

Вимірюйте  
усе доступне вимірюванню  
й робіть недоступне вимірюванню  
доступним.

Галілео Галілей

ISSN 2307-2180

# Метрологія



# Та прилади

## METROLOGY AND INSTRUMENTS

### № 4(84), 2020

Науково-виробничий журнал

Scientific and production journal

#### Засновники:

Академія метрології України,  
Харківський національний  
університет радіоелектроніки (ХНУРЕ),  
Державне підприємство  
«Всеукраїнський державний  
науково-виробничий центр  
стандартизації, метрології, сертифікації  
та захисту прав споживачів»  
(ДП «Укрметртестстандарт»),  
ТОВ Виробничо-комерційна  
фірма (ВКФ) «Фавор ЛТД»

Видається з березня 2006 року

Рік випуску п'ятнадцятий  
Передплатний індекс 92386

#### Головний редактор

Володарський Є. Т., д. т. н., проф.

#### Редакційна колегія:

Захаров І.П., д. т. н., проф.  
Коломієц Л.В., д. т. н., проф.  
Косач Н.І., д. т. н., проф.  
Кошева Л.О., д. т. н., проф.  
Кошовий М.Д., д. т. н., проф.  
Кучерук В.Ю., д. т. н., проф.  
Кухарчук В.В., д. т. н., проф.  
Назаренко Л.А., д. т. н., проф.  
Пістун Є.П., д. т. н., проф.  
Семенець В.В., д. т. н., проф.  
Середюк О.Є., д. т. н., проф.  
Туз Ю.М., д. т. н., проф.

#### Іноземні члени редакції:

Tadeusz Skubis, dr hab. inz., prof.  
(Польща)  
Zygmunt Warsza, doc., dr inz. (Польща)  
Михалченко В.М., к. т. н. (Казахстан)

#### Експертна рада:

Большаков В.Б., д. т. н., с. н. с.,  
заступник головного редактора  
Кузьменко Ю.В., к. т. н., с. н. с.  
Петришин І.С., д. т. н., проф.  
Рожнов М.С., к. х. н., с. н. с.  
Сурду М.М., д. т. н., проф.

#### Редакційна група:

Фісун В.П., заступник головного  
редактора  
Винокуров Л.І., науковий редактор —  
відповідальний секретар  
Проненко М.П., модератор сайту,  
дизайнер  
Зайцев Ю.О., дизайнер-верстальник

#### Адреса редакції:

61001, Харків, вул. Рижівська, 11, к. 2;  
Тел.: (057) 703-23-28; (095) 00-68-665  
E-mail: metrolog-prylady@ukr.net  
<http://www.amu.in.ua/journal1>  
<https://mmi-journal.org/index.php/journal/issue/view/1>

#### Видавець та виготовлювач:

ВКФ «Фавор ЛТД»  
61140, Харків, пр-т. Гагаріна, 94-А, кв. 35;  
Свідоцтво про внесення  
до Держреєстру видавців,  
виготівників і розповсюджувачів  
видавничої продукції  
серія ХК № 90 від 17.12.2003.

Підписано до друку 05.09.2020.

Формат 60×84/8. Папір крейдований.  
Ум. друк. арк. 8,43. Обл.-вид. арк. 7,13.  
Друк офсетний. Тираж 400 прим.  
Замовлення № 37.

© «Метрологія та прилади», 2020

#### Журнал зареєстровано

у Міністерстві юстиції України,  
свідоцтво серія КВ № 22796-12696ПП  
від 03.07.2017;

включено до Переліку наукових  
фахових видань України, в яких  
можуть публікуватися результати  
дисертаційних робіт на здобуття наукових  
ступенів доктора наук, кандидата наук  
та ступеня доктора філософії (категорія В),  
затвердженого Наказом Міністерства освіти  
і науки України № 409 від 17.03.2020

Журнал включено до Міжнародної  
наукометричної бази даних  
Index Copernicus, лист від 08.03.2013  
ICV 2018 = 56,77

The Journal is Registered  
in Ministry of Justice of Ukraine,  
Certificate series KB № 22796-12696PP  
dated 03.07.2017;

is included to the List of scientific  
professional publications of Ukraine,  
in which the results of dissertations  
for the degree of doctor of sciences,  
candidate of sciences and the degree  
of doctor of philosophy (category B),  
may be published, approved by the order  
of the Ministry of Education and Science  
of Ukraine No. 409 dated 17.03.2020  
The journal is included in the International  
Scientific Databases Index Copernicus, Letter  
dated 08.03.2013  
ICV 2018 = 56,77

#### Co-founders:

Kharkiv National University  
of Radio Electronics (KNURE);  
Public Organization  
«Academy of Metrology of Ukraine»;  
State Enterprise «Ukrainian State  
Research and Production Centre  
for Standardisation, Metrology,  
Certification and Consumers  
Rights Protection»  
(SĖ «Ukrmetrtteststandart»);  
LLC Production and Commercial Firm  
(PCF) «FAVOR, LTD»

Published since march 2006.

Release year fifteenth  
Subscription index 92386.

#### Chief editor:

Volodarskyi Ye.T., D.Sc. (Eng.), prof.

#### Editorial board:

Kolomiyets L.V., D.Sc. (Eng.), prof.  
Kosach N.I., D.Sc. (Eng.), prof.  
Kosheva L.O., D.Sc. (Eng.), prof.  
Koshovyi M.D., D.Sc. (Eng.), prof.  
Kucheruk V.Yu., D.Sc. (Eng.), prof.  
Kukharchuk V.V., D.Sc. (Eng.), prof.  
Nazarenko L.A., D.Sc. (Eng.), prof.  
Pistun Ye.P., D.Sc. (Eng.), prof.  
Semenets V.V., D.Sc. (Eng.), prof.  
Serediuk O.Ye., D.Sc. (Eng.), prof.  
Tuz Yu.M., D.Sc. (Eng.), prof.  
Zakharov I.P., D.Sc. (Eng.), prof.

#### Foreign members of the editorial board:

Tadeusz Skubis, prof. dr hab. inz.  
(Poland)  
Zygmunt Warsza, doc., dr inz. (Poland)  
Mykhalchenko V.M., Ph.D.  
in Engineering Science (Kazakhstan)

#### Advisory Board:

Bolshakov V.B., D.Sc. (Eng.), S.Sc.Off.  
Deputy Chief Editor  
Kuzmenko Yu.V., Ph.D. (Eng.), S.Sc.Off.,  
Petryshyn I.S., D.Sc. (Eng.), prof.  
Rozhnov M.S., Ph.D. (Chem.), S.Sc.Off.  
Surdu M.M., D.Sc. (Eng.), prof.

#### Editorial Team:

Fisun V.P., Deputy Chief Editor  
Vynokurov L.I., Scientific Editor,  
Executive Secretary  
Pronenko M.P., site moderator, designer  
Zaitsev Yu.O., maker-up designer

#### Editorial Address:

61001, Kharkiv, st. Ryzhivska, 11, r. 2;  
tel.: (057) 703-23-28; (095) 00-68-665  
e-mail: metrolog-prylady@ukr.net  
<https://www.amu.in.ua/journal1>  
<https://mmi-journal.org/index.php/journal/issue/view/1>

#### Publisher and manufacturer:

PCF «Favor LTD»  
61140, Kharkiv,  
pr-t. Gagarin, 94-A, sq. 35;  
Certificate of inclusion in the State  
Register of Publishers, Manufacturers  
and Distributors of Publishing Products,  
series XK № 90 dated 17.12.2003.

Signed for printing dated 05.09.2020  
Format 60 × 84/8. Paper is coated.  
Conditional printed sheets 8.43.  
Accounting and publishing sheets 7.13.  
Offset printing. Circulation 400 copies  
Order number 37.

ISSN (print) 2307-2180

ISSN (online) 2663-9564

DOI: 10.33955/2307-2180

© «Metrology and Instruments», 2020

<b>НАЦІОНАЛЬНА ЕТАЛОННА БАЗА</b>	<b>NATIONAL METROLOGICAL STANDARDS BASE</b>
<u>Бас О. А.</u> Методологія оцінювання рівня еквівалентності національних еталонів одиниць об'єму та об'ємної витрати газу ..... 3	<u>Bas O. A.</u> Evaluation Methodology the Equivalence Level National Standards Gas Volume and Volume Flow Rate
<b>МЕТРОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ</b>	<b>METROLOGICAL PROPERTIES</b>
<u>Яцук В.О., Микійчук М.М., Яцук Ю.В., Здеб В.Б.</u> Аналіз метрологічних властивостей високоомних багатозначних мір-калібраторів опору ..... 12	<u>Yatsuk V.O., Mykyjchuk M.M., Yatsuk Yu. V., Zdeb V.B.</u> Analysis of Metrological Properties of High-Resistance Multy Valued Measure Calibrators
<b>ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ</b>	<b>MEASURING INSTRUMENTS AND SYSTEMS</b>
<u>Сурду Д. М., Сурду М. М.</u> Низкоомные мосты переменного тока с фазовым уравновешиванием ..... 20	<u>Surdu D. M., Surdu M. M.</u> Low-impedance Phase-balanced AC Bridges
<b>ВИСОКОТОЧНІ ВИМІРЮВАННЯ</b>	<b>HIGH-PRECISION MEASUREMENTS</b>
<u>Неофитный М. С., Мачехин Ю. П., Гнатенко А. С.</u> Применение атомных интерферометров (АИ). Актуальные задачи (обзор) ..... 29	<u>Neofitny M. S., Machehkhin Yu. P., Gnatenko A. S.</u> Application of Atomic Interferometers (AI). Current Tasks (review)
<b>НАНОМЕТРОЛОГІЯ</b>	<b>NANOMETROLOGY</b>
<u>Шевченко О. І., Бондаренко М. О.</u> Особенности изготовления тест-об'єктів, як еталонних засобів калібрування та повірки зондів атомно-силової мікроскопії ..... 36	<u>Shevchenko O. I., Bondarenko M. O.</u> Features of the Manufacture of Test Objects as Reference Means of Calibration and Verification of Atomic Force Microscopy Probes
<b>ПОВІРКА ТА КАЛІБРУВАННЯ</b>	<b>VERIFICATION AND CALIBRATION</b>
<u>Яцишин С. П., Лазаренко С. Л., Лазаренко Н. С.</u> Калібрування дозиметричних засобів іонізуючого випромінювання ..... 40	<u>Yatsyshyn S. P., Lazarenko S. L., Lazarenko N. S.</u> Calibration of Ionizing Radiation Dosimetric Means
<b>ТОЧНІСТЬ ТА ДОСТОВІРНІСТЬ</b>	<b>ACCURACY AND RELIABILITY</b>
<u>Ляшенко О. М., Тимофеев Є. П., Васильєва Ю. О., Діденко О. М.</u> Підвищення достовірності визначення освітленості для зовнішнього освітлення ..... 44	<u>Liashenko O. M., Tymofeiev E. P., Vasilyeva Yu. O., Didenko O. M.</u> Improving the reliability of the definition of illumination for outdoor lighting
<b>ЯКІСТЬ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ</b>	<b>QUALITY AND EFFICIENCY</b>
<u>Лісовець С. М., Зенкін М. А., Ківа І. Л., Недлінський Я. Т.</u> Підвищення якості керування технологічними процесами шляхом забезпечення максимальної їхньої аперіодичності ..... 50	<u>Lisovets S. M., Zenkin M. A., Kiva I. L., Nedlinskyi Ya. T.</u> Improving the Quality of Management of Technological Processes by Ensuring Their Maximum Periodicity
<b>МЕТОДИ ТА МЕТОДИКИ</b>	<b>METHODS AND PROCEDURES</b>
<u>І. О. Костиюков</u> Оцінювання амплітуд синусоїдальних сигналів за допомогою методу найменших квадратів: порівняльний аналіз точності алгоритмів апроксимації еліпса ..... 56	<u>I.O. Kostiukov</u> Estimation of Sine Signals Amplitude By the Least Squares Method: A Comparative Analysis of Accuracy of Ellipse Fitting Algorithms
<b>СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ</b>	<b>CONTROL AND MANAGEMENT SYSTEMS</b>
<u>Тараненко Ю. К., Олійник О. Ю.</u> Комп'ютеризована система контролю та управління динамікою газової фази технологічного апарату з барботажем ..... 63	<u>Taranenko Yu. K., Oliynyk O. Yu.</u> Computerized System for Monitoring and Controlling the Dynamics of the Gas Phase of the Technological Apparatus with Bubbling
<b>ТЕХНІЧНА НАДІЙНІСТЬ</b>	<b>TECHNICAL RELIABILITY</b>
<u>Габрук Р. А.</u> Кількісна імовірнісна оцінка надійності функціонування комплексу зв'язку рухомого об'єкта водного транспорту ..... 68	<u>Gabruk R.A.</u> Quantitative Probabilistic Assessment of the Communication Complex Reliability on the Mobile Water Transport Object
<b>ІНФОРМАЦІЯ</b>	<b>INFORMATION</b>
..... 11	.....

DOI: 10.33955/2307-2180(3)2020.3-11

УДК 681.121

# МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕКВІВАЛЕНТНОСТІ НАЦІОНАЛЬНИХ ЕТАЛОНІВ ОДИНИЦЬ ОБ'ЄМУ ТА ОБ'ЄМНОЇ ВИТРАТИ ГАЗУ

## Evaluation Methodology the Equivalence Level National Standards Gas Volume and Volume Flow Rate

**О. А. Бас**, кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник,  
ДП «Івано-Франківськстандартметрологія»,  
e-mail: alexandr.sanya@gmail.com

**O. A. Bas**, candidate of technical sciences,  
senior researcher,  
SE «Ivano-Frankivskstandartmetrologiya»,  
e-mail: alexandr.sanya@gmail.com

Анонсується надання статусу «національних» двом вторинним еталонам одиниць об'єму та об'ємної витрати газу, які зберігаються в ДП «Івано-Франківськстандартметрологія». Показана простежуваність вторинних еталонів безпосередньо до одиниць системи СІ. Обґрунтовано реалізацію процесу відтворення одиниць вторинними еталонами. Запропоновано методологію проведення звірення та оцінювання рівня еквівалентності національних первинних та вторинних еталонів одиниць об'єму та об'ємної витрати газу в діапазонах, які є спільними для еталонів. Опрацювання результатів звірень запропоновано проводити аналогічно методиці оцінки двосторонніх міжнародних звірень. Показана на основі моделювання ступеня еквівалентності доцільність встановлення жорсткіших критеріїв за оцінки рівня еквівалентності. Здійснено підбір еталонних засобів для проведення звірень. Наведено результати попарного звірення національних еталонів одиниць об'єму та об'ємної витрати газу спільних діапазонів об'ємної витрати. Розроблено методику визначення та оцінювання параметра нестабільності національних еталонів. Наведено графічну інтерпретацію оцінки нестабільності. Запропоновано проводити оцінювання нестабільності аналогічно процедурі визначення параметра «відтворюваності». Зазначено переваги отримання статусу «національних» для вторинних еталонів одиниць об'єму та об'ємної витрати газу.

The article announces the granting of the status of «national» to two secondary standards gas volume and volume flow rate, which are stored in the State Enterprise «Ivano-Frankivskstandartmetrologiya». The traceability of secondary standards directly to the units of the SI system is shown. The realization of the process of reproduction of units by secondary standards is substantiated. The article proposes the methodology for comparing and assessing the level of equivalence of national primary and secondary standards gas volume and volume flow rate in the ranges that are common to the standards. It is proposed to process the results of comparisons similarly to the method of evaluation of bilateral international comparisons. Based on the modeling degree of equivalence, the expediency of establishing stricter criteria when assessing the level of equivalence is shown. Placed selection of reference meters for comparisons. The results of pairwise comparison of national standards gas volume and volume flow rate for total volume flow ranges are given. A methodology for determining and assessing the instability parameter of national standards has been developed. A graphical interpretation of the instability assessment is given. It is proposed to perform instability assessment similarly to the procedure for determining the parameter «reproducibility». The advantages of obtaining the status of «national» gas volume and volume flow rate for secondary standards are indicated.


**Ключові слова:** Національний, еталон, вторинний, об'єм, об'ємна витрата газу, відтворення, невизначеність, нестабільність.  
**Keywords:** National, standard, secondary, volume, volume flow rate, reproduction, uncertainty, instability.

Згідно із Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність» (ст. 6) [1] статус національних надається первинним та вторинним еталонам, якщо вони мають найвищі метрологічні властивості серед еталонів певної одиниці та є основою для передавання значень фізичної величини іншим еталонам, які наявні в державі. ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» проведено ряд удосконалень двох діючих вторинних еталонів одиниць об'єму та об'ємної витрати газу ВЕТУ 03-01-05-15 та ВЕТУ 03-01-01-15 з метою підвищення їх метрологічних властивостей та отримання статусу національних еталонів у діапазоні об'ємної витрати газу, який є нижчим від мінімального значення, яке відтворюється Національним державним первинним еталонами одиниць об'єму та об'ємної витрати газу ДЕТУ 03-01-15.

У відповідності з наказами Мінекономіки № 734 та № 735 від 19.12.2019р. у ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» отримали статус національних два



О. А. Бас

- Андрук М.С. Удосконалення державного первинного еталона одиниці об'єму та об'ємної витрати газу // Методи та прилади контролю якості. — 2016. — № 1(36). — С. 38—47 (Petryshyn I.S., Voshchynsky V.S., Dzhochko P.Ya., Bezgachnyuk Y.V., Seredyuk D.O., Voshchynsky V.V., Andruk M.S. Improvement of the state primary standard of unit of volume and volume consumption of gas // Methods and devices of quality control. — 2016. — № 1(36). — P. 38—47).
6. Петришин І.С. Вторинний еталон одиниць об'єму та об'ємної витрати газу в діапазоні мікровитрат на базі установки еквівалентного витіснення рідини / І.С. Петришин, Т.І. Присяжнюк, О.А. Бас // Метрологія та прилади. — 2015. — № 1(51). — С. 14—19 (Petryshyn I.S. Secondary standard of units of volume and volumetric gas consumption in the range of microconsumption based on the installation of equivalent liquid displacement / I.S. Petryshyn, T.I. Prisyazhnyuk, O.A. Bas // Metrology and instruments. — 2015. — № 1(51). — P. 14—19).
  7. Петришин І.С., Безгачнюк Я.В., Середюк Д.О. Впровадження еталонів передавання в повірочну практику засобів вимірювальної техніки об'єму та об'ємної витрати газу // Український метрологічний журнал. — 2006. — № 4. — С. 55—59 (Petryshyn I.S., Bezgachnyuk Y.V., Seredyuk D.O. Introduction of standards of transfer in calibration practice of means of measuring equipment of volume and volume expense of gas // Ukrainian metrological journal. — 2006. — № 4. — P. 55—59).
  8. М. Cox The evaluation of key comparison data // Metrologia, 2002, 39, P. 589—595.
  9. COOMET R/GM/14:2006 Руководство по оцениванию данных ключевых сличений COOMET (COOMET Key Comparison Data Assessment Guide).
  10. ГСИ. Эталоны. Способы выражения погрешностей: ДСТУ ГОСТ 8.381:2008. — [Чинний від 2008-10-01]. — М.: Изд-во стандартов, — 10 с. (GSI. Standards. Ways of expressing errors: DSTU GOST 8.381: 2008. — [Effective as of 2008-10-01]. — М.: Publishing house of standards, — 10 p.).
  11. COOMET R/GM/32:2017 Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределённости (Calibration of measuring instruments. Algorithms for processing measurement results and estimation of uncertainty).
  12. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM) 3rd edition. — 108 p. 

Отримано / received: 23.06.2020.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. П.М. Райтером (Україна).  
Prof. P.M. Raiter, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.

## УКАЗ ПРЕЗИДЕНТА УКРАЇНИ №335/2020

### Про відзначення державними нагородами України з нагоди Дня Незалежності України

За значний особистий внесок у державне будівництво, соціально-економічний, науково-технічний, культурно-освітній розвиток України, вагомі трудові здобутки та високий професіоналізм **постановляю:**

#### Нагородити орденом «За заслуги» II ступеня

КАМІНСЬКОГО Анатолія Івановича — директора державного підприємства «Рівненський науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації»

**Президент України В.ЗЕЛЕНСЬКИЙ**  
21 серпня 2020 року

DOI: 10.33955/2307-2180(3)2020.12-19

УДК 621.317.7; 681.2.089; 53.088.6

# АНАЛІЗ МЕТРОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИСОКООМНИХ БАГАТОЗНАЧНИХ МІР-КАЛІБРАТОРІВ ОПОРУ

## Analysis of Metrological Properties of High-Resistance Multy Valued Measure Calibrators

**В. О. Яцук**, доктор технічних наук, професор,  
e-mail: yatsuk.vasyl@gmail.com

**М. М. Микийчук**, доктор технічних наук,  
професор,  
директор Інституту комп'ютерних технологій,  
e-mail: mykolamm@ukr.net

**Ю. В. Яцук**, кандидат технічних наук,  
доцент,  
e-mail: jazuk.jurij@gmail.com

**В. Б. Здеб**, кандидат технічних наук, асистент,  
e-mail: volodymyr.zdeb@gmail.com

Національний університет «Львівська політехніка», Україна

**V. O. Yatsuk**, doctor of technical sciences, professor,  
e-mail: yatsuk.vasyl@gmail.com

**M. M. Mykyjchuk**, doctor of technical sciences,  
professor,  
director of the Institute of computer technology,  
e-mail: mykolamm@ukr.net

**Yu. V. Yatsuk**, candidate of technical sciences,  
associate professor,  
e-mail: jazuk.jurij@gmail.com

**V. B. Zdeb**, candidate of technical sciences, assistant,  
e-mail: volodymyr.zdeb@gmail.com

Lviv Polytechnic National University, Ukraine

Показано, що для віддаленого калібрування (оперативного контролювання) каналів вимірювання високоомних опорів кіберфізичних систем доцільно використовувати міри на основі методу імітації з фіксацією значень вхідної напруги та формуванням кодокерованих вихідних струмів. Показано, що під час зстосування такого методу використовуються лише декілька спеціальних схемотехнічних компонентів — високовольтний подільник напруги та кодокерований масштабувальний струмозадавальний резистор. Інші компоненти структури кодокерованої міри-імітатора є типовими низьковольтними елементами, що є основою для її схемотехнічної уніфікації в широкому діапазоні відтворення. На основі проведеного аналізу похибок обґрунтовано пропозиції щодо покращення метрологічних властивостей кодокерованих мір-імітаторів провідності під час відтворення високоомних значень опорів. У запропонованій структурі електрична провідність відтворюється з використанням доповнювальної шкали, що забезпечує значне підвищення точності відтворення високоомних опорів завдяки зменшенню впливу відносних похибок кодокерованих подільників напруги для малих значень кодів керування. Обговорено умови практичної реалізації запропонованого методу оперативного контролювання вимірювальних каналів кіберфізичних систем. Показано, що на основі запропонованої міри-імітатора можна відтворювати опори до 1016 Ом з похибками порядку десятих часток відсотка.

The development of scattered cyber physical systems makes it almost impossible to use traditional methods of their metrological confirmation is shown in this paper. Therefore, it is proposed to use portable code-controlled measures of electrical quantities in this case. The characteristics of such measures can be metrologically confirmed in special laboratories. Under the conditions of providing their only relatively short-term time stability and in-situ destabilizing factors to reduce by traditional methods, the proposed measures

can be used for operational metrological control of measuring channels of spatially dispersed cyber physical systems it is shown also.

It is emphasized that for code-controlled reproduction of the passive physical quantity of electrical resistance it is most expedient to use the simulation method. It is shown that in contrast to the low- and medium-resistance subbands in the high-resistance and high-voltage subbands, it is expedient to implement a resistance simulator with a fixed value of the input voltage and the formation of the output code-controlled current. It is noted the resistance simulator becomes a three-wire conductivity simulator in this case. During the measurement process of all known types of ohmmeters, the required equipotentiality of both low-potential terminals of the conductivity simulator is provided in principle it is noted in this paper. For right work of such a conductivity simulator only a few special elements are used — a high-voltage resistive voltage divider and switched high-value resistance current-setting resistors it is shown also.

It is practically possible to ensure invariance to the parameters of non-ideality of active components at that conductivity simulator as showed the errors analysis. Its biggest drawback is the relative errors increasing for the high-value resistance reproduction because of the relative errors of the code-controlled voltage dividers is growing if the control code is decreasing it is noted also.

The structure of the electrical conductivity simulator, which is controlled by the supplementary code, is proposed. The errors analysis of this structure showed that in the extreme case the reproduction relative error of the maximum value of high-resistance resistors will practically not depend on the code-controlled voltage dividers relative errors. It is noted that its value will depend only on the instrumental errors of the scaling components of the code-controlled conductivity measure.

When reproducing a resistance value of 1016 ohms, the estimated value of the relative error of the resistance simulator will be only a few tenths of a percent.

The scientific results, presented in this article, were obtained in the frame of no financially supported research project IVT-23, number 0118U001542, 01.01.2018 — 31.12.2022.

DOI: 10.33955/2307-2180(3)2020.20-28

УДК 621.317.733

# НИЗКООМНЫЕ МОСТЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ФАЗОВЫМ УРАВНОВЕШИВАНИЕМ

## Low-impedance phase-balanced AC bridges

**Д. М. Сурду**, начальник лаборатории,  
Институт космических исследований НАНУ, г. Киев,  
e-mail: lanceoflife@gmail.com,  
**М. М. Сурду**, доктор технических наук, профессор,  
Академия Метрологии Украины, г. Киев,  
e-mail: michaelsturdu1941@gmail.com

**D. M. Surdu**, head of laboratory,  
Space Research Institute of NASU, Kyiv,  
e-mail: lanceoflife@gmail.com,  
**M. M. Surdu**, doctor of technical sciences, professor,  
Academy of Metrological of Ukraine, Kyiv,  
e-mail: michaelsturdu1941@gmail.com

Рассмотрено применение фазового регулирования для построения мостов переменного тока с широким диапазоном измерения. Используются для этой цели два подхода: применение источников напряжения для компенсации влияния сопротивления проводов в мостах со сравнением токов и использование таких источников для создания мостов переменного тока со сравнением напряжений.

В первом случае в мосте со сравнением токов для устранения влияния сопротивления кабелей, введены дополнительные контуры регулирования. В высоковольтной части моста два контура регулирования создают токи питания компарируемых импедансов. В низковольтной части моста такие контуры регулирования используются для устранения влияния сопротивления «перемычки» на результат измерения. Для уравнивания этих контуров в каждом из них используется отдельный фазоуправляемый источник напряжения. Анализируются способы уравнивания таких мостов. Рассматривается возможность использования в этих контурах статического регулирования.

Во втором случае для измерения малых импедансов создается мост со сравнением напряжений. Такой мост содержит основной и вспомогательный контуры регулирования, в каждом из которых используется собственный фазоуправляемый источник напряжения. Основной контур включает объект измерения. Вспомогательный контур создает эквивалентный генератор тока для питания объекта измерения. Разработан способ уравнивания этого двухконтурного моста.

Исследуется погрешность измерения мостов как функция погрешности дискретности регулирования напряжения в дополнительных контурах и шумов индикатора равновесия.

Розглянуто застосування фазового регулювання для побудови мостів змінного струму з широким діапазоном вимірювання.

Використано для цієї мети два підходи: застосування джерел напруги для компенсації впливу опору проводів у мостах з порівнянням струмів і використання таких джерел для створення мостів змінного струму з порівнянням напруг.

У першому випадку в мосту з порівнянням струмів для усунення впливу опору кабелів введено додаткові контури регулювання. У високовольтній частині моста два контури регулювання створюють струми живлення імпедансів, які компаруються. У низьковольтній частині моста такі контури регулювання використовуються для усунення впливу опору «перемички» на результат вимірювання. Для зрівноваження цих контурів в кожному з них використовується окреме фазокероване джерело напруги. Анализуються способи зрівноваження таких мостів. Розглядається можливість використання в цих контурах статичного регулювання.

У другому випадку для вимірювання малих імпедансів створюється міст з порівнянням напруг. Такий міст містить основний і допоміжний контури регулювання в кожному з яких використовується власне фазокероване джерело напруги. Основний контур включає об'єкт вимірювання. Допоміжний контур створює еквівалентний генератор струму для живлення об'єкта вимірювання. Розроблено спосіб урівноваження цього двоконтурного моста.

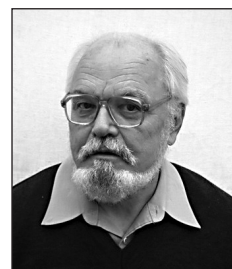
Досліджується похибка вимірювання мостів як функція похибки дискретності регулювання напруги в додаткових контурах і шумів індикатора рівноваги.

Report describes the application of the phase controlled dividers to widener measurement range of AC bridges. The authors consider two approaches for this purpose: the use of phase — controlled voltage sources to compensate the effect of cable impedance on the result of measurement in bridges with the current comparison and the use of such sources to create AC bridges with the voltage comparison.

To eliminate the influence of the cable resistances in the bridges with the current comparison, authors



Д. М. Сурду



М. М. Сурду

DOI: 10.33955/2307-2180(3)2020.29-35

УДК 531.715.1:541.2

# ПРИМЕНЕНИЕ АТОМНЫХ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ (АИ). АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ (ОБЗОР)

## Application of Atomic Interferometers (AI). Current Tasks (review)

**М. С. Неофитный**, кандидат физико-математических наук, проректор,  
**Ю. П. Мачехин**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой фотоники и лазерной инженерии,  
**А. С. Гнатенко**, старший преподаватель кафедры физических основ электронной техники, заместитель декана по научной работе факультета, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина,  
e-mail: yurii.machekhin@nure.ua

**M. S. Neofitny**, candidate of physical and mathematical sciences, vice-rector,  
**Yu. P. Machekhin**, doctor of technical science, professor, head of photonics and laser engineering department,  
**A. S. Gnatenko**, senior lecturer of the department of physical foundations of electronic engineering, deputy dean for scientific work of the faculty, Kharkov National University of Radioelectronics, Ukraine,  
e-mail: yurii.machekhin@nure.ua

Проведен анализ основных теоретических вопросов состояния и применения атомных интерферометров (АИ) во всевозможных технических проектах. Приведены теоретические основы охлаждения атомов для использования этих атомов в разработанных интерферометрах. Конструкции АИ основаны на применении охлажденных облаков нейтральных атомов.

Проведено аналіз основних теоретичних питань стану і застосування атомних інтерферометрів (АІ) у всіляких технічних проектах. Наведено теоретичні основи охолодження атомів для використання цих атомів в розроблених інтерферометрах. Конструкції АІ засновані на застосуванні охолоджених хмар нейтральних атомів.

Явище конденсації ідеального бозе-газу, передбачене теоретично в 1924 році Ш. Бозе і А. Ейнштейном, експериментально реалізовано зовсім недавно (у 1995 році) для розріджених атомних газів з лужних металів завдяки застосуванню достатньо витонченої експериментальної техніки магнітних пасток, лазерного і потім випарного охолодження [1]. Атоми у стані бозе-ейнштейнівської конденсації утворюють новий тип когерентної речовини з потенційно новими термодинамічними й оптичними властивостями. У фізиці з'явилося нове поле діяльності — атомна оптика, в якій за-

мість звичайного світлового випромінювання (фотонів) передбачається використовувати як інструмент досліджень пучок атомів, що перебувають у стані конденсату, так званий атомний лазер, який є в деякому сенсі аналогом когерентного випромінювання звичайних лазерів і мазерів.

The paper analyzes the main theoretical issues of the state and application of atomic interferometers in all kinds of technical projects. The theoretical foundations of atomic cooling for the use of these atoms in the developed interferometers are presented. AI designs are based on the use of cooled clouds of neutral atoms.

The phenomenon of condensation of an ideal Bose gas, predicted theoretically in 1924 by Sh. Bose and A. Einstein, was experimentally realized quite recently (1995) for rarefied atomic gases from alkali metals due to the use of a very sophisticated experimental technique of magnetic traps, laser and then evaporative cooling [1]. Atoms in a state of Bose-Einstein condensation form a new type of coherent matter with potentially new thermodynamic and optical properties. A new field of activity has appeared in physics-atomic optics, in which, instead of ordinary light radiation (photons), it is proposed to use as a research tool a beam of atoms in a condensate state, the so-called atomic laser, which is, in a sense, an analogue of the coherent radiation of ordinary lasers and masers.



М. С. Неофитный



Ю. П. Мачехин



А. С. Гнатенко

**Ключевые слова:** атомные интерферометры, гироскопы, акселерометры  
**Ключові слова:** атомні інтерферометри, гіроскопи, акселерометри  
**Keywords:** atomic interferometers, gyroscopes, accelerometers

DOI: 10.33955/2307-2180(3)2020.36-39

УДК 620.17:620.3 (043.3)

# ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕСТ-ОБ'ЄКТІВ, ЯК ЕТАЛОННИХ ЗАСОБІВ КАЛІБРУВАННЯ ТА ПОВІРКИ ЗОНДІВ АТОМНО-СИЛОВОЇ МІКРОСКОПІЇ

**Features of the Manufacture of Test Objects  
as Reference Means of Calibration and Verification  
of Atomic Force Microscopy Probes**

**О. І. Шевченко**, доктор технічних наук,  
заступник директора,  
Головна астрономічна обсерваторія НАН України,  
Київ, Україна,  
e-mail: soi\_51@ukr.net

**М. О. Бондаренко**, доктор технічних наук,  
доцент кафедри приладобудування, мехатроніки  
та комп'ютеризованих технологій,  
Черкаський державний технологічний університет,  
Україна,  
e-mail: maxxium23@gmail.com

**O. I. Shevchenko**, doctor of technical science,  
deputy of director,  
Main Astronomical Observatory of NAS of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine,  
e-mail: soi\_51@ukr.net

**M. O. Bondarenko**, doctor of technical science,  
associate professor of the department of instrumentation,  
mechatronics and computer technology,  
Cherkasy state technological university,  
Ukraine,  
e-mail: maxxium23@gmail.com

Наведено результати виготовлення тест-об'єктів, як еталонних засобів калібрування та повірки зондів атомно-силової мікроскопії (АСМ). Уперше матеріал викладено у стандартній формі термінами повірочних схем. Запропоновані технологічні основи виготовлення тестових об'єктів для АСМ. Основою процесу виготовлення таких об'єктів є комбінований метод резистивного осадження на основу з оптично-кварцового скла тонкого (менше 20 нм) покриття золота (Au) у вакуумі, температура випаровування (550...600) °С, час нанесення покриття (13...18) с.

Thus, the proposed technology of manufacturing test objects for atomic force microscopy (AFM) allows to obtain such objects with a wide range of measuring parameters at budget cost, and the use of which minimizes the occurrence of artifacts of AFM images, increases the resolution and reliability of the results, which allows timely detection of damaged probes for AFM. Process of making of such objects the combined method of the capacitance-resistance besieging is underlaid on basis from optical quartz glass of thin (less than 20 nm) coverage of gold (Au) in a vacuum (a working vacuum is  $10^{-3}$  Pa, energy of evaporation of 1,2 kJ, temperature of evaporation (550...600) °C, time of overcoating (13...18) s. The

test objects thus obtained must be calibrated with the highest possible resolution on a certified AFM device using a new probe.

Verification schemes establish the sequence and methods of transmission of a unit of physical quantity from the state standard to the working means of measurement. However, at present there are no state-approved measuring instruments by atomic force microscopy (AFM), such as working standards for transmitting the size of units of length in the nanometer range from the primary standard to measuring instruments. Today, a significant range of certified test objects and test structures for calibration and verification of nanoinstruments, including AFM, is known. Among the companies that are world leaders in the manufacture of test structures for nanometric measurements should be noted the following: MicroMasch (Sofia, Bulgaria), NT-MDT Spectrum Instruments (Moscow, Russia), Park Systems (Suwon, Korea), WiTec (Ulm, Germany) and others [5—8]. Therefore, to ensure the unity and guaranteed accuracy of measurement and control of surface characteristics of materials carried out in the nanometer range with the AFM method, it may be recommended to conduct primary calibration and periodic verification of the probe on reference samples such as test structures and test objects with regulated values of geometry and mechanical characteristics.

**Ключові слова:** атомно-силова мікроскопія, зонди, повірочні схеми, тестові об'єкти, нанометричні вимірювання.

**Keywords:** atomic-force microscopy, probes, test charts, verification schemes, test objects, nanometer measurings.

Незважаючи на перспективність розвитку такого напрямку, як нанотехнології, в ряді країн досі залишається відсутньою система метрологічного забезпечення вимірювань лінійних розмірів нанометрового діапазону від 1 до 1000 нм,



О. І. Шевченко



М. О. Бондаренко



DOI: 10.33955/2307-2180(3)2020.40-43

УДК 53.089.6:539.1.074

# КАЛІБРУВАННЯ ДОЗИМЕТРИЧНИХ ЗАСОБІВ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЕННЯ

## Calibration of Ionizing Radiation Dosimetric Means

**С. П. Яцишин**, доктор технічних наук,  
професор кафедри інформаційно-вимірювальних  
технологій,

e-mail: slav.yat@gmail.com

**С. Л. Лазаренко**, аспірант,  
начальник відділу

ДП «Київоблстандартметрологія»,

e-mail: lazar2028@ukr.net

**Н. С. Лазаренко**, аспірант,  
провідний спеціаліст відділу

ДП «Київоблстандартметрологія»,

e-mail: lazar2012@ukr.net

Національний університет «Львівська політехніка»,  
Україна,

**S. P. Yatsyshyn**, doctor of technical sciences,  
professor of the department of information  
and measurement technologies,

e-mail: slav.yat@gmail.com

**S. L. Lazarenko**, graduate student,  
head of the department of

SE «Kyivoblstandartmetrologiya»,

e-mail: lazar2028@ukr.net

**N. S. Lazarenko**, graduate student,  
leading specialist of the department

of SE «Kyivoblstandartmetrologiya»,

e-mail: lazar2012@ukr.net

Lviv Polytechnic National University,  
Ukraine,

Проаналізовано особливості калібрування дозиметричних засобів вимірювальної техніки іонізуючого випромінювання. З прийняттям 1 січня 2016 року Закону № 1314-VII від 05.06.2014 «Про метрологію та метрологічну діяльність» у новому ракурсі постало поняття «калібрування», особливо для дозиметричних ЗВТ, що призвело до виникнення значної кількості питань. Перше — це питання представлення результатів калібрування. Друге — дозиметричні прилади калібрують за допомогою еталонів, представлених джерелами іонізуючого випромінювання (різні види випромінювання, енергії випромінювання, дозиметричні величини тощо). Тобто, на практиці кожен дозиметричний прилад можливо використовувати для моніторингу полів гамма- та/або рентгенівського випромінювання тільки певного енергетичного діапазону, визначеного в технічній документації на цей прилад. Важливою параметром є фізична величина дозиметричного приладу, за якою калібрують, вид випромінювання та точність. Тому в роботі приділено увагу залученню відповідних еталонів для забезпечення всіх зазначених параметрів та єдності вимірювання, а також для досягнення належної точності калібрування.

Розглянуто процедури калібрування дозиметра за нормальних та робочих умов експлуатації. Наведені приклади свідчать що калібрування, як визначення значень метрологічних характеристик, притаманних певному засобу вимірювання, необхідне для підвищення точності вимірювань, а також для оцінювання реальної похибки за умов експлуатації,

яка може виявитися більшою за паспортну.

Підкреслено, що за калібруванні дозиметричних приладів потрібно враховувати такі фактори, як сферу застосування дозиметрів, умови експлуатації, вид випромінювання (гамма-, нейтронне чи рентгенівське) та вибрати відповідні методи калібрування. В дозиметрії іонізуючого випромінювання застосовують низку дозиметричних величин, які визначають сферу використання засобів вимірювальної техніки і можуть застосовуватися для різних цілей в різноманітних сферах життєдіяльності. Запропоновано форми представлення калібрувальних характеристик.

Features of calibration of dosimetric means of measuring equipment of ionizing radiation are analyzed. With the adoption on January 1, 2016 of the Law of 05.06.2014 № 1314-VII "On metrology and metrological activities", the concept of "calibration" especially of the dosimetric means have arisen. The mentioned have caused the significant issues. First one is the consideration of presenting the calibration results. Second, dosimetric devices are calibrated using standards represented by sources of ionizing radiation (different types of radiation, radiation energies, dosimetric values, etc.). That is, each dosimetric mean can be used to monitor gamma and / or X-ray fields only within the certain energy range defined in the technical documentation for this device. An important parameter is the physical value of the dosimetric mean, at which it is calibrated; the type of radiation and needed accuracy. Therefore, the paper pays attention to the involvement of



С. П. Яцишин



С. Л. Лазаренко



Н. С. Лазаренко

DOI: 10.33955/2307-2180(3)2020.44-49

УДК 628.9

# ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНІСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ОСВІТЛЕНОСТІ ДЛЯ ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ

**Improving the reliability  
of the definition  
of illumination  
for outdoor lighting**

**О. М. Ляшенко**, кандидат технічних наук,  
старший викладач,

Харківський національний університет  
міського господарства ім. О.М. Бекетова  
(ХНУМГ ім. О.М. Бекетова), Україна,

**Є. П. Тимофеев**, доктор технічних  
наук, головний науковий співробітник,  
Національний науковий центр  
«Інститут метрології», Україна,

**Ю. О. Васильєва**, кандидат технічних наук,  
доцент,

**О. М. Діденко**, кандидат технічних наук,  
старший викладач,  
ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, Україна,  
e-mail: happy.light9574@gmail.com

**O. M. Liashenko**, candidate of technical  
sciences, senior lecturer,  
Kharkiv National University of Municipal  
Economy named after O.M. Beketov  
(KhNUMG named after O.M. Beketov), Ukraine,

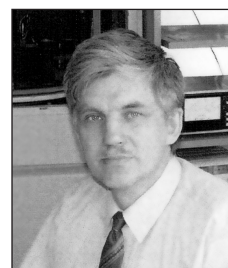
**E. P. Tymofeiev**, doctor of technical  
sciences, chief researcher,  
National Research Center  
«Institute of Metrology», Ukraine,

**Yu. O. Vasylieva**, candidate of technical  
sciences, associate professor,

**O. M. Didenko**, candidate of technical  
sciences, senior lecturer,  
KHNUMG name after O.M. Beketov, Ukraine,  
e-mail: happy.light9574@gmail.com



О. М. Ляшенко



Є. П. Тимофеев



Ю. О. Васильєва



О. М. Діденко

Ураховуючи наявність в Україні світлодіодних світильників з широким розкидом основних характеристик (світлового потоку, діаграми просторового розподілу сили світла, стабільності світлових характеристик, колірної температури), відсутність обов'язкової оцінки відповідності характеристик може призводити до значного відхилення реальних значень освітленості від нормованих. Складність монтажу світильників зовнішнього освітлення, що здебільшого розміщуються на значній висоті (більше 8 м) і на відкритому просторі, зумовлює доцільність їх правильного вибору за допомогою застосування спеціалізованих комп'ютерних програм. Для забезпечення відповідності світлодіодних освітлювальних установок зовнішнього освітлення вимогам безпеки, комфортності й енергоекономічності необхідно уможливити доцільність застосування сучасного програмного забезпечення внаслідок підвищення достовірності результатів комп'ютерного моделювання зовнішніх сцен освітлення. Метою статті є підвищення достовірності результатів комп'ютерного моделювання освітлювальних установок для зовнішніх об'єктів інфраструктури міста шляхом забезпечення збіжності розрахованих і виміряних приладами освітленостей у контрольних точках.

Для реалізації цієї мети проведено аналіз особливостей освітлення зовнішніх об'єктів з урахуванням їх специфіки і визначено фактори, що впливають на достовірність результатів комп'ютерних розрахунків освітленості

та інших параметрів освітлювальних систем. Визначено коефіцієнти максимальної похибки для трьох основних джерел світла (світлодіодів, металогалогенних ламп і натрієвих ламп високого тиску) і запропоновано узагальнений коефіцієнт максимальної похибки для застосування у світлотехнічних комп'ютерних програмах під час проектування та реконструкції систем зовнішнього освітлення. Наведено приклади застосування методики коригування результатів моделювання освітлювальних установок зовнішніх об'єктів з різним функціональним призначенням (вулиці або магістралі, відкриті спортивні споруди, тунелі). За введення узагальненого коефіцієнта похибки для систем зовнішнього освітлення відповідно до їх параметрів (джерел світла, світлових приладів, умов середовища й експлуатації) результати розрахунків збігаються з виміряними, що свідчить стосовно підвищення достовірності результатів комп'ютерного визначення освітленості.

Given the presence in Ukraine of LED luminaires with a wide range of basic characteristics (luminous flux, diagram of the spatial distribution of light intensity, stability of light characteristics, color temperature) in the absence of mandatory assessment of characteristics can lead to significant deviations from normal values. Due to the complexity of the installation of outdoor lighting fixtures, which are mostly placed at a considerable height (more than 8 m) and in the open space, it is expediency to choose them correctly using specialized computer

DOI: 10.33955/2307-2180(3)2020.50-55

УДК 677.017

# ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ШЛЯХОМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ЇХНЬОЇ АПЕРІОДИЧНОСТІ

## Improving the Quality of Management of Technological Processes by Ensuring Their Maximum Periodicity

**С. М. Лісовець**, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та вимірювальної техніки, Київський національний університет технологій та дизайну, e-mail: ser.lis.290171@gmail.com

**М. А. Зенкін**, доктор технічних наук, професор кафедри машин та агрегатів поліграфічного виробництва, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», e-mail: nikolay\_zenkin@ukr.net

**І. Л. Ківа**, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та вимірювальної техніки, e-mail: leonidovich1259@gmail.com

**Я. Т. Недлінський**, магістр кафедри, e-mail: yarosha1337@gmail.com Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

**S. M. Lisovets**, candidate of technical sciences, associate professor of computer integrated technologies and measurement technology, Kyiv national university of technology and design, e-mail: ser.lis.290171@gmail.com

**M. A. Zenkin**, doctor of engineering, professor of the department of machines and units of printing production, National technical university of Ukraine «Kyiv polytechnic institute named Igor Sikorsky», e-mail: nikolay\_zenkin@ukr.net

**I. L. Kiva**, candidate of technical sciences, associate professor of department of computer integrated technologies and measurement technics, e-mail: leonidovich1259@gmail.com

**Ya. T. Nedlinskyi**, master of the department, e-mail: yarosha1337@gmail.com Kyiv national university of technology and design, Ukraine



С. М. Лісовець



М. А. Зенкін



І. Л. Ківа



Я. Т. Недлінський

Показана можливість, використовуючи типову методику, синтезу цифрових регуляторів у такий спосіб, щоби забезпечувалася максимальна аперіодичність технологічних процесів, для яких вони використовуються. На прикладі об'єкта керування 2-го порядку наведено розрахунок таких регуляторів для стрибкоподібних і лінійно-змінюваних вхідних сигналів. Також показано, що внаслідок незначної коливальності, можна забезпечити високу якість перехідних процесів одночасно для кількох різних вхідних впливів.

The article discusses obtaining aperiodicity for most technological processes that are used in industry, such as maintaining temperature, moisture content, angular velocity, and so on. Some of these processes do not allow significant or even minor overshoot, as this can lead to damage to materials, equipment or finished products.

Also, the article analyzes the general issues of calculating aperiodic digital controllers, and also analyzes the operation of an automated control system, which contains a digital controller, a zero-order lock and a control object. For such a system, based on a typical calculation methodology, a synthesis of

several regulators is presented. The essence of the calculation method was that with a known transfer function of the control object, the desired transfer function of the closed-loop automated control system is set, and the required controller is synthesized on the basis of these transfer functions.

This calculation method assumes that the resulting transient processes will have not only aperiodicity, but also the absence of a static error and a minimum flow time. At the same time, the quality of transient processes essentially depends on the type of input signals: a step signal, a linearly varying signal, or a signal of any other type.

In addition, in the article, using a typical calculation methodology, the synthesis of a digital controller is presented in such a way that it provides a satisfactory transient process simultaneously with both jump-like and linearly varying signals. This result was achieved by introducing a special weighting factor.

The article also shows that it is possible, in principle, to synthesize digital controllers that provide aperiodicity of transient processes for control objects not only of the second order, but also of higher orders, as well as for input signals of other types (for example, changing according to a parabolic or harmonic law).

DOI: 10.33955/2307-2180(3)2020.56-62

УДК 621.317.757:53.088.3

# ESTIMATION OF SINE SIGNALS AMPLITUDE BY THE LEAST SQUARES METHOD: A COMPARATIVE ANALYSIS OF ACCURACY OF ELLIPSE FITTING ALGORITHMS

Оцінювання амплітуд синусоїдальних сигналів за допомогою методу найменших квадратів: порівняльний аналіз точності алгоритмів апроксимації еліпса

**I. O. Kostiukov**, senior lecturer,  
ORCID: 0000-0002-8923-0579,  
National Technical University  
«Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine,  
e-mail iakostiukow@gmail.com

**I. O. Костюков**, старший викладач,  
ORCID: 0000-0002-8923-0579,  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут», Україна,  
e-mail iakostiukow@gmail.com

The article presents a comparative analysis of accuracy of sine signals amplitude estimation based on the computation of scatter ellipse parameters. Such computations have been carried out for the cases of normally distributed white noise and arbitrarily selected, recorded and gained waveform of noise on the input and on the output of phase shifter. All simulations have been made by applying three various approaches: two modifications of the least squares method based on two different constraints, imposed on the scatter ellipse parameters, and on the direct calculation of appropriate parameters of quadratic form through the values of variance of additive mixture of sine signal and noise. Carried out analysis has shown benefits of amplitude estimation based on the direct calculation of the quadratic form parameters on the basis of calculated variances of analyzed signals. Mentioned benefits were determined not only by a significant simplification of software development in case of the direct estimation of quadratic form parameters, but also by higher accuracy of sine signal amplitude estimation.

У статті представлений порівняльний аналіз точності оцінки амплітуди синусоїдальних сигналів на основі обчислення параметрів розсіяного еліпса. Такі обчислення були проведені для випадків нормально розподіленого білого шуму і довільно підібрані, записані та отримані форми сигналу шуму на вході та на виході фазообертача. Всі моделювання були зроблені з використанням трьох різних підходів: дві модифікації методу найменших квадратів на основі двох різних обмежень, накладених на параметри розсіяного еліпса, і на безпосередній розрахунок відповідних параметрів квадратної форми через значення дисперсії адитивної суміші синусоїдального сигналу та шуму. Проведений аналіз показав переваги оцінки амплітуди на основі безпосереднього обчислення параметрів квадратичної форми на основі обчислених дисперсій аналізованих сигналів. Зазначені переваги були визначені не лише значним спрощенням розроблення програмного забезпечення у разі прямої оцінки параметрів квадратичної форми, а й більш високою точністю оцінки амплітуди синусоїдального сигналу.

**Keywords:** variance of a signal, quadratic form, scatter ellipse, white noise.

**Ключові слова:** дисперсія сигналу, квадратична форма, еліпс розсіювання, білий шум.

## 1. INTRODUCTION

A significant amount of diverse applied engineering problems, which concern measurements of various parameters of materials or electrical circuits, anyhow can be reduced to the problem of ellipse approximation. In this case the elliptic curve is formed by time dependence between the corresponding sine curves with certain value of phase shift. One of these sine curves corresponds to the flowing through the tested object current. The other sine curve corresponds to time dependence of voltage drop on tested object. Typical example of such engineering issues is the issue of accurate impedance measurement. This issue, among other various approaches, can be solved by processing mentioned time dependencies of current and voltage in the context of scatter ellipse approximation. Such approach for impedance measurement has been elaborated, implemented and described in [1—4]. Mentioned method implies the approximation of ellipse by means of applying the least squares method with further calculation of impedance phase and magnitude based on estimated parameters of quadratic form for elliptic curve.

In this case the accuracy of impedance measurement, obviously, depends on the accuracy of ellipse fitting. The applying of classical least squares method for



© I. O. Костюков, 2020

DOI: 10.33955/2307-2180(3)2020.63-67

УДК 621.3

# КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ ДИНАМІКОЮ ГАЗОВОЇ ФАЗИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО АПАРАТА З БАРБОТАЖЕМ

## Computerized System for Monitoring and Controlling the Dynamics of the Gas Phase of the Technological Apparatus with Bubbling

**Ю. К. Тараненко**, доктор технічних наук, професор,  
Приватне підприємство «Ликопак», Дніпро, Україна,  
**О. Ю. Олійник**, кандидат технічних наук,  
доцент, викладач,  
Коледж радіоелектроніки, Дніпро, Україна,  
e-mail: oleinik\_o@ukr.net

**Yu. K. Taranenko**, doctor of technical sciences, professor,  
Private enterprise «Lykopak» Dnipro, Ukraine,  
**O. Yu. Oliynyk**, candidate of technical sciences,  
associate professor, lecturer,  
College of Radio Electronics, Dnipro, Ukraine,  
e-mail: oleinik\_o@ukr.net

Стаття присвячена розробленню комп'ютеризованої системи контролю та управління динамікою газової фази технологічного апарата з барботажем з використанням віброчастотного методу контролю амплітудно-частотних характеристик середовища рідина-газ.

Використання відомих методів контролю в технологічних апаратах з барботажем ускладнено, оскільки густина і в'язкість середовища значною мірою визначаються ступенем насичення газом.

Основою запропонованої динаміки газорідного середовища є отримане раніше співвідношення для розрахунку відносної амплітуди коливання твердої фази в суспензії, на основі якого отримана залежність, що враховує поведінку бульбашок газу в рідині. Наведено числові рішення диференціального рівняння для гетерогенної системи рідина-газ у середовищі Python з використанням бібліотеки *sympy* із застосуванням комплексного поєднання і спрощення.

Отримано диференціальне рівняння для розрахунку швидкості спливання бульбашок газу різного діаметра, яке можна використовувати як ламінарний режим течії, так і турбулентний. Показано, що стабілізація швидкості бульбашок у потоці газу через рідину відбувається за різної швидкості, що визначається розміром діаметра бульбашок і може регулюватися шляхом контролю розміру форсунки. Час до стабілізації швидкості зростає зі зменшенням діаметра бульбашок. Амплітуда коливань газової фази перевищує амплітуду коливання рідини, а діаметр збільшується за спливання і з ростом частоти.

Запропоновано структуру комп'ютеризованої системи контролю та управління динамікою газової фази технологічного апарата з барботажем, що дозволяє контролювати процес стабілізації швидкості бульбашок за барботажем для ефективного теплообміну.

The article is devoted to the development of a computerized system for monitoring and controlling the dynamics of the gas phase of a technological apparatus with bubbling using a frequency-based method for monitoring the amplitude-frequency characteristics of a liquid-gas medium.

The use of known control methods in technological devices with bubbling is difficult, since the density and viscosity of the medium are largely determined by the degree of gas saturation.

The proposed dynamics of a gas-liquid medium is based on the previously obtained relation for calculating the relative amplitude of oscillations of the solid phase in a suspension, on the basis of which a dependence was obtained that takes into account the behavior of gas bubbles in a liquid. Numerical solutions of the differential equation for a heterogeneous liquid-gas system in a Python environment are presented using the *sympy* library using complex conjugation and simplification.

A differential equation has been obtained for calculating the speed of the ascent of a gas bubble of different diameters, which can be used both in a laminar flow regime and in a turbulent one. It is shown that the stabilization of the bubble velocity in the gas flow through the liquid occurs at different speeds, which is determined by the size of the bubble diameter and can be adjusted by controlling the nozzle size. The time to stabilize the velocity increases with decreasing bubble diameter. The amplitude of the oscillations of the gas phase exceeds the amplitude of the oscillations of the liquid, and the diameter increases with ascent and with increasing frequency.

The structure of a computerized system for monitoring and controlling the dynamics of the gas phase of a technological apparatus with bubbling is proposed, which makes it possible to control the process of stabilizing the velocity of bubbles during bubbling for effective heat transfer.



Ю. К. Тараненко



О. Ю. Олійник

**Ключові слова:** комп'ютерна модель динаміки, віброчастотний метод, швидкість спливання, газ, бульбашка, Python

**Keywords:** computer model of dynamics, vibration-frequency method, ascent rate, gas, bubble, Python

DOI: 10.33955/2307-2180(3)2020.68-72

УДК 656.61.052

# КІЛЬКІСНА ІМОВІРНІСНА ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОМПЛЕКСУ ЗВ'ЯЗКУ РУХОМОГО ОБ'ЄКТА ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

## Quantitative Probabilistic Assessment of the Communication Complex Reliability on the Mobile Water Transport Object

**Р. А. Габрук**, кандидат технічних наук,  
капітан далекого плавання, AFNI, керівник проєктів,  
ТОВ «Оверсіз Лоджистік», Одеса, Україна,  
e-mail: grostyslav@yahoo.com

**R. A. Gabruk**, candidate of technical sciences,  
deep sea captain, project manager, AFNI,  
«Overseas logistic» Ltd., Odesa, Ukraine,  
e-mail: grostyslav@yahoo.com

Сформульовано алгебраїчні вирази для ймовірнісної оцінки надійності технічного комплексу зв'язку. Сформовано схему надійності для типового обладнання інтегрованого комплексу глобальної морської системи зв'язку в разі лиха і для забезпечення мореплавства для морського району А4, який схвалено класифікаційним товариством. Визначено перспективні напрямки подальших наукових досліджень.

The article formulates algebraic expressions for probabilistic estimation of technical communication complex reliability. A reliability scheme has been formed for the standard equipment of the integrated complex of the global maritime distress and safety system for the A4 sea area, which has been approved by the classification society. Perspective directions of further scientific researches have been determined.

**Ключові слова:** безпека мореплавства, технічна система, теорія ймовірності, індикаторна функція, надійність.  
**Key words:** safety of navigation, technical system, probability theory, indicator function, reliability.

Система зв'язку рухомого об'єкта водного транспорту (РОВТ) представляє собою сертифікований класифікаційним товариством (КТ) стандартизований відповідно до міжнародних вимог інтегрований комплекс глобальної морської системи зв'язку для безпеки мореплавства [1, 2]. Глобальна морська система зв'язку в разі лиха і для забезпечення безпеки мореплавства (ГМЗЛБ) — міжнародна система, яка використовує сучасні наземні та супутникові системи радіозв'язку і направлена на гарантування надійного зв'язку, що стосується безпеки та терміновості, передавання інформації, яка необхідна для безпеки мореплавства, включаючи навігаційні й метеорологічні попередження.

У контексті безпеки мореплавства на всьому просторово-часовому проміжку експлуатації РОВТ на перше місце виходить надійне виконання системами своїх цільових функцій. Проблема оцінки надійності складної технічної системи зв'язку з метою подальшого гарантування безпеки РОВТ є важливим науково-практичним завданням.

Характерними рисами ГМЗЛБ є: високий ступінь автоматизації для передавання і приймання повідомлень, заснований на широкому використанні супутникових і удосконалених традиційних методів зв'язку; напрямок оповіщень про лихо, в першу чергу, до рятувальних координаційних центрів (РКЦ) і гарантування чіткої координації дій під час проведення пошуково-рятувальних операцій; швидке і достовірне передавання і приймання оповіщень про лихо; централізоване забезпечення РОВТ інформацією з безпеки мореплавства. В усіх районах ГМЗЛБ РОВТ має гарантовану можливість аварійного оповіщення. Для цих цілей Міжнародною морською організацією (ІМО) розроблені мінімальні вимоги до складу радіоустаткування, що є частиною бортового багатофункціонального комплексу навігаційного



© Габрук Р. А., 2020