеристик шумовых процессов с последующим использованием и адаптацией полученных результатов исследований в реальных системах измерения.

### Изложение основного материала

**1. Информационное обеспечение.** Для формирования последовательности задач метрологического мониторинга системы измерения характеристик шумовых процессов необходимо учитывать, что в «жизненном цикле» виртуальной системы измерения шумовых сигналов можно условно выделить такие этапы, как :разработка соответствующего информационного обеспечения (модели, методы, алгоритмы, программы); проведение широкого круга моделирующих компьютерных, вычислительных, измерительных экспериментов; анализ результатов измерений и принятие решений. Во время каждого из этих этапов производятся вычисления, в основном статистическое оценивание метрологических характеристик систем. При работе с виртуальными системами можно использовать следующую схему информационного обеспечения для проведения компьютерных измерительных экспериментов, которая приведена на рис. 1.

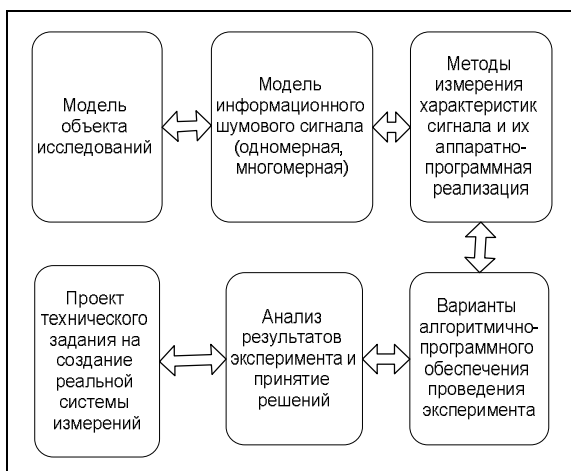


Рис. 1. Схема информационного обеспечения при проведении компьютерных измерительных экспериментов

Несмотря на тот факт, что физические и математические модели объектов исследований не в полной мере отображают реальные объекты, их роль в проведении компьютерных измерительных экспериментах фундаментальна. В большей степени используется математическая модель, которая гомоморфно отображает основные свойства объектов исследований.

Перспективной моделью шумовых процессов являются случайные функции – линейные случайные процессы и поля [3, 5, 8]. Так, линейный стационарный случайный процесс  $\xi(\omega, t)$  имеет стохастическое интегральное представление вида [8]

$$\xi(\omega, t) = \int_0^{\infty} \phi(t - \tau) \eta'(\omega, \tau) d\tau, \quad \omega \in \Omega, t \in T, \quad (1)$$

где детерминированная функция  $\phi(t)$  имеет физическую интерпретацию импульсной переходной функции линейного «формирующего» фильтра, а  $\eta(\omega, t)$  - однородный случайный процесс с независимыми приращениями и безгранично-делимыми законами распределения и соответственно его обобщенная производная  $\eta'(\omega, t)$  как стационарный белый шум. Многомерная характеристическая функция процесса (1) в форме Колмогорова описывается выражением [5, 8]

$$f(u_1, \dots, u_n; t_1, \dots, t_n) = \exp \left\{ i m_1 \sum_{k=1}^n u_k \int_0^{\infty} \phi(t_k - \tau) d\tau - i x \sum_{k=1}^n u_k \phi(t_k - \tau) + \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \left[ \exp \left( i x \sum_{k=1}^n u_k \phi(t_k - \tau) \right) - 1 \right] d\tau \frac{dK(x)}{x^2} \right\},$$

где  $m_1 = M[\eta(1)]$  – математическое ожидание процесса  $\eta(1)$  в точке  $\tau = 1$ , а  $K(x)$  – пуассоновская спектральная функция процесса  $\eta(\tau)$ .

По сути, представление (1) является обобщением известных методов: формирующего фильтра; порождающего или обновляющего процессов типа белого шума. На сегодня модели шумовых процессов вида (1) для задач метрологического мониторинга систем измерения характеристик шумовых сигналов дают возможность:

- описывать, как одномерные, так и многомерные шумовые сигналы, включая линейные процессы, векторные линейные процессы и линейные поля;
- проводить анализ моделей, как в рамках корреляционной теории, так и в рамках высших моментов;
- использовать результаты исследований случайных процессов и полей с независимыми приращениями, которые наиболее исследованы в теории случайных функций, например, использование обобщенной производной от таких процессов дает



возможность формировать целый класс белых шумов с различными законами распределения, в том числе гауссов, Пуассона и другие;

- представление (1) используется при компьютерном моделировании реализаций шумовых сигналов в качестве алгоритма;
- на основе проведения компьютерного измерительного эксперимента можно статистически оценить потенциальные возможности метрологического обеспечения измерения характеристик шумовых сигналов различными вариантами систем измерений;
- по результатам компьютерных измерительных экспериментов выработать практические рекомендации тестового метрологического мониторинга при эксплуатации систем измерений.

Модели функционирования аппаратно-программных систем измерений реализуют методы измерения характеристик шумовых процессов и являются основой алгоритмически-программного обеспечения при проведении моделирующих экспериментов. Здесь в полной мере используется математический аппарат методов статистического моделирования и статистической обработки данных измерений характеристик шумовых процессов. Многократное проведение статистических экспериментов дает возможность определить потенциальные возможности характеристик точности статистического оценивания результатов измерения. При определении метрологического обеспечения виртуальных систем измерений и их последующей адаптации реальными системами, необходимо учитывать характеристики точности применения двух мер: физической меры (единицы или шкалы) при экспериментальном ее сравнении со значением измеряемой физической величины, а также нормированной вероятностной меры при статистическом оценивании результатов измерения.

**2. Метод метрологической аттестации.** Для статистического оценивания метрологических характеристик как виртуальных, так и реальных средств измерения характеристик шумовых сигналов в рамках концепции неопределенности измерений, целесообразно использовать метод «образцовой меры» как основной метод метрологической аттестации. В качестве образцовой меры предложено использовать цифровую реализацию стационарного белого шума, формируемого программными генераторами псевдослучайных чисел.

Моделью случайного процесса типа стационарного белого шума в общем случае является обобщенная производная случайного процесса с независимыми приращениями и безгранично делимыми законами распределения, которые, как отмечалось выше, наиболее исследованы в теории случайных процессов и нашли широкое практическое применение в различных предметных областях [3, 5, 8].

Случайный процесс типа стационарного белого шума в узком смысле является стационарным процессом с независимыми значениями, а в широком

смысле - процессом с некоррелированными (ортогональными) значениями в рамках корреляционной теории. При этом рассматриваются как гауссовы, так и негауссовы стационарные белые шумы.

Отметим следующие преимущества предложенного метода метрологической аттестации систем измерения характеристик шумовых сигналов:

- применение предложенной образцовой меры обеспечивает взаимосвязь использования меры единиц или шкалы единиц физических величин и вероятностной меры при статистическом оценивании результатов измерений, что является, по сути, основной отличительной характеристикой функционирования систем измерений от других технических систем и тем самым отображает специфику методов теоретических, имитационных и экспериментальных исследований шумовых процессов;

- цифровая реализация стационарного белого шума является универсальной образцовой мерой, статистические характеристики и закон распределения которой могут быть адаптированы к конкретному виду исследуемого шумового процесса;

- характеристики такой образцовой меры не изменяются во времени для проведения многочисленных сеансов метрологической аттестации, что обеспечивает различные режимы метрологического мониторинга как виртуальных, так и реальных систем измерений;

- линейный процесс вида (1) описывает отклик первичного преобразователя (датчика, сенсора) измерительного канала системы при воздействии образцовой меры, что дает возможность использовать развитый аппарат исследований линейных процессов, как гауссовых в рамках корреляционной теории, так и с учетом высших моментов для негауссовых шумовых процессов;

- по мере развития и усовершенствования программируемых средств вычислительной техники – генераторов псевдослучайных чисел - статистические характеристики образцовой меры будут более полно отображать теоретические (вероятностные) характеристики случайного процесса типа стационарного белого шума;

- в случае необходимости цифровая реализация процесса типа стационарного белого шума может быть преобразована в непрерывную реализацию стационарного белого шума путем использования соответствующих цифро-аналоговых преобразователей для обеспечения метрологического мониторинга систем измерения шумовых сигналов с аналоговым входом.

В заключение приведем пример обоснования выбора генератора псевдослучайных чисел по метрологическим характеристикам.

Для исследования реализации стационарного белого шума с равномерным законом распределения использовались выборки объемом 100, 1000 и 10000 для каждой из выборок генерировались последовательности псевдослучайных чисел методами Мар-

тина, конгруэнтним и с помощью встроенного генератора. В качестве критериев для проверки гипотез о равномерности эмпирического распределения исследуемой реализации использовались критерий Колмогорова-Смирнова и  $\chi^2$ -критерий. При проведении метрологической аттестации были найдены статистические оценки среднего, дисперсии, автокорреляционной функции и закона распределения.

Так, согласно статистическим данным, приведенным в [4], для выборок объемом 100 и 1000 элементов наиболее весомой по метрологическим характеристикам является степень соответствия реализаций шумового сигнала, полученного с помощью встроенного в программное обеспечение Matlab генератора (функция `unifrnd`).

Но для выборок большего объема результаты уже отличаются. Так, при сравнении метрологических характеристик генераторов псевдослучайной последовательности чисел объемом выборки 10000 элементов можно сделать вывод, что наиболее весомой по метрологическим характеристикам является степень соответствия реализаций шумового сигнала, полученного с помощью конгруэнтного метода.

Полученные предварительные результаты статистического оценивания реализаций белого шума по метрологическим характеристикам показали, что обоснование выбора программного генератора псевдослучайных чисел необходимо проверять, в первую очередь, исходя из объема генерированной выборки.

## Выводы

1. Предложен метод метрологической аттестации систем измерения характеристик шумовых сигналов на основе использования образцовой меры цифровой реализации случайного процесса типа белого шума и указаны его преимущества. Результаты дают возможность обеспечить взаимосвязь использования меры единиц или шкалы единиц физических величин и вероятностные меры при статистическом оценивании характеристик шумовых сигналов.

## МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ШУМОВИХ ПРОЦЕСІВ

Г.В. Мартинюк, Л.М. Щербак

*Запропонований метод метрологічної аттестації віртуальних систем вимірювання характеристик шумових процесів. Для віртуальних систем розглянуто інформаційне забезпечення при проведенні комп'ютерних вимірювальних експериментів. Обґрунтована модель шумового сигналу як «зразкова міра» для метрологічної аттестації віртуальних систем для статистичного оцінювання характеристик шумових процесів. Як зразкова міра запропоновано використовувати цифрову реалізацію стаціонарного білого шуму, що формується програмними генераторами псевдовипадкових чисел.*

**Ключові слова:** моніторинг, метрологічна аттестація, віртуальна система вимірювання, шумові процеси, білий шум, зразкова міра.

## METROLOGICAL MONITORING OF MEASUREMENT SYSTEMS OF CHARACTERISTICS OF NOISE PROCESSES

G.V. Martyniuk, L.M. Scherbak

*The method of metrological certification of virtual measurement systems of noise process characteristics. For virtual systems considered informational support during experiments measuring computer. The model of the noise signal is proposed based on "exemplary measures" for metrological certification of virtual systems for statistical estimation of the noise characteristics of processes was considered. As an exemplary measures to use a digital realization of a stationary white noise generated software random number generator was proposed.*

**Keywords:** monitoring, metrological certification, the virtual measurement system noise processes, white noise, an exemplary measure.

2. Теоретическим аппаратом измерения характеристик шумовых сигналов, как одномерных, так и многомерных, является аппарат исследования линейных случайных процессов и полей как дальнейшее развитие известных методов формирующего фильтра, порождающего или обновляющего процессов типа белого шума.

3. В качестве примера приведены результаты выбора программируемого генератора псевдослучайных чисел для формирования реализации процесса типа белого шума.

## Список литературы

1. Российская метрологическая энциклопедия. – М.: Лики России, 2001. – 840 с.
2. Теоретические основы информационно-измерительных систем: учебник / В.П. Бабак и др. – К.: Софія-А, 2014. – 832 с.
3. Красильников А.И. Модели шумовых сигналов в системах диагностики теплоэнергетического оборудования / А.И. Красильников. – К.: Институт технической теплофизики НАН Украины, 2014. – 112 с.
4. Мартинюк Г.В. Аналіз генераторів псевдовипадкових чисел за метрологічними характеристиками / Г.В. Мартинюк, Ю.Ю. Оникієнко, Л.М. Щербак // *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. – 2016. – Т. 1/9 (79) – С. 25-30.
5. Інформаційне забезпечення моніторингу об'єктів теплоенергетики: монографія / В.П. Бабак та ін. – К.: Софія-А, 2015. – 512 с.
6. Ипатов В.П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения / В.П. Ипатов. – М.: Техносфера, 2007. – 487 с.
7. Алексеев В.В. Виртуальные средства измерений / В.В. Алексеев // *Приборы*. – 2009. – №. 6. – С. 1-7.
8. Марченко Б.Г. Метод стохастических интегральных представлений и его приложения в радиотехнике / Б.Г. Марченко. – К.: Наукова думка, 1973. – 192 с.

Поступила в редколлегию 14.04.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. М.В. Мыслович, Институт электродинамики НАН Украины, Киев.