



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)

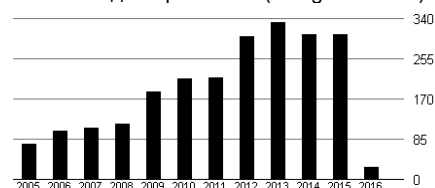
Свідцтво про державну реєстрацію КВ № 9500 від 13.01.2005 р.

Інформаційний сайт збірника: 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 (CISA), Index Copernicus (Польща), Universal Impact Factor, Google Scholar** (наукометричні показники – $quof. = 2391 / h = 13 / i10 = 30$).

Розподіл «quotation» (Google Scholar)



З М І С Т

МЕТРОЛОГІЯ, ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ

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

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

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

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

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

УДК 006.91

О.А. Боцюра, И.П. Захаров

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ОХВАТА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ БАЙЕСОВСКОГО ПОДХОДА К ОЦЕНИВАНИЮ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Проводится сравнение различных способов вычисления коэффициентов охвата при байесовском подходе к оцениванию неопределенности измерений. В качестве референтных оценок выступают оценки, полученные методом Монте-Карло.

Ключевые слова: неопределенность измерений, коэффициент охвата, байесовский подход.

Введение

В настоящее время Рабочая группа WG-1 объединенного комитета по руководствам в метрологии (JCGM) решает задачу ревизии Руководства по выражению неопределенности измерений (GUM) [1]. В основу обновленного Руководства (NewGUM) будет положен байесовский подход к оцениванию неопределенности измерений [2]. Первый проект NewGUM был распространен к концу 2014 года среди Организаций-членов JCGM, национальных метрологических институтов и других получателей, от которых поступило более 1000 комментариев и отзывов, в основном негативных. Одной из основных претензий к первой версии NewGUM был предложенный в нем способ вычисления коэффициентов охвата, который не зависит от действительного закона распределения измеряемой величины и приводит к чрезмерно завышенным оценкам расширенной неопределенности.

В работе [3] на основе байесовского вывода получены точные оценки коэффициента охвата для случая, когда доминирующими являются два источника неопределенности: первый связан с характеристиками точности используемого средства измерений (СИ), взятыми из сертификата калибровки (оценивание по типу B), второй обусловлен разбросом показаний СИ (оценивание по типу A). Этот случай наиболее полно соответствует прямым многократным измерениям. Результаты, полученные в работе [3] представлены в графическом виде, что затрудняет их использование на практике при автоматизации оценивания неопределенности измерений.

В работе [3] было проведено сопоставление полученных оценок расширенной неопределенности с доверительными границами погрешности, вычисляемыми по формулам [4]. Сравнение показало, что отличие в этих оценках может составлять более 10 %. Поэтому актуальным является поиск формулы для коэффициента охвата, наиболее точно аппроксимирующей результаты, полученные в работе [3].

С этой целью в статье будут проанализированы различные способы вычисления коэффициентов охвата.

1. Основные положения первой версии NewGUM

По сравнению с [1], новая версия отличается двумя основными моментами:

- стандартные неопределенности измерения типа A входных величин находят по формуле:

$$u_A(x) = \alpha \frac{s}{\sqrt{n}}, \quad (1)$$

где n – количество повторных измерений; s – среднее квадратическое отклонение (СКО) результатов повторных измерений,

$$s = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}; \quad (2)$$

α – СКО немасштабированного распределения Стьюдента,

$$\alpha = \sqrt{\frac{n-1}{n-3}}; \quad (3)$$

- входные величины не характеризуют более числами степеней свободы и поэтому коэффициент охвата k при расчете расширенной неопределенности рекомендуют находить исходя из следующих выражений:

- для произвольного несимметричного закона распределения – из неравенства Чебышева:

$$k = 1/\sqrt{1-p}; \quad (4)$$

где p – доверительная вероятность;

- для произвольного симметричного закона распределения – из неравенства Гаусса:

$$k = 2/\sqrt{1-p}. \quad (5)$$

Рассматриваемой в статье [3] ситуации соответствует выражение (5), которое для $p=0,95$ дает коэффициент охвата $k_{\text{NewGUM}}=2,98$ вне зависимости от числа проведенных повторных измерений и закона распределения вклада типа B.

Это значение отличается от значений, полученных в работе [3] на 49-65 % при нормальном распределении вклада типа *B*, и на 49-81 % при его равномерном распределении.

2. Коэффициент охвата, полученный методом Монте-Карло

Реализация метода Монте-Карло для нахождения коэффициента охвата осуществлялась в соответствии со следующим алгоритмом [5, 6]:

а) производилось генерирование случайного числа X_i , подчиняющегося несмещенному и немасштабированному распределению Стьюдента с заданным числом степеней свободы $\nu = n - 1$;

б) производилось генерирование случайного числа Y_i , подчиняющегося нормальному (равномерному) закону распределения, имеющему нулевое математическое ожидание и заданное СКО γ ;

в) производилось суммирование чисел, полученных в пп. а) и б) для получения числа $Z_i = X_i + Y_i$;

г) операции а)...в) повторяли $M = 2 \cdot 10^6$ раз;

д) полученный массив чисел Z_i ($i=1 \dots M$) ранжировали по возрастанию и определяли оценку расширенной неопределенности по формуле:

$$U = \frac{Z_{0,975 \cdot M} - Z_{0,025 \cdot M}}{2};$$

е) операции, перечисленные в пп. а)...д), повторяли 10 раз и вычисляли среднее значение $\bar{U}$ и относительное СКО:

$$\tilde{S}(U_i) = \frac{100\%}{\bar{U}} \sqrt{\frac{1}{9} \sum_{i=1}^{10} (U_i - \bar{U})^2};$$

ж) по полученному значению $\bar{U}$ вычисляли коэффициент охвата по формуле:

$$k_{\text{ММК}} = \frac{\bar{U}}{\sqrt{\alpha^2 + \gamma^2}}. \quad (6)$$

Результаты, полученные методом Монте-Карло, приведены в табл. 1,2. Относительные СКО оценок $k_{\text{ММК}}$ не превышают 0,2 %.

Таблица 1

Значения $k_{\text{ММК}}$ для нормального закона распределения вклада типа *B*

γ	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$	$n = 7$	$n = 11$
0	1,837	1,963	1,991	1,998	1,992
0,5	1,833	1,950	1,977	1,982	1,983
1	1,841	1,940	1,962	1,969	1,970
2	1,895	1,952	1,961	1,962	1,963
3	1,930	1,957	1,961	1,962	1,960
4	1,945	1,959	1,960	1,961	1,960
5	1,950	1,960	1,960	1,961	1,960
6	1,955	1,960	1,960	1,960	1,960
7	1,957	1,960	1,960	1,960	1,960
8	1,959	1,960	1,960	1,960	1,960

Таблица 2

Значения $k_{\text{ММК}}$ для равномерного закона распределения вклада типа *B*

γ	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$	$n = 7$	$n = 11$
0	1,837	1,964	1,991	1,997	1,993
1	1,813	1,905	1,922	1,928	1,927
2	1,767	1,815	1,820	1,821	1,818
3	1,727	1,752	1,755	1,754	1,751
4	1,702	1,716	1,717	1,716	1,713
5	1,685	1,694	1,694	1,693	1,690
6	1,674	1,680	1,679	1,679	1,676
7	1,666	1,670	1,669	1,668	1,667
8	1,661	1,663	1,663	1,662	1,660
9	1,657	1,659	1,658	1,658	1,656
10	1,654	1,656	1,655	1,654	1,653
11	1,652	1,653	1,652	1,652	1,651
12	1,651	1,651	1,650	1,650	1,649

Полученные значения $k_{\text{ММК}}$ полностью совпали с результатами работы [3], полученными на основе байесовского вывода, поэтому они могут быть использованы в качестве референтных значений при оценке погрешностей рассматриваемых ниже формул.

3. Коэффициент охвата, полученный из действующей версии GUM

В действующей версии GUM при наличии вкладов неопределенности типа *A* коэффициент охвата рассчитывается по формуле:

$$k = t_{0,95}(\nu_{\text{eff}}),$$

где $t_{0,95}(\nu_{\text{eff}})$ – коэффициент Стьюдента для вероятности 0,95 и эффективного числа степеней свободы, определяемого по формуле Велча-Саттерсвейта:

$$\nu_{\text{eff}} = u^4(y) / \sum_{j=1}^m u_j^4(y) / \nu_j. \quad (7)$$

Здесь $u(y)$ – стандартная неопределенность измеряемой величины; $u_j(y)$ – вклад неопределенности j -й входной величины; ν_j – число степеней свободы, соответствующее j -му вкладу.

Для описанной в [3] ситуации (прямые многократные измерения) эффективное число степеней свободы будет равно

$$\nu_{\text{eff}} = (n-1) \left[1 + \gamma^2 \right]^2, \quad (8)$$

где $\gamma = \sqrt{n} \cdot u_B(y) / s$

Значения коэффициента охвата k_{GUM} , который можно было бы использовать для нахождения расширенной неопределенности в байесовском подходе, вычислялись по формуле

$$k_{\text{GUM}} = t_{0,95}(\nu_{\text{eff}}) \sqrt{(1 + \gamma^2) / (\alpha^2 + \gamma^2)} \quad (9)$$

и приведены в табл. 3 для разных n и γ .

Таблица 3

Значения k_{GUM}

γ	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$	$n = 7$	$n = 11$
0	1,837	1,963	1,991	1,998	1,993
0,5	1,722	1,824	1,910	1,912	1,946
1	1,541	1,731	1,806	1,846	1,905
2	1,684	1,811	1,859	1,884	1,922
3	1,796	1,874	1,902	1,917	1,938
4	1,857	1,907	1,924	1,933	1,947
5	1,890	1,924	1,936	1,942	1,951
6	1,910	1,934	1,943	1,947	1,954
7	1,922	1,941	1,947	1,950	1,955
8	1,931	1,945	1,950	1,953	1,956
9	1,937	1,948	1,952	1,954	1,957
10	1,941	1,950	1,954	1,955	1,958
11	1,944	1,952	1,955	1,956	1,958
12	1,947	1,953	1,955	1,957	1,958

Значения k_{GUM} , приведенные в табл. 3, не зависят от закона распределения вклада, оцененного по типу В.

4. Коэффициент охвата, полученный из выражений ГОСТ Р 8.736-2011

В ГОСТ Р 8.736-2011 [4] приведено выражение для доверительных границ погрешности, вычисленных через СКО s случайной и границы θ неисключенной систематической погрешности (НСП), распределенной равномерно:

$$\Delta_{0,95} = \frac{t_{0,95}(n-1) \frac{s}{\sqrt{n}} + \theta}{\frac{s}{\sqrt{n}} + \frac{\theta}{\sqrt{3}}} \sqrt{\frac{s^2}{n} + \frac{\theta^2}{3}}, \quad (10)$$

где $t_{0,95}(n-1)$ – коэффициент Стьюдента для вероятности 0,95 и числа степеней свободы $n-1$.

Аналогичное выражение можно записать и для случая, когда НСП распределена по нормальному закону:

$$\Delta_{0,95} = \frac{t_{0,95}(n-1)s/\sqrt{n} + 1,96 \cdot s_\theta}{s/\sqrt{n} + s_\theta} \sqrt{\frac{s^2}{n} + s_\theta^2}. \quad (11)$$

Принимая во внимание, что границы погрешности являются оценками расширенной неопределенности, а СКО НСП s_θ равно стандартной неопределенности типа В, выражение для коэффициента охвата с учетом ранее введенных обозначений будет иметь вид:

$$k_{ГОСТ} = \frac{t_{0,95}(n-1) + \gamma\beta}{1 + \gamma} \sqrt{\frac{1 + \gamma^2}{\alpha^2 + \gamma^2}}, \quad (12)$$

где $\beta = \sqrt{3}$ для равномерного и $\beta = 1,96$ для нормального законов распределения стандартной неопределенности типа В.

Значения $k_{ГОСТ}$ приведены в табл. 4 и 5.

Таблица 4

Значения $k_{ГОСТ}$ для нормального закона распределения вклада типа В

γ	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$	$n = 7$	$n = 11$
0	1,837	1,963	1,991	1,998	1,993
0,5	1,721	1,867	1,912	1,931	1,952
1	1,818	1,934	1,962	1,971	1,974
2	2,001	2,038	2,032	2,024	2,000
3	2,068	2,063	2,046	2,032	2,002
4	2,085	2,063	2,042	2,028	1,999
5	2,085	2,057	2,036	2,022	1,995
6	2,079	2,049	2,029	2,016	1,992
7	2,072	2,042	2,023	2,011	1,989
8	2,064	2,035	2,018	2,006	1,986

Таблица 5

Значения $k_{ГОСТ}$ для равномерного закона распределения вклада типа В

γ	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$	$n = 7$	$n = 11$
0	1,837	1,963	1,991	1,998	1,993
1	1,738	1,841	1,863	1,869	1,867
2	1,872	1,899	1,890	1,879	1,852
3	1,912	1,900	1,880	1,865	1,833
4	1,913	1,886	1,864	1,848	1,818
5	1,902	1,870	1,848	1,834	1,806
6	1,889	1,856	1,835	1,822	1,797
7	1,876	1,844	1,825	1,812	1,790
8	1,865	1,834	1,816	1,805	1,784
9	1,855	1,825	1,809	1,798	1,779
10	1,846	1,818	1,802	1,793	1,775
11	1,838	1,812	1,797	1,788	1,772
12	1,831	1,806	1,792	1,784	1,769

5. Коэффициент охвата, полученный из закона распространения расширенной неопределенности

В работе [5] приводится формула для оценивания расширенной неопределенности, которая называется законом распространения расширенной неопределенности:

$$U = \sqrt{\left[t_{0,95}(n-1) \frac{s}{\sqrt{n}} \right]^2 + (k_B u_B)^2}, \quad (13)$$

где $k_B = 1,65$ для равномерного и $k_B = 1,96$ для нормального законов распределения стандартной неопределенности типа В.

Значения коэффициента охвата $k_{ЗРРН}$, который можно было бы использовать для нахождения расширенной неопределенности в байесовском подходе, вычислялось по формуле:

$$k_{ЗРРН} = \sqrt{\frac{\left[t_{0,95}(n-1) \right]^2 + (k_B \gamma)^2}{\alpha^2 + \gamma^2}}. \quad (14)$$

Значения $k_{ЗРРН}$ для разных n и соотношения γ приведены в табл. 6, 7.

Таблиця 6

Значения k_{SPPH} для нормального закона распределения вклада типа В

γ	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$	$n = 7$	$n = 11$
0	1,837	1,963	1,991	1,998	1,993
0,5	1,847	1,963	1,987	1,993	1,987
1	1,869	1,962	1,980	1,983	1,978
2	1,908	1,961	1,969	1,970	1,968
3	1,930	1,961	1,965	1,965	1,964
4	1,941	1,960	1,963	1,963	1,962
5	1,947	1,960	1,962	1,962	1,962
6	1,951	1,960	1,961	1,962	1,961
7	1,953	1,960	1,961	1,961	1,961
8	1,955	1,960	1,961	1,961	1,961

Таблиця 7

Значения k_{SPPH} для равномерного закона распределения вклада типа В

γ	$v = 3$	$v = 4$	$v = 5$	$v = 6$	$v = 10$
0	1,837	1,963	1,991	1,998	1,993
1	1,791	1,863	1,869	1,865	1,847
2	1,730	1,758	1,754	1,749	1,735
3	1,695	1,708	1,704	1,700	1,692
4	1,677	1,684	1,681	1,679	1,673
5	1,667	1,671	1,669	1,667	1,664
6	1,661	1,664	1,662	1,661	1,658
7	1,657	1,659	1,658	1,657	1,655
8	1,655	1,656	1,655	1,654	1,653
9	1,653	1,654	1,653	1,653	1,651
10	1,651	1,652	1,652	1,651	1,650
11	1,650	1,651	1,651	1,650	1,649
12	1,650	1,650	1,650	1,649	1,649

6. Сопоставление полученных результатов

На рис. 1 приведены зависимости коэффициентов охвата от γ при использовании формул (6), (9), (12), (14) для нормального и равномерного законов распределения вклада типа В.

На рис. 2 приведены зависимости относительных отклонений $\delta(\gamma)$ значений коэффициентов охвата, полученных при использовании формул (9), (12), (14) от значений коэффициента охвата, полученного методом Монте-Карло для нормального и равномерного законов распределения вклада типа В.

Анализ рис. 1, 2 показывает, что наилучшее приближение к $k_{ММК}$ дает коэффициент охвата k_{SPPH} , рассчитанный через формулу для закона распространения расширенной неопределенности (13). Его относительное отклонение от $k_{ММК}$ не превышает 4,5 %. Наибольшим отклонением от $k_{ММК}$ обладают k_{NewGUM} (до 80 %) и k_{GUM} (до ± 16 %).

Формула (12) для $k_{ГОСТ}$ обеспечивает относительное отклонение от $k_{ММК}$ не более 12 %.

Выводы

1. Внедрение концепции неопределенности измерений как продукта процесса международной

стандартизации оценивания качества измерений должно обеспечивать получение не только единообразных, но и максимально достоверных оценок неопределенности.

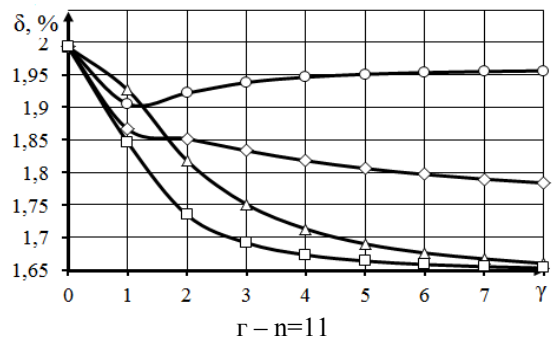
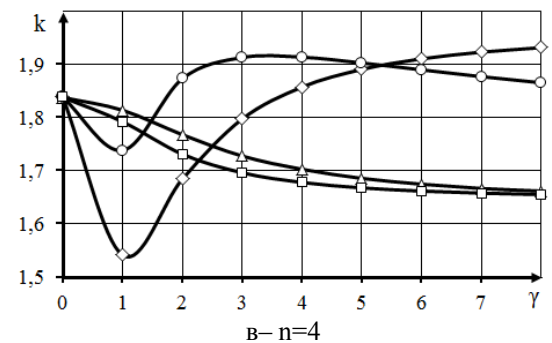
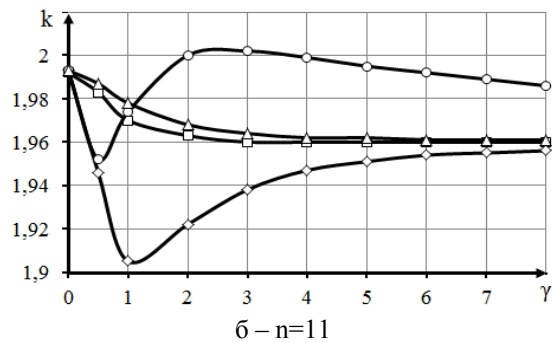
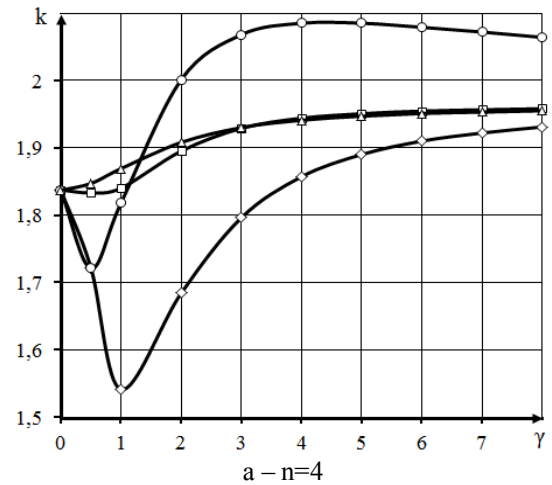


Рис. 1. Зависимости $k(\gamma)$ для нормального (а, б) и равномерного (в, г) законов распределения вклада типа В и разных выражений для k :

□ – $k_{ММК}$ (6); ◇ – k_{GUM} (9);
○ – $k_{ГОСТ}$ (12); △ – k_{SPPH} (14)

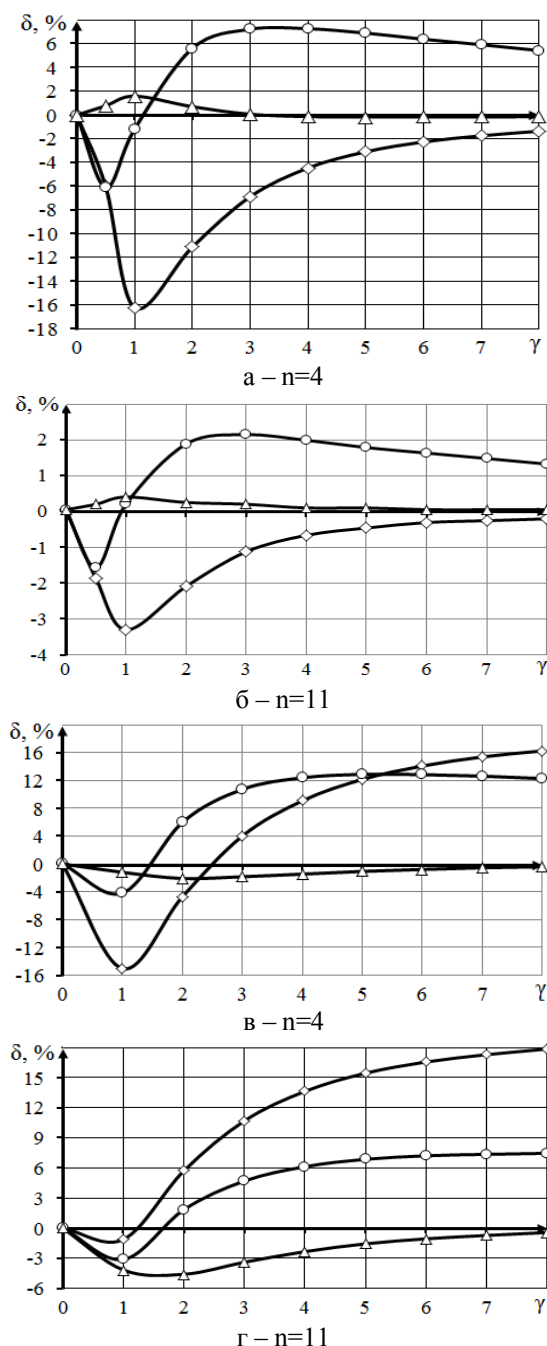


Рис. 5. Зависимости $\delta(\gamma)$ для нормального (а, б) и равномерного (в, г) законов распределения вклада типа В для разных выражений для k : $\diamond - k_{GUM}$ (9); $\circ - k_{GOST}$ (12); $\Delta - k_{SPPH}$ (14)

2. Наибольшим отклонением от k_{MMK} обладают k_{NewGUM} (до 80 %) и k_{GUM} (до ± 16 %).

3. Формула (12) для k_{GOST} обеспечивает отклонение от k_{MMK} не более 12 %.

4. Наиболее достоверную оценку коэффициента охвата дает формула (14), полученная на основе закона распространения расширенной неопределенности, ее относительное отклонение от k_{MMK} не превышает $\pm 4,5$ %.

5. Необходимо продолжить исследование способов вычисления коэффициентов охвата, учитывающих несколько вкладов неопределенности типа А и В для законов распределения вкладов типа В отличных от нормального и равномерного.

Список литературы

1. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. ISO, Geneva, First Edition. – 1993 – 101 p.
2. I. Lira, W. Woger, Comparison between the conventional and Bayesian approaches to evaluate measurement data, Metrologia 43 (2006) S249.
3. Бурмистрова Н.А. Вычисление расширенной неопределенности измерения в случае двух источников неопределенности / Н.А. Бурмистрова, А.В. Степанов, А.Г. Чунюкина // Неопределенность измерений: научные, законодательные, методические и прикладные аспекты (UM-2016). Сборник докл. XIII Межд. научно-технического семинара, г. Минск, 13-14 апреля 2016. – С. 25-30.
4. ГОСТ Р 8.736-2011 - Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.
5. Захаров И.П. Применение метода Монте-Карло для оценивания неопределенности в измерениях / И.П. Захаров // Стандартизация, метрология, сертификация (Болгария). – 2006. – № 12. – С. 2-6.
6. JCGM 101:2008. Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” – Propagation of distributions using a Monte Carlo method.
7. Захаров И.П. Исследование и повышение достоверности интервальных оценок точности прямых многократных измерений / И.П. Захаров // АСУ и приборы автоматики. – 2005. – Вып. 132. – С. 106-109.

Поступила в редколлегию 28.04.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.П. Мачехин, Харьковский национальный университет радиоэлектроники.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РІЗНИХ СПОСОБІВ ОБЧИСЛЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОКРИТТЯ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ БАЙЕСІВСЬКОГО ПІДХОДУ ДО ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

О.А. Боцюра, І.П. Захаров

Здійснено порівняння різних способів обчислення коефіцієнтів покриття при байесівському підході до оцінювання невизначеності вимірювань. У якості референтних оцінок виступають оцінки, отримані методом Монте-Карло.

Ключові слова: невизначеність вимірювань, коефіцієнт покриття, байесівський підхід.

COMPARATIVE ANALYSIS OF VARIOUS METHODS FOR CALCULATING OF COVERAGE FACTOR AT IMPLEMENTATION OF BAYESIAN APPROACH BY THE MEASUREMENT UNCERTAINTY EVALUATION

O.A. Botsiura, I.P. Zakharov

A comparison of different ways for calculating of coverage factor at implementation of the Bayesian approach to the measurement uncertainty evaluation was given. The estimates obtained by Monte Carlo method as a reference was taken.

Keywords: measurement uncertainty, coverage factor, Bayesian approach.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

СИСТЕМИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ
ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
Випуск 6 (143)

Відповідальні за випуск: *І.П. Захаров, Н.О. Королюк*

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 9500 від 13.01.2005 р.

Комп'ютерна верстка: *В.В. Кірвас*

Оформлення обкладинки: *І.В. Ільїна*

Техн. редактор *В.В. Кірвас*

Коректор *Н.К. Гур'єва*

Підписано до друку 20.05.2016

Формат 60×84/8

Папір офсетний

Гарнітура «Times New Roman»

Друк – різнограф

Ум.-друк. арк. – 28,25

Обл.-вид. арк. – 26,3

Ціна договірної

Наклад 200 прим.

Зам. 520-16

Видавництво Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 2535 від 22.06.2006 р.

Адреса видавництва: 61023, Харків-23, вул. Сумська, 77/79

Віддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.

Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.

Запис № 24800000000106167 від 08.01.2009.

61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34

e-mail: bookfabrik@mail.ua