

Вимірюйте
усе доступне вимірюванню
й робіть недоступне вимірюванню
доступним.

Галілео Галілей

ISSN 2307-2180

Метрологія



Та прилади

№ 1(63), 2017

Науково-виробничий журнал

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 «Фавор ЛТД»

Видається з березня 2006 року
Рік випуску одинадцятий
Передплатний індекс 92386

Редакційна колегія:

Большаков В. Б., д. т. н., с. н. с.
Варша З., д. т. н., Польща
Величко О. М., д. т. н., проф.
Віткін Л. М., д. т. н., проф.
Володарський Є. Т., д. т. н., проф.
Грищенко Т. Г., д. т. н., с. н. с.
Гудрун В., д. т. н., Німеччина
Жагора М. А., д. т. н., проф., Білорусь
Захаров І. П., д. т. н., проф.
Зенкін А. С., д. т. н., проф.
Коломієць Л. В., д. т. н., проф.
Косач Н. І., д. т. н., проф.
Кошева Л. О., д. т. н., проф.
Крюков О. М., д. т. н., проф.
Кузьменко Ю. В.
Кухарчук В. В., д. т. н., проф.
Мачехін Ю. П., д. т. н., проф.
Назаренко Л. А., д. т. н., проф.
Неежмаков П. І., д. т. н. доц.
Петришин І. С., д. т. н., проф.
Пістун Є. П., д. т. н., проф.
Радев Х., д. т. н., проф., Болгарія
Рожнов М. С., к. х. н., с. н. с.
Руженцев І. В., д. т. н., проф.
Самойленко О. М., д. т. н., проф.
Скубіс Т., д. т. н., проф., Польща
Столярчук П. Г., д. т. н., проф.
Сурду М. М., д. т. н., проф.
Туз Ю. М., д. т. н., проф.
Хакімов О., д. т. н., проф., Узбекистан
Чалий В. П., к. т. н., с. н. с.
Черепков С. Т., к. т. н., доц.
Чуновкіна А. Г., д. т. н., Росія

Редакційна група:

Головний редактор Фісун В. П.
Науковий редактор — відповідальний
секретар Винокуров Л. І.
Дизайнер-верстальник Зайцев Ю. О.

Журнал **рекомендовано до друку**
вченою радою ХНУРЕ
(протокол №4 від 22.02.2017)

Адреса редакції:

61002, Харків, вул. Свободи, 32б;
Тел.: (057) 714-23-07, (095) 00-68-665
E-mail: metrolog-prylady@ukr.net
http://www.amu.in.ua/journal1

Видавець та виготовлювач:

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

Підписано до друку 07.03.2017.
Формат 60×84/8. Папір крейдований.
Ум. друк. арк. 8,43. Обл.-вид. арк. 7,13.
Друк офсетний. Тираж 400 прим.
Замовлення № 5.

© «Метрологія та прилади», 2017

Журнал **zareestrovano**
у Державній реєстраційній
службі України, свідоцтво серія
КВ № 20033-8933ПР від 17.05.2013;
включено до Переліку наукових
фахових видань України, наказ
Міністерства освіти і науки України
№ 747 від 13.07.2015

Журнал **включено** до Міжнародної
наукометричної бази даних
Index Copernicus, лист від 08.03.2013

УКАЗ ПРЕЗИДЕНТА УКРАЇНИ №56/2017

**Про відзначення державними нагородами України з нагоди
Міжнародного жіночого дня**

**За значний особистий внесок у соціально-економічний, науково-
технічний, культурно-освітній розвиток Української держави,
зразкове виконання службового обов'язку та багаторічну сумлінну
працю постановляю:**

Нагородити медаллю «За працю і звитягу»

**БЄЛІЦЬКУ Ольгу Іванівну — начальника лабораторії служби
відокремленого підрозділу «Запорізька атомна електрична
станція» державного підприємства «Національна атомна
енергогенеруюча компанія «Енергоатом»**

**ЛАВРИК Ольгу Іванівну — начальника цеху акціонерного
товариства «Сумське машинобудівне науково-виробниче
об'єднання»**

Присвоїти почесне звання:

«ЗАСЛУЖЕНИЙ МЕТРОЛОГ УКРАЇНИ»

**ШАПОВАЛЮК Ользі Семенівні — начальникові відділу
державного підприємства «Вінницький науково-виробничий центр
стандартизації, метрології та сертифікації»**

Президент України П.ПОРОШЕНКО

7 березня 2017 року

ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Віткін Л.

Аналіз системи технічного регулювання, стандартизації, метрології в Україні та заходи щодо її удосконалення на 2017 рік3

Попруга Ю.

Департамент технічного регулювання Міністерства економічного розвитку і торгівлі України: метрологічна діяльність у 2016 році8

TRENDS AND PROSPECTS FOR DEVELOPMENT

Vitkin L.

Analysis of technical regulation, standardization, metrology in Ukraine and measures for its improvement in 2017

Popruga Yu.

Technical Regulation Department of the Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine: Metrological activities in 2016

МІЖНАРОДНІ ЗВІРЕННЯ ЕТАЛОНІВ

Величко О.

Міжнародні ключові звірення у рамках КООМЕТ національних еталонів одиниці напруги змінного струму11

INTERNATIONAL COMPARAISONS OF MEASUREMENT STANDARDS

Velychko O.

International Key Comparison COOMET of National Standard of Unit of AC Voltage

ЕТАЛОННА БАЗА

Вишняков П., Ісхакова О., Бондаренко Г., Тимошенко О., Моторна Л.

Удосконалення еталонної бази у сфері термометрії шляхом модернізації вторинного еталона одиниці температури 20

MEASUREMENT STANDARD BASE

Vyshniakov P., Iskhakova O., Bondarenko G., Timoshenko O., Motorna L.

Improvement of reference framework of thermometry by modernization secondary standard unit of temperature

ЄДНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ

Ходаковський М., Будник М., Лебедева Т., Шпильовий П., Мерзвинський П., Дегтярук В., Риженко Т., Тимошенко Я., Грищенко Л., Расчектаєва А., Тимофеев Є.

Забезпечення єдності вимірювань у біомедичних оптичних приладах 25

TRACEABILITY OF MEASUREMENT

Khodokovsky M.I., Budnik M.M., Lebedeva T.S., Shpilevoy P.B., Merzhvynsky P.A., Degtyaruk V.I., Ruzhenko T.M., Timoshenko J.M., Grishchenko L.V., Raschekhtayeva A.I., Timofeev E.P.

Assurance of uniformity of measurements in biomedical optical measuring instruments

ТОЧНІСТЬ ТА ДОСТОВІРНІСТЬ

Федин С., Зубрецкая И., Поликарпов А.

Обеспечение точности построения градуировочных характеристик НТС-термисторов на основе нейронных сетей с радиальными базисными функциями37

ACCURACY AND RELIABILITY

Fedin S., Zubretskaya I., Polikarpov A.

Accuracy Assurance of Calibrated Characteristics Definition for NTC-Thermistors Based on Neural Networks with Radial Basis Functions

МЕТОДИ ТА МЕТОДИКИ

Петришин І., Присяжнюк Т., Бас О.

Метод та спосіб визначення теплоти згоряння природного газу у споживачів комунально-побутового сектору47

METHODS AND PROCEDURES

Petryshyn I., Prisyazhnyuk T., Bas O.

The Method and the Method of Determining the Natural Gas Heat of Combustion to Domestic Household Sector Consumers

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Руженцев І., Луцький С., Фетків В.

Системно-інформаційна база метрологічного забезпечення техніко-економічних показників виробництва 54

METROLOGICAL ASSURANCE

Ruzhentsev I., Lutsky S., Fetkiv V.

System-Information Base of Metrological Support of Technical and Economic Parameters of Production

СТАНДАРТНІ ЗРАЗКИ

Володарский Е., Кошечкина Л., Гуржий А.

Оценивание метрологических характеристик стандартных образцов57

STANDARD SAMPLES

E Volodarsky, L. Kosheva, A. Gurjij

Estimation of metrological characteristics of reference materials

НЕЛІНІЙНА МЕТРОЛОГІЯ

Ю. Мачехін, Ю. Курський, О. Присич

Людина як об'єкт дослідження метрології нелінійних динамічних систем 63

NONLINEAR METROLOGY

Yu. Machekhin, Yu. Kurskoy, H. Prisch

A Human as a Research Object for Metrology of Nonlinear Dynamic Systems

ВІЙСЬКОВА МЕТРОЛОГІЯ

Крюков О., Мудрик В.

Алгоритмічні основи функціонування засобу вимірювання швидкості руху металевих елементів в каналі ствола67

MILITARY METROLOGY

A. Kriukov, V. Mudrik

Algorithmic bases of processing of the measuring information about the velocity of the throwing element in the bore

СЕМІНАРИ, КОНФЕРЕНЦІЇ, З'ЇЗДИ

Большаков В.

III Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених у царині метрології «Technical using of Measurement-2017»72

SEMINARS, CONFERENCES, CONGRESSES

Bolshakov V.

III All-Ukrainian Scientific-Technical Conference of Young Scientists in the Field of Metrology «Technical using of Measurement-2017»

ІНФОРМАЦІЯ

7, 36

INFORMATION

УДК 381/2

АНАЛІЗ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ, СТАНДАРТИЗАЦІЇ, МЕТРОЛОГІЇ В УКРАЇНІ ТА ЗАХОДИ ЩОДО ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ НА 2017 РІК

Л. Віткін, доктор технічних наук, директор Департаменту технічного регулювання,
Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, м. Київ

В Україні протягом двох з половиною років активного реформування системи технічного регулювання здійснено такі заходи:

- *схвалено* Стратегію розвитку системи технічного регулювання на період до 2020 року;
- *прийнято* три нові базові Закони України «Про стандартизацію», «Про метрологію та метрологічну діяльність» та «Про технічні регламенти та оцінку відповідності», з метою реалізації яких розроблено понад 76 підзаконних нормативно-правових актів;
- *створено* незалежний Національний орган стандартизації (НОС), який розпочав свою діяльність із січня 2015 року і на сьогодні має фонд чинних національних стандартів у кількості 21706 одиниць (із них 12266 — гармонізовано з міжнародними та європейськими; рівень гармонізації стандартів становить 56,5 %);
- *забезпечено* належне функціонування та удосконалення 69 державних первинних еталонів, 71 вторинного еталона, Україна має 259 СМС — рядків (калібрувальні та вимірювальні можливості еталонів) на сайті Міжнародного бюро з мір та вагів (BIPM);
- *оновлено* матеріальну базу випробувальних та метрологічних лабораторій у пріоритетних секторах;
- *створено* інфраструктуру призначених органів;
- *здійснено* перехід до європейської моделі сертифікації дорожніх транспортних засобів;
- *створено* Державну службу України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів.
- *здійснено* у сфері оцінки відповідності перехід від обов'язкової сертифікації продукції в державній системі сертифікації до оцінки відповідності вимогам технічних регламентів (перелік продукції, що підлягає обов'язковій сертифікації, в Україні скорочено на 87,6 %, а з 1 січня 2018 року буде скасовано; прийнято 49 технічних регламентів, із яких упроваджено 48, а 46 — розроблено на основі європейських директив);
- *здійснено* у сфері метрології перехід до міжнародної моделі метрологічної системи на основі рекомендацій OIML, зокрема, скасовано державні випробування засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), які замінено на оцінку відповідності ЗВТ вимогам технічних регламентів; удвічі скорочено перелік категорій законодавчо врегульованих ЗВТ (зі 160 залишилося 80 категорій відповідно до європейської практики).



СТАНДАРТИЗАЦІЯ

Активне реформування системи національної стандартизації відповідно до міжнародних та європейських норм і правил розпочалося 05.06.2014 з прийняттям Верховною Радою України Закону України «Про стандартизацію» (набрав чинності 03.01.2015).

Мінекономрозвитку на виконання Закону реалізовано низку заходів, спрямованих на розбудову національної системи стандартизації, започаткування діяльності та зміцнення інституційної спроможності Національного органу стандартизації.

Кабінетом Міністрів України прийнято розпорядження від 26.11.2014 № 1163 «Про визначення державного підприємства, яке виконує функції національного органу стандартизації», яким визначено, що з 03.01.2015 функції НОС виконує Державне підприємство «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»).

До повноважень Національного органу стандартизації, зокрема, належить прийняття, скасування та відновлення дії національних стандартів; підготовка та затвердження програми робіт з національної стандартизації; координація діяльності технічних комітетів стандартизації; представлення інтересів України в міжнародних та регіональних організаціях стандартизації.

ДП «УкрНДНЦ» представляє Україну як повноправний член у міжнародних організаціях стандартизації *ISO* та *IEC* та як афілійований член в європейських організаціях стандартизації *CEN* і *CENELEC*.

У 2015 році:

- *затверджено* Положення про комісію з апеляцій та Порядок розгляду нею апеляцій, склад комісії з апеляцій, Положення про керівну раду Національного органу стандартизації, яка є дорадчо-наглядним органом НОС, та її склад (щороку на плановій основі відбувається 5 — 6 засідань керівної ради);

- *прийнято* сім основоположних національних стандартів, які забезпечують функціонування системи національної стандартизації;

- *скасовано* 14475 застарілих міждержавних стандартів (ГОСТ), розроблених до 1992 року, які втратять чинність у 2016, 2017 та 2018 роках.

У 2016 році:

- *затверджено* нову Методику визначення трудомісткості та вартості робіт зі стандартизації на заміну Методики, затвердженої у 2007 році. Відповідно до нової Методики вартість розроблення національного стандарту зменшується на майже 40 %, що за-

безпечує відповідно розроблення більшої кількості національних стандартів;

- *затверджено* Методичні рекомендації щодо формування переліків національних стандартів, відповідність яким надає презумпцію відповідності продукції, пов'язаних з нею процесів або методів виробництва чи інших об'єктів вимогам технічних регламентів;

- *оновлено* три переліки національних стандартів (1642 стандарти), ідентичних гармонізованим європейським стандартам, відповідність яким надає презумпцію відповідності обладнання вимогам технічних регламентів щодо: низьковольтного електричного обладнання (*LVD* — 737), електромагнітної сумісності обладнання (*EMC* — 136), безпеки машин (*MD* — 769);

- *прийнято* 1466 національних стандартів, із яких 1320 міжнародних та європейських стандартів, прийнятих як національні стандарти;

- *створено* 7 технічних комітетів стандартизації, у тому числі з продукції оборонного призначення, проаналізовано діяльність ТК та переформатовано 30 неактивних ТК;

- *налагоджено* роботу Інтернет-магазину з продажу стандартів (*shop.uas.org.ua*);

- *прийнято* у 2014–2016 роках 6749 національних стандартів, із яких 6388 — міжнародних та європейських стандартів прийнято як національні стандарти, зокрема, у пріоритетних для АСАА секторах, що забезпечило прийняття з урахуванням стандартів, прийнятих у попередні роки, 100 % національних стандартів під технічні регламенти відповідно до Додатку III до Угоди про асоціацію між Україною та ЄС.

ОЦІНКА ВІДПОВІДНОСТІ ТА АКРЕДИТАЦІЯ

Реалізуються норми нового Закону України від 15.01.2015 № 124-VIII «Про технічні регламенти та оцінку відповідності», який набрав чинності 10 лютого 2016 року. Прийнято 12 постанов Кабінету Міністрів України та видано 12 наказів Мінекономрозвитку.

Із 27 актів європейського секторального законодавства, визначених Додатком III до Угоди про асоціацію, в Україні прийнято 24 технічних регламенти, із яких 23 технічні регламенти вже є обов'язковими до застосування.

На сьогодні в Україні діють 104 призначених органи з оцінки відповідності продукції вимогам технічних регламентів.

Упроваджено європейську модель сертифікації дорожніх транспортних засобів (ДТЗ) з 01.01.2016.

Забезпечено перехід від обов'язкової сертифікації ДТЗ до процедури затвердження їх конструкції.

Українську систему акредитації визнано Європейською кооперацією з акредитації (EA) за всіма напрямками акредитації. Україна набула членства у Міжнародній асоціації з акредитації лабораторій (ILAC), подано заявку на набуття повноправного членства у Міжнародному форумі з акредитації (IAF).

МЕТРОЛОГІЯ

1 січня 2016 року набрав чинності Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність».

З метою реалізації Закону прийнято 22 постанови Кабінету Міністрів України та видано 14 наказів Мінекономрозвитку.

Мінекономрозвитку розроблено Програму розвитку еталонної бази на 2018–2022 роки, схвалену Урядом (постанова від 28.12.2016 № 1041).

Прийнято та запроваджено три метрологічні технічні регламенти (технічні регламенти неавтоматичних зважувальних приладів та засобів вимірювальної техніки, які є аналогами відповідних європейських директив, зокрема, NAWI та MID).

На сьогодні створено інфраструктуру для проведення оцінки відповідності ЗВТ вимогам технічних регламентів.

Прийнято 270 стандартів, які є доказовою базою відповідності ЗВТ вимогам технічних регламентів.

МІЖНАРОДНЕ СПІВРОБІТНИЦТВО

Виконуються зобов'язання української сторони у рамках Угоди про фінансування програми «Сприяння взаємній торгівлі шляхом усунення технічних бар'єрів у торгівлі між Україною та Європейським Союзом» (видано 3 накази щодо реалізації першого другого та третього траншів, проведено 4 засідання Робочої групи, отримано третій та четвертий нефіксовані транші у розмірі 141 537,007 та 136 134,00 тис. грн. відповідно).

Опубліковано «Mini blue Guide» — настанову для вітчизняного виробника щодо ефективного виходу на європейський та міжнародні ринки.

Розроблено методичні рекомендації щодо визначення економічних переваг від застосування міжнародних стандартів на підприємствах України.

Залучено заінтересовані сторони до розвитку системи технічного регулювання України: ЄС, ООН, GIZ, США, Канаду, Латвію, Швецію тощо.

У рамках просвітницької кампанії проведено низку тренінгів щодо сертифікації систем енергетичного менеджменту відповідно до ДСТУ ISO 50001,

здійснено навчальний візит фахівців провідних інституцій інфраструктури якості Німеччини.

Підготовлено 11 торговельних запитів України до країн-торговельних партнерів, що створюють технічні бар'єри для взаємної торгівлі, які проголошені на 3 засіданнях Комітету СОР ТБТ.

Підготовлено матеріали для міждержавних комісій та робочих груп з 20 країнами-торговельними партнерами України.

ПІДГОТОВКА ДО УКЛАДЕННЯ УГОДИ АСАА

Українською Стороною ініційовано процес проведення перевірки з боку Сторони ЄС стану готовності України до підписання Угоди «Про оцінку відповідності та прийнятність промислової продукції» (АСАА) у трьох визначених секторах української промисловості (низьковольтне обладнання, електромагнітна сумісність, машини).

ЄК позитивно оцінила наміри української сторони щодо започаткування переговорного процесу стосовно укладення Угоди АСАА.

Європейською стороною погоджено Дорожню карту заходів щодо започаткування процесу офіційного оцінювання української інфраструктури якості з боку ЄС з метою укладення Угоди АСАА.

Передано на розгляд європейській стороні 7 Законів України, 3 Технічних регламенти, порівняльні таблиці відповідності Технічних регламентів положенням відповідного законодавства ЄС, 3 переліки національних стандартів, відповідність яким надає презумпцію відповідності продукції, пов'язаних з нею процесів або методів виробництва чи інших об'єктів вимогам технічних регламентів у пріоритетних для АСАА секторах.

Повідомлено європейську сторону стосовно прийняття усіх 1642 національних стандартів, відповідність яким надає презумпцію відповідності продукції, пов'язаних з нею процесів або методів виробництва чи інших об'єктів вимогам технічних регламентів у пріоритетних для АСАА секторах, та створення інфраструктури 64 призначених органів з оцінки відповідності, акредитованих Національним агентством України з акредитації.

Передбачається, що позицію Європейської Сторони буде висловлено у березні 2017 року.

ПОДАЛЬШИЙ РОЗВИТОК СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ В УКРАЇНІ

ЄС на постійній основі здійснює моніторинг реформування системи технічного регулювання в Україні та позитивно оцінює процес реформування зазначеної сфери і відзначає прогрес у ній.

У 2016 році Світовий банк здійснив оцінку стану розвитку та реформування системи технічного регулювання в Україні відповідно до міжнародних норм і правил, зокрема, з урахуванням положень Угоди ТБТ СОТ та дійшов позитивного висновку щодо стану розвитку й перетворень у цій сфері.

Під час Огляду торговельної політики України у рамках членства в СОТ, який відбувся 19–21 квітня 2016 року у м. Женеві, міжнародними та європейськими експертами відзначено прогрес у сфері реформування стандартизації, метрології, оцінки відповідності та акредитації в Україні.

Подальший розвиток системи технічного регулювання визначено Стратегією розвитку системи технічного регулювання на період до 2020 року та Планом дій до неї, реалізація яких дозволить створити сучасну систему технічного регулювання, визнану на міжнародному рівні.

ЗАВДАННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ, СТАНДАРТИЗАЦІЇ, МЕТРОЛОГІЇ В УКРАЇНІ НА 2017 РІК

Стандартизація:

- * зміцнення інституційної спроможності Національного органу стандартизації;
- * набуття Національним органом стандартизації повноправного членства в європейських організаціях стандартизації *CEN/CENELEC*;
- * прийняття щороку не менше ніж 1000 міжнародних та європейських стандартів як національних;
- * оптимізація структури технічних комітетів стандартизації із застосуванням принципу дзеркальності до міжнародних та європейських технічних комітетів стандартизації;
- * застосування ІТ-технологій для процедур стандартизації;
- * удосконалення законодавства.

Оцінка відповідності та акредитація:

- ♦ завершення прийняття усіх нормативно-правових актів, необхідних для реалізації Закону України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності», а саме, 5 актів Уряду;
- ♦ реєстрація у Верховній Раді України проекту Закону України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України (щодо технічних регламентів та оцінки відповідності)» (планується здійснити через Комітет з питань промислової політики та підприємництва), розробленого Департаментом технічного регулювання за результатами аналізу проблемних питань першого року застосування нового Закону України «Про технічні регламенти та оцінку

відповідності», його супроводження та прийняття;

- ♦ забезпечення прийняття 15 технічних регламентів (за розроблення 5 технічних регламентів відповідальне Мінекономрозвитку, за інші 10 — відповідні органи влади, відповідальні за технічне регулювання у визначених сферах діяльності);
- ♦ забезпечення здійснення перевірок призначених органів з оцінки відповідності та органів з сертифікації;
- ♦ продовження формування інфраструктури призначених органів з оцінки відповідності на виконання робіт згідно з технічними регламентами;
- ♦ забезпечення здійснення моніторингу Національного агентства України з акредитації;
- ♦ набуття членства Національним агентством України з акредитації у міжнародному форумі з акредитації (*IAF*);
- ♦ забезпечення підтримання статусу підписанта угод про визнання з європейською кооперацією з акредитації (*EA*) та Міжнародною кооперацією з акредитації лабораторій (*ILAC*).

Метрологія:

- реєстрація у Верховній Раді України проекту Закону України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України» (планується здійснити через Комітет з питань промислової політики та підприємництва), розробленого Департаментом технічного регулювання за результатами аналізу проблемних питань першого року застосування нового Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність», його супроводження та прийняття;
- створення, удосконалення та звірення національних еталонів відповідно до плану науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт Мінекономрозвитку у сфері метрології на 2017 рік за бюджетною програмою КПКВК 1201220 «Збереження та функціонування Національної еталонної бази, забезпечення функціонування служб, прикладні наукові й науково-технічні розроблення, виконання робіт за державними цільовими програмами і державним замовленням у сфері стандартизації, метрології та еталонної бази, гармонізація національних стандартів з міжнародними та європейськими, підготовка наукових кадрів у сфері економічного розвитку»;
- уповноваження суб'єктів господарювання на проведення повірки засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації та застосовуються у сфері законодавчо регульованої метрології, та проведення моніторингу їх відповідності вимогам Закону України «Про метрологію та метрологічну

діяльність» та критеріям, яким вони повинні відповідати;

► вжиття заходів для набуття повного членства України в Міжнародній організації законодавчої метрології (OIML) та підписання Метричної Конвенції для участі у повному обсязі в Угоді «Про взаємне визнання національних еталонів і сертифікатів калібрування й вимірювання, що видаються національними метрологічними інститутами» (CIPM MRA);

► проведення аналізу нормативно-правових актів, розроблених іншими ЦОВВ, що потребують приведення у відповідність до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність», та доведення цієї інформації до Кабінету Міністрів України з метою забезпечення внесення ЦОВВ відповідних змін до нормативно-правових актів.

Міжнародне співробітництво:


▲ виконання зобов'язань у рамках імплементації положень Угод «Про асоціацію між Україною та ЄС» та «Про фінансування програми «Сприяння взаємній

торгівлі шляхом усунення технічних бар'єрів у торгівлі між Україною та Європейським Союзом»;

▲ відстоювання інтересів вітчизняного виробника на міжнародних ринках у межах виконання зобов'язань України як члена СOT;

▲ реалізація проектів міжнародної та європейської технічної допомоги у сфері технічного регулювання, стандартизації та метрології (реалізація започаткованих проектів та здійснення заходів щодо започаткування нових);

▲ визнання системи технічного регулювання в Україні на міжнародному рівні.

Виконання усіх завдань системи технічного регулювання, стандартизації, метрології в Україні на 2017 рік спрямоване на виконання глобального завдання у цій сфері — **підписання Угоди АСАА** у трьох пріоритетних секторах та проведення роботи щодо підготовки до підписання Угод в інших пріоритетних сферах. Відповідні пропозиції надано до проекту Плану пріоритетних дій Уряду на 2017 рік. 

ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ»

zareєстровано координатором від України з надання інформації стосовно національних провайдерів програм перевірки кваліфікації до бази даних EPTIS

EPTIS – це база даних, яку лабораторії в усьому світі використовують для пошуку підходящої програми перевірки кваліфікації. Наразі база даних нараховує близько 3000 програм перевірки кваліфікації від 300 провайдерів у 40 країнах. **EPTIS** почав роботу як проект ЄС у 2000 році й підтримується рядом організацій, наприклад, Міжнародним співробітництвом у сфері акредитації лабораторій (ILAC) і Європейським співробітництвом у сфері акредитації ЕА. **EPTIS** – це спільний проект, здійснюваний близько 40 партнерськими організаціями по усьому світу, в основному, органами з акредитації й національними організаціями з випробувань і метрології. Ці організації називають «координаторами». Координатори інформують лабораторії у своїх країнах щодо **EPTIS**, а також надають можливість національним провайдерам включати свої програми перевірки кваліфікації до бази даних **EPTIS**. Традиційно в кожній країні є лише один

національний координатор. Доступ до бази даних **EPTIS** є вільним. Безумовно, успішна участь у програмах перевірки кваліфікації є відмінним засобом демонстрації технічної компетентності лабораторій відповідно до вимог міжнародних стандартів **ISO/IEC 17025** для випробувальних і каліброваних лабораторій та **ISO 15189** для медичних лабораторій державних органів і приватних клієнтів, а також у процесі акредитації й сприяє взаємному й міжнародному визнанню результатів випробувань і усуненню технічних бар'єрів у торгівлі.

Для реєстрації програми перевірки кваліфікації національного провайдера в базі даних **EPTIS** необхідно надати до ДП «Укрметртестстандарт» проект програми, оформлений відповідно до вимог 4.4.1.3 **ISO/IES 17043**.

(За матеріалами ДП «Укрметртестстандарт»)

УДК 381.1.2

ДЕПАРТАМЕНТ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ МІНІСТЕРСТВА ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ УКРАЇНИ: МЕТРОЛОГІЧНА ДІЯЛЬНІСТЬ У 2016 РОЦІ

Ю. Попруга, заступник директора департаменту, начальник управління метрології, Департамент технічного регулювання Міністерства економічного розвитку і торгівлі України, м. Київ

З 1 січня 2016 року в Україні набрав чинності новий Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» (Закон).

З метою реалізації Закону у 2015–2016 роках прийнято 22 постанови Кабінету Міністрів України та 14 наказів Мінекономрозвитку.

Перелік відповідних 19 постанов та 6 наказів, прийнятих у 2015 році, представлено у журналі «Метрологія та прилади» №1 за 2016 рік. У минулому році прийнято такі підзаконні нормативно-правові акти:

3 постанови Кабінету Міністрів України:

- від 13.01.2016 № 94 «Про затвердження Технічного регламенту законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки»;
- від 24.02.2016 № 117 «Про затвердження Порядку видачі або відмови у видачі, переоформлення, видачі дублікатів, анулювання свідоцтва про уповноваження на проведення повірки засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації та застосовуються у сфері законодавчо регульованої метрології, та встановлення розміру плати за видачу свідоцтва про уповноваження, його переоформлення та видачу дубліката»;
- від 24.02.2016 № 163 «Про затвердження Технічного регламенту засобів вимірювальної техніки».

8 наказів Мінекономрозвитку:

- від 08.02.2016 № 193 «Про затвердження Порядку проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів», зареєстрований у Мін'юсті 24.02.2016 за № 278/28408;
- від 10.05.2016 № 792 «Про затвердження положень про наукові метрологічні центри та визнання такими, що втратили чинність, деяких наказів»;
- від 14.06.2016 № 972 «Про визнання такими, що втратили чинність, деяких наказів», зареєстрований у Мін'юсті 02.07.2016 за № 914/29044;
- від 13.07.2016 № 1161 «Деякі питання ведення Реєстру затверджених типів засобів вимірювальної техніки», зареєстрований у Мін'юсті 03.08.2016 за № 1081/29211;
- від 29.08.2016 № 1412 «Про деякі питання щодо видачі свідоцтва про уповноваження на проведення повірки засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації та застосовуються у сфері законодавчо регульованої метрології», зареєстрований у Мін'юсті 14.09.2016 за № 1253/29383;
- від 29.08.2016 № 1413 «Про затвердження Порядку атестації аудиторів з метрології», зареєстрований у Мін'юсті 16.09.2016 за № 1257/29387;



© Попруга Ю., 2017

- від 13.10.2016 № 1747 «Про затвердження між-повірочних інтервалів законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, за категоріями», зареєстрований у Мін'юсті 01.11.2016 за № 1417/29547;

- від 01.11.2016 № 1837 «Про затвердження уніфікованих форм актів, що складаються за результатами проведення планової (позапланової) перевірки з метрологічного нагляду у сфері законодавчо регульованої метрології» зареєстрований у Мін'юсті 18.11.2016 за № 1501/29631.

Відповідно до нового Закону, зокрема, здійснено перехід від системи державних випробувань засобів вимірювальної техніки до оцінки відповідності вимогам технічних регламентів.

Прийнято та впроваджено 3 технічні регламенти, вимогам яких повинні відповідати засоби вимірювальної техніки:

- Технічний регламент щодо неавтоматичних зважувальних приладів, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 16.12.2015 № 1062, розроблений на основі Директиви 2014/31/ЄС (Директива 2014/31/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 26 лютого 2014 р. про гармонізацію законодавства держав – членів ЄС стосовно надання на ринку неавтоматичних зважувальних приладів);

- Технічний регламент засобів вимірювальної техніки, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 24.02.2016 № 163, розроблений на основі Директиви 2014/32/ЄС (Директива 2014/32/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 26 лютого 2014 р. про гармонізацію законодавства держав-членів стосовно надання на ринку вимірювальних приладів);

- Технічний регламент законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 13.01.2016 № 94 (стосується законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що не охоплені Директивою 2014/31/ЄС, Директивою 2014/32/ЄС).

Затверджено 270 стандартів, які є доказовою базою відповідності засобів вимірювальної техніки вимогам зазначених технічних регламентів.

Призначено органи з оцінки відповідності засобів вимірювальної техніки вимогам зазначених технічних регламентів: ДП «Укрметртестстандарт» та ННЦ «Інститут метрології».

Загальний обсяг виконаних метрологічних робіт державними підприємствами та установами, що належать до сфери управління Мінекономрозвитку (державними підприємствами) за 2016 рік становить – 556926,4 тис. грн. (2015 рік — 521794,4 тис. грн.).

Загальний обсяг метрологічних робіт становить 70,2 % від загального обсягу виконаних робіт, а в деяких державних підприємствах значно вище:

ДП «Буковинастандартметрологія»	83,4 %
ДП «Сумистандартметрологія»	80,1 %
ДП «Миколаївстандартметрологія»	78,3 %
ДП «Чернігівстандартметрологія»	75,2 %
ДП «Одесастандартметрологія»	74,1 %
ДП «Хмельницькстандартметрологія»	74,0 %

Протягом 2016 року метрологічними центрами та державними підприємствами, що належать до сфери управління Мінекономрозвитку України, здійснено такі метрологічні роботи:

- повірка 9263,2 тис. од. засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) (2015 рік — 10116,1 тис. од.);
- калібрування 67,9 тис. од. ЗВТ (2015 рік — 15,6 тис. од.).

У 2016 році науковими метрологічними центрами (ННЦ «Інститут метрології», ДП «Укрметртестстандарт», ДП НДІ «Система», ДП «Івано-Франківськстандартметрологія») виконувалося 26 науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДДКР) за бюджетною програмою КПКВК 1201220 «Збереження та функціонування національної еталонної бази, забезпечення функціонування служб, прикладні наукові й науково-технічні розроблення. Виконання робіт за державними цільовими програмами і державним замовленням у сфері стандартизації, метрології та еталонної бази, гармонізація національних стандартів з міжнародними та європейськими, підготовка наукових кадрів у сфері економічного розвитку» на загальну суму 16067,2 тис. грн. та відповідно до Плану науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт Міністерства економічного розвитку і торгівлі України у сфері метрології на 2016 рік, затвердженого наказом Мінекономрозвитку від 10.02.2016 № 222, за такими напрямками:

- * виконання прикладних наукових та науково-технічних розроблень у сфері метрології (1 НДР, 30,0 тис. грн.);

- * виконання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт зі створення та вдосконалення державних еталонів, утримання та експлуатації державних первинних еталонів, звірення державних первинних еталонів з національними еталонами інших держав і міжнародними еталонами (18 НДДКР, 14007,2 тис. грн.);

- * забезпечення функціонування Служби єдиного часу та еталонних частот, Служби стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів, Служби стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів (3 НДР, 1695,0 тис. грн.);

* збереження та функціонування національної еталонної бази (державні еталони та лінійно-геодезичний полігон) (4 НДДКР, 335,0 тис. грн.).

За напрямом «Виконання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт зі створення та вдосконалення державних еталонів, утримання та експлуатації державних первинних еталонів, звірення державних первинних еталонів з національними еталонами інших держав і міжнародними еталонами» ННЦ «Інститут метрології», ДП «Укрметртестстандарт», ДП «НДІ «Система» та ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» виконувалися роботи щодо:

► створення 8 державних первинних еталонів (Державного первинного еталона одиниці тиску для надлишкового тиску в діапазоні від 1×10^7 до 4×10^8 Па; Державного первинного еталона одиниці коефіцієнта масштабного перетворення напруги змінного струму до $750/\sqrt{3}$ кВ; Державного первинного еталона одиниці сили змінного струму; Державного первинного еталона одиниць довжини, швидкості та прискорення за коливального руху твердого тіла; Державного первинного еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газів у діапазоні тиску від 1 МПа до 5 МПа; Державного первинного еталона одиниць ультразвукового тиску у водному середовищі; Державного первинного еталона одиниць потужності ультразвуку у водному середовищі; Державного первинного еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу на газовому середовищі за тиску до 1,6 МПа);

► удосконалення 3 державних первинних еталонів (Державного первинного еталона одиниці електричного опору ДЕТУ 08-02-98; Державного первинного еталона одиниць електричної потужності та коефіцієнта потужності ДЕТУ 08-08-02; Державного первинного еталона одиниці енергії згоряння ДЕТУ 06-04-97); завершено НДДКР щодо удосконалення 2 державних первинних еталонів (Державного первинного еталона одиниць електричного опору ДЕТУ 08-02-98; Державного первинного еталона одиниць електричної потужності та коефіцієнта потужності ДЕТУ 08-08-02).

► утримання та експлуатація 69 державних еталонів (52 державних еталони зберігаються в ННЦ «Інститут метрології», 15 – в ДП «Укрметртестстандарт», 1 – в ДП НДІ «Система», 1 – в ДП «Івано-Франківськстандартметрологія»);

Станом на 31.12.2016 в Україні є 69 державних та 71 вторинний еталон.

З метою подальшого розвитку національної еталонної бази прийнято постанову Кабінету Міністрів України від 28.12.2016 № 1041 «Про затвердження Програми розвитку еталонної бази на 2018 – 2022 роки».

Важливим аспектом формування еталонної бази України є проведення міжнародних звірень державних еталонів в рамках Угоди про взаємне визнання національних еталонів, сертифікатів калібрування та вимірювань, які видаються національними метрологічними інститутами (Угоди *CIPM MRA*).

Технічною базою Угоди *CIPM MRA* є сукупність результатів, отриманих у процесі ключових та додаткових звірень. Ці звірення проводяться Консультативними комітетами Міжнародного комітету з мір та ваг (CC *CIPM*), Міжнародним бюро з мір та ваг (*BIPM*), регіональними метрологічними організаціями (*RMO*). Результати звірень публікуються *BIPM* і зберігаються у базі даних ключових звірень (*KCDB*). У такий спосіб Угода *CIPM MRA* дозволяє шляхом участі у міжнародних звіреннях установити ступінь еквівалентності державних еталонів України з еталонами інших держав і міжнародними еталонами, а також задекларувати калібрувальні та вимірювальні можливості (*CMC*) у Додатку С *KCDB*.

Відповідно до щорічних Планів-графіків міжнародних звірень державних еталонів України у 2016 році виконувалися міжнародні звірення 25 еталонів (у 2015 році – 26 еталонів).

Станом на 31.12.2016 у Додатку С *KCDB* опубліковано 259 *CMC*-рядків України за такими видами вимірювань:

- * акустика, ультразвук, вібрація (*AUV*) – 29 рядків;
- * довжина і кут (*L*) – 27;
- * час та частота (*TF*) – 30;
- * термометрія (*T*) – 63;
- * маса та пов'язані з нею величини (*M*) – 11;
- * електрика та магнетизм (*EM*) – 57;
- * іонізуючі випромінювання (*RI*) – 15;
- * кількість речовин (*QM*) – 27.

Зокрема, у 2016 році опубліковано такі *CMC*-рядки: 3 *CMC*-рядки ДП «Укрметртестстандарт» у сфері «Фізико-хімія».

1 *CMC*-рядок ДП «Укрметртестстандарт» у сфері «Електрика та магнетизм».

2 *CMC*-рядки ННЦ «Інститут метрології» у сфері «Довжина та кут».

19 *CMC*-рядків ННЦ «Інститут метрології» у сфері «Термометрія».

Розподіл *CMC*-рядків за роками та за сферами вимірювань наведено у таблиці.

	Total	AUV	L	TF	T	PR	M	EM	RI	QM
2015	234	29	25	30	44	0	11	56	15	24
2016	259	29	27	30	63	0	11	57	15	27

УДК 53.089.68:621.317.322

МІЖНАРОДНІ КЛЮЧОВІ ЗВІРЕННЯ У РАМКАХ КООМЕТ НАЦІОНАЛЬНИХ ЕТАЛОНІВ ОДИНИЦІ НАПРУГИ ЗМІННОГО СТРУМУ

О. Величко, доктор технічних наук, директор науково-виробничого інституту,
ДП «Укрметртестстандарт», м. Київ

Розглянуто основні результати міжнародних ключових звірень національних еталонів одиниць напруги змінного струму на частотах 1, 20, 100 кГц і 1 МГц, у рамках проекту КООМЕТ 566/UA/12 (COOMET.EM-K6.a). Звірення, пілотною лабораторією яких було ДП «Укрметртестстандарт», проведені за участю національних метрологічних інститутів України, Російської Федерації, Румунії, Азербайджану і Білорусі протягом 2013—2014 років.

In the article the basic results of international key comparison of national standards of unit of AC voltage at frequencies of 20 Hz, 1, 20, 100 kHz and 1 MHz are considered within the framework of project of COOMET 566/UA/12 (COOMET.EM-K6.a). Comparison is conducted with participation of national metrology institutes of Ukraine, Russia, Romania, Azerbaijan and Belarus during 2013—2014 and the pilot laboratory of comparison was SE «Ukrmetrtteststandard».

Ключові слова: національний еталон; ключове звірення; національний метрологічний інститут; пілотна лабораторія; змінна напруга.
Keywords: national standard; key comparison; national metrology institute; pilot laboratory; AC voltage.

Звірення еталонів проводяться під егідою консультативних комітетів Міжнародного комітету з мір і вагів (МКМВ) або регіональними метрологічними організаціями (РМО) [1, 2]. Підтвердження еквівалентності національних еталонів з еталонами інших країн здійснюється за встановленими на міжнародному рівні процедурами у рамках багатосторонньої Угоди «Про взаємне визнання національних еталонів, калібрувальних і вимірювальних можливостей МКМВ» (Угоди *CIPM MRA*) [3—6].

Міжнародні ключові звірення національних еталонів одиниці змінної напруги на частотах 1, 20, 100 кГц і 1 МГц у рамках проекту КООМЕТ 566/UA/12 (COOMET.EM-K6.a) [7], пілотною лабораторією яких було ДП «Укрметртестстандарт», проведені за участю національних метрологічних інститутів (НМІ) України, Російської Федерації (РФ), Румунії, Азербайджану і Білорусі протягом 2013—2014 років. НМІ-учасники цих звірень такі: ДП «Укрметртестстандарт» (UMTS, Україна); ВНИИМ (VNIIM, РФ); INM (Румунія); Державна метрологічна служба (SMS, Азербайджан); БелГІМ (BelGIM, Білорусь).

Ці звірення проводилися між НМІ-учасниками, які представляють дві РМО: COOMET (UMTS, VNIIM, SMS, BelGIM) і EURAMET (INM). Пілотна лабораторія забезпечила НМІ-учасників звірень еталоном передавання (ЕП), досліджувала його дрейф протягом усього часу проведення звірень, розробила і виконувала графік проведення звірень, збирала й аналізувала отримані дані звірень, підготувала попередній і заключний звіти тощо [8].

У звірєннях від України був представлений Державний первинний еталон України одиниці електричної напруги від 0,1 до 1000 В змінного струму в діапазоні частот від 10 Гц до 1 МГц (ДЕТУ 08-07-02), який зберігається в ДП «Укрметртестстандарт». Загальний вид зазначеного еталона наведено на рис. 1.





Рис. 1. Державний первинний еталон України одиниці змінного струму в діапазоні частот від 10 Гц до 1 МГц

Fig. 1. National Standard of the unit of AC voltage in frequencies range from 10 Hz to 1 MHz

1. ЕТАЛОН ПЕРЕДАВАННЯ, ЙОГО ДРЕЙФ ЗА ЧАС ЗВІРЕНЬ І УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ

Для проведення звірень обрано ЕП — термоперетворювач напруги ПНТЭ-6А на номінальну напругу 3 В (серійний номер 1848).

Основні метрологічні та технічні характеристики ЕП такі:

- вхідна змінна напруга — 3 В;
- вихідна постійна напруга — 0,5 мВ;
- вхідний опір — 1000 Ом;
- вихідний опір — 20 Ом;
- відносна похибка перетворення змінної напруги у постійну напругу на частотах 0,02, 1, 20 і 100 кГц — 0,01;
- відносна похибка перетворення змінної напруги у постійну напругу на частоті 1 МГц — 0,05;
- вага у тарі — не більша за 10 кг.

Після отримання ЕП черговим НМІ-учасником здійснювалася стабілізація його роботи протягом одного дня до початку вимірювань.

Вимірювання НМІ-учасниками проводилися за таких умов:

- температура: $(23 \pm 3)^\circ\text{C}$;
- відносна вологість повітря: між 30 і 70 %;
- вимірювальні частоти: 20 Гц; 1; 20; 100 кГц; 1 МГц.

ДП «Укрметртестстандарт» як пілотна лабораторія систематично здійснювала вимірювання для визначення часового дрейфу ЕП. Такі вимірювання проводилися в обов'язковому порядку перед відправленням ЕП до чергового НМІ-учасника, а також після його повернення. Зважаючи на отримані піотною лабораторією результати вимірювань, можна констатувати, що зазначений дрейф був незначним і не мав суттєвого впливу на отримані НМІ-учасниками результати досліджень ЕП.

2. ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ЗВІРЕНЬ ЕТАЛОНІВ

Кожний НМІ-учасник за результатами свого дослідження ЕП надавав пілотній лабораторії таку інформацію у виді звіту:

- ♦ інформацію щодо дат вимірювань;
- ♦ значення різниці перетворення змінної/постійної напруги на частотах 20 Гц, 1, 20, 100 кГц і 1 МГц з відповідними бюджетами невизначеності вимірювань;
- ♦ значення температури повітря навколишнього середовища;
- ♦ значення відносної вологості повітря навколишнього середовища.

Простежуваність до одиниць *SI* національного еталона кожного НМІ-учасника надавалася пілотній лабораторії [2, 8].

Для проведених ключових звірень *COOMET.EM-K6.a* простежуваності національних еталонів НМІ-учасників були такими:

- * еталон *VNIIM* має власну простежуваність, оскільки брав участь у ключових звірваннях *CCEM-K6.a*;
- * еталони *UMTS*, *INM*, *SMS* і *BelGIM* — до первинного еталона одиниці напруги змінного струму *PTB* (Німеччина).

Розрахунки невизначеності вимірювань кожним НМІ-учасником здійснювалися відповідно до настанови *ISO/IEC Guide 98-3 (GUM)* [9]. Ними розроблено власні бюджети невизначеності вимірювань. Загальна стандартна невизначеність вимірювань включалася до звіту стосовно досліджень ЕП НМІ-учасника разом з вимірем значенням напруги.

До складових невизначеності вимірювань у бюджеті невизначеності НМІ-учасникам пропонувалося віднести, як мінімум, таке:

- експериментальні стандартні невизначеності *N* незалежних вимірювань (тип А);
- невизначеності первинного еталона або іншого еталона, які використовувалися під час дослідження ЕП;
- невизначеності необхідних для НМІ різноманітних коригувань вимічених значень напруги.

НМІ-учасники могли також включати і додаткові специфічні для НМІ складові невизначеності вимірювань.

Різниці перетворення змінної/постійної напруги для НМІ-учасників на частотах 0,02, 1, 20 і 100 кГц і 1 МГц з їх розширеними невизначеностями (*U*) представлено у табл. 1. Усі наведені невизначеності мають коефіцієнт охоплення $k = 2$ з інтервалом довіри приблизно 95 % [8].

Таблиця 1. Різниці перетворення змінної/постійної напруги для НМІ-учасників з їх розширеними невизначеностями

Table 1. Differences AC/DC voltage converted for NMI-participants with its expanded uncertainties

HMI	20 Гц		1 кГц		20 кГц		100 кГц		1 МГц	
	δ	U	δ	U	δ	U	δ	U	δ	U
VNIIM	2,7	8,3	-0,8	2,5	-1,5	2,8	-5,0	4,0	-57,0	28,2
UMTS	-8,0	10,4	0,3	4,4	-1,6	4,4	-10,0	8,4	-71,0	40,0
SMS	22,0	18,0	7,4	14,2	12,0	22,0	-25,0	25,6	—	—
BelGIM	—	—	4,4	24,0	10,0	29,0	19,0	139,0	—	—
INM	3,7	3,0	1,5	3,0	-3,1	3,0	-12,8	12,0	-21,0	22,0

Опорне значення звірень x_{ref} отримано як середнє всіх значень НМІ-учасників звірень COOMET.EM-K6.a за виразом:

$$x_{ref} = \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{u^2(x_i)} / \sum_{i=1}^N \frac{1}{u^2(x_i)} \quad (1)$$

з відповідною стандартною невизначеністю

$$u^2(x_{ref}) = 1 / \sum_{i=1}^N \frac{1}{u^2(x_i)}, \quad (2)$$

де x_i — i -ий результат НМІ-учасника звірень COOMET.EM-K6.a; $u(x_i)$ — стандартна невизначеність результату i -го НМІ учасника-звірень; N — кількість учасників звірень ($N = 5$, 4 чи 3 на різних частотах).

Розраховані значення опорних значень для звірень COOMET.EM-K6.a на частотах 0,02, 1, 20 і 100 кГц і 1 МГц з їх розширеними невизначеностями ($k = 2$) наведено у табл. 2.

Ступені еквівалентності еталонів i -го НМІ та їх розширені невизначеності у сенсі опорного значення звірень визначалися за виразами:

$$D_i = x_i - x_{ref}, \quad (3)$$

$$u^2(D_i) = u^2(x_i) - u^2(x_{ref}). \quad (4)$$

Задекларовані невизначеності НМІ-учасників повинні задовольняти такій нерівності:

$$|D_i| < 2u(D_i). \quad (5)$$

Ступені еквівалентності еталонів НМІ-учасників звірень у сенсі опорного значення з їх розширеними невизначеностями ($k = 2$) на частотах 0,02, 1, 20, 100 кГц і 1 МГц наведено у табл. 3 і на рис. 2—6 [8].

3. ПРИВ'ЯЗКА РЕЗУЛЬТАТІВ

КЛЮЧОВИХ ЗВІРЕНЬ COOMET.EM-K6.A ДО РЕЗУЛЬТАТІВ КЛЮЧОВИХ ЗВІРЕНЬ CCEM-K6.A

Пілотною лабораторією запропоновано здійснити прив'язку результатів ключових звірень COOMET.EM-K6.a до результатів ключових звірень CCEM-K6.a на частотах 1, 20, 100 кГц і 1 МГц за такою методикою.

Таблиця 2. Опорні значення для звірень COOMET.EM-K6.a з їх розширеними невизначеностями

Table 2. Reference values for comparisons COOMET.EM-K6.a with its expanded uncertainties

20 Гц		1 кГц		20 кГц		100 кГц		1 МГц	
x_{ref}	U_{ref}	x_{ref}	U_{ref}	x_{ref}	U_{ref}	x_{ref}	U_{ref}	x_{ref}	U_{ref}
3,2	2,7	0,3	1,7	-2,0	1,9	-6,8	3,4	-40,4	15,9

Таблиця 3. Ступені еквівалентності еталонів НМІ-учасників з їх розширеними невизначеностями

Table 3. Degrees of equivalence standards for NMI-participants with its expanded uncertainties

HMI	20 Гц		1 кГц		20 кГц		100 кГц		1 МГц	
	D_i	$U(D_i)$	D_i	$U(D_i)$	D_i	$U(D_i)$	D_i	$U(D_i)$	D_i	$U(D_i)$
VNIIM	-0,5	7,9	-1,1	1,8	0,5	2,1	1,8	2,1	-16,6	23,3
UMTS	-11,2	10,1	0,0	4,0	0,4	4,0	-3,2	7,7	-30,6	36,7
SMS	18,8	17,8	7,1	14,1	14,0	21,9	-18,2	25,4	—	—
BelGIM	—	—	4,1	23,9	12,0	28,9	25,8	139,0	—	—
INM	0,5	1,3	1,2	2,4	-1,1	2,4	-6,0	11,5	19,4	15,2

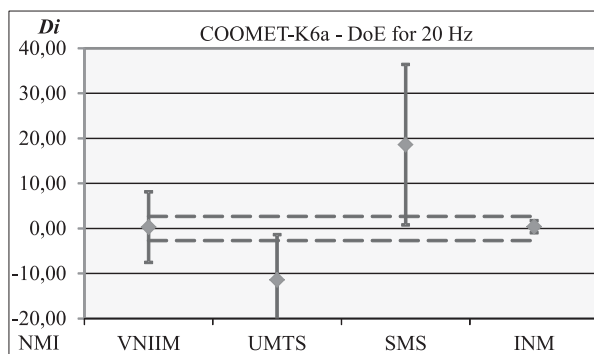


Рис. 2. Ступені еквівалентності для НМІ-учасників на частоті 20 Гц

Fig. 2. Degree of equivalence for NMI participants at 20 Hz

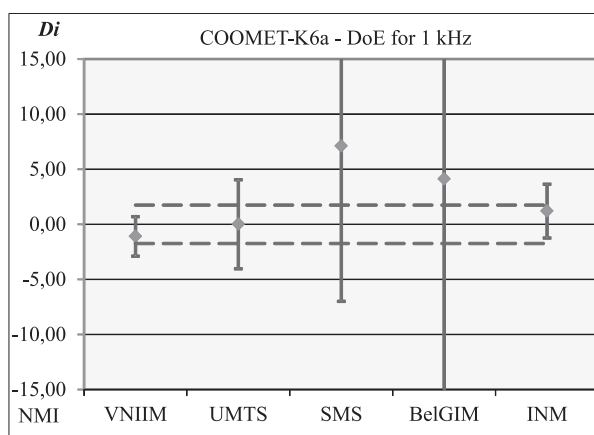


Рис. 3. Ступені еквівалентності для НМІ-учасників на частоті 1 кГц

Fig. 3. Degree of equivalence for NMI-participants at 1 kHz

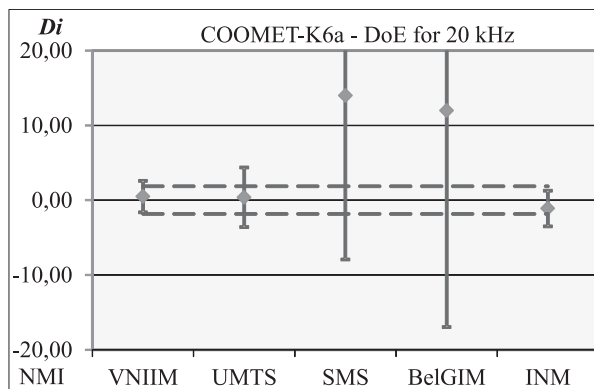


Рис. 4. Ступені еквівалентності для НМІ-учасників на частоті 20 кГц

Fig. 4. Degree of equivalence for NMI participants at 20 kHz

Ступені еквівалентності еталонів i -го НМІ-учасника в контексті опорного значення ключових звірень $CCEM-K6.a$ розраховуються як

$$d_i = D_i + \Delta - x_{refK6a}, \quad (6)$$

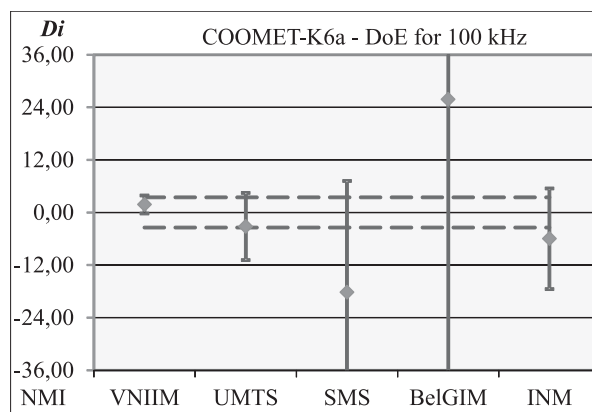


Рис. 5. Ступені еквівалентності для НМІ-учасників на частоті 100 кГц

Fig. 5. Degree of equivalence for NMI-participants at 100 kHz

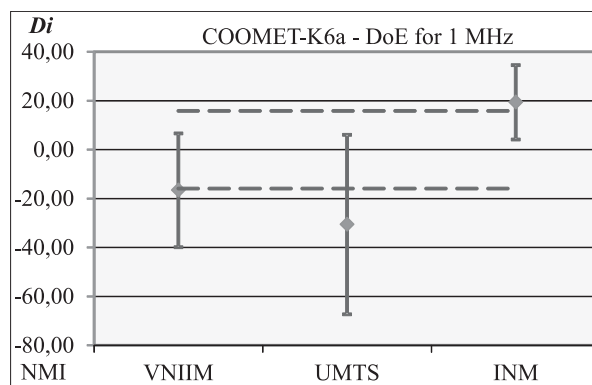


Рис. 6. Ступені еквівалентності для НМІ-учасників на частоті 1 МГц

Fig. 6. Degree of equivalence for NMI-participants at 1 MHz

де D_i — результат у звіреннях $COOMET.EM-K6.a$ для НМІ-учасників, які брали участь лише у звіреннях $COOMET.EM-K6.a$; d_i — найкраща оцінка результатів для i -го НМІ для прив'язки до звірень $CCEM-K6.a$.

Результати досліджень ЕП для i -го НМІ розраховуються через результати зв'язувального НМІ:

$$\Delta_{iLINK} = d_{iLINK} - D_{iLINK}, \quad (7)$$

де d_{iLINK} — результат звірень $CCEM-K6.a$ для зв'язувального НМІ; D_{iLINK} — результат звірень $COOMET.EM-K6.a$ для зв'язувального НМІ.

Зв'язувальним НМІ у ключових звіреннях $COOMET.EM-K6.a$ є VNIIM, який був учасником ключових звірень $CCEM-K6.a$ і в якому не відбулося за час між двома звіреннями зміни еталонного обладнання і методів. У табл. 4 наведено параметри прив'язки результатів ключових звірень $CCEM-K6.a$ і $COOMET.EM-K6.a$ з їх розширеними невизначеностями для зв'язувального НМІ на частотах 1, 20, 100 кГц і 1 МГц.

Таблиця 4. Параметри прив'язки результатів ключових звірень CCEM-K6.a і COOMET.EM-K6.a з їх розширеними невизначеностями для зв'язувального НМІ, 10-6

Table 4. Parameters of linking of results key for comparisons CCEM-K6.a and COOMET.EM-K6.a with its expanded uncertainties for linking NMI, 10-6

Частота	d_{iLINK}	D_{iLINK}	d_{iLINK}	$u(\Delta_{iLINK})$	x_{refK6a}
1 кГц	0,2	-0,8	1,0	0,3	0,0
20 кГц	1,0	-1,5	2,5	1,3	0,9
100 кГц	4,2	-5,0	9,2	2,1	7,2
1 МГц	103,0	-57,0	160,0	6,8	121,0

Таблиця 5. Ступені еквівалентності еталонів НМІ-учасників звірень COOMET.EM-K6.a з їх розширеними невизначеностями в контексті опорного значення звірень CCEM-K6.a, 10⁻⁶

Table 5. Degrees of equivalence for NMI-participants comparisons COOMET.EM-K6.a with its expanded uncertainties relative to CCEM-K6.a KCRV, 10⁻⁶

HMI	1 кГц		20 кГц		100 кГц		1 МГц	
	d_i	$U(d_i)$	d_i	$U(d_i)$	d_i	$U(d_i)$	d_i	$U(d_i)$
VNIIM	—	—	—	—	—	—	—	—
UMTS	1,3	4,0	0,0	4,0	-8,0	7,8	-32,0	37,3
BelGIM	5,4	23,9	11,6	28,9	21,0	139,0	—	—
INM	2,5	2,4	-1,5	2,5	10,8	11,5	18,0	16,7

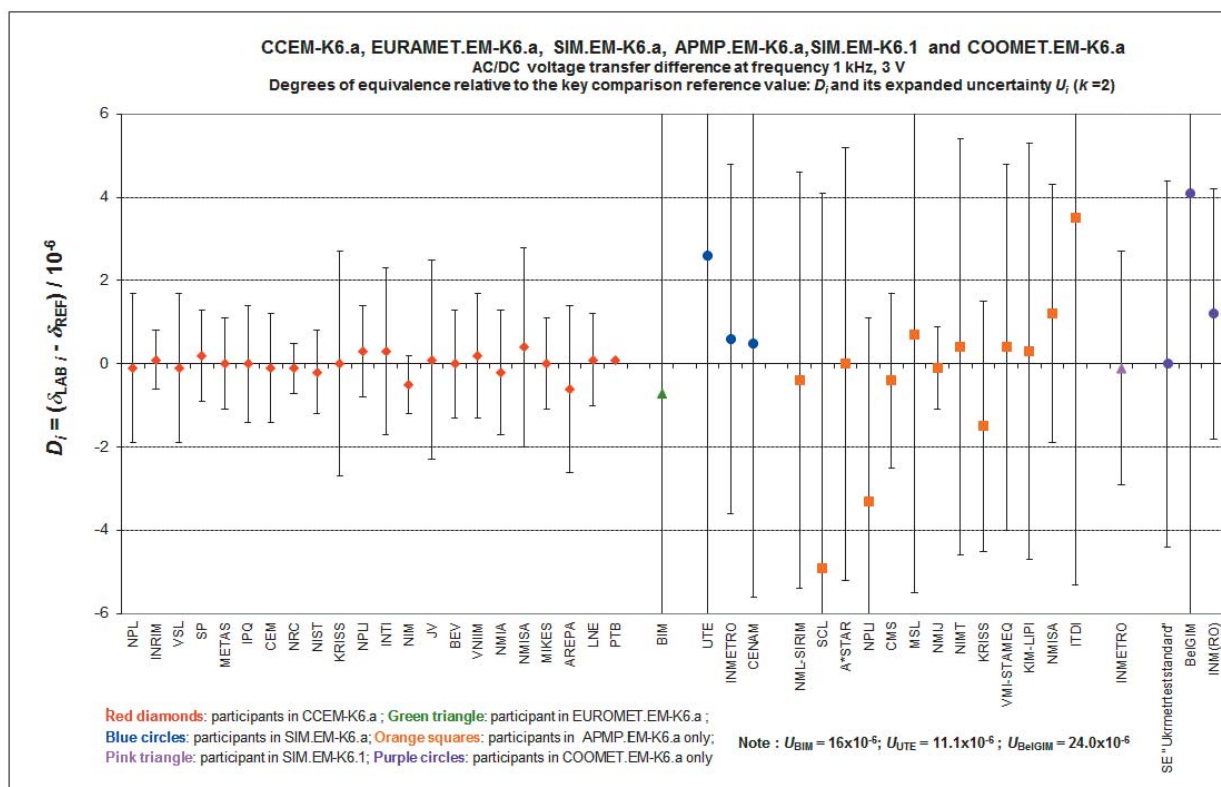


Рис. 7. Прив'язка результатів звірень COOMET.EM-K6.a до результатів звірень CCEM-K6.a на частоті 1 кГц

Fig. 7. Linking of results of comparison COOMET.EM-K6.a to results of comparison CCEM-K6.a at frequency 1 kHz

Найкраща оцінка результатів НМІ-учасника, що брав участь у звіреннях CCEM-K6.a, розраховується за формулою (6), а відповідна стандартна невизначеність — як

$$u^2(d_i) = u^2(D_i) + u^2(\Delta) = u^2(D_i) + s^2(\Delta) + u^2(m_{ref}), \quad (8)$$

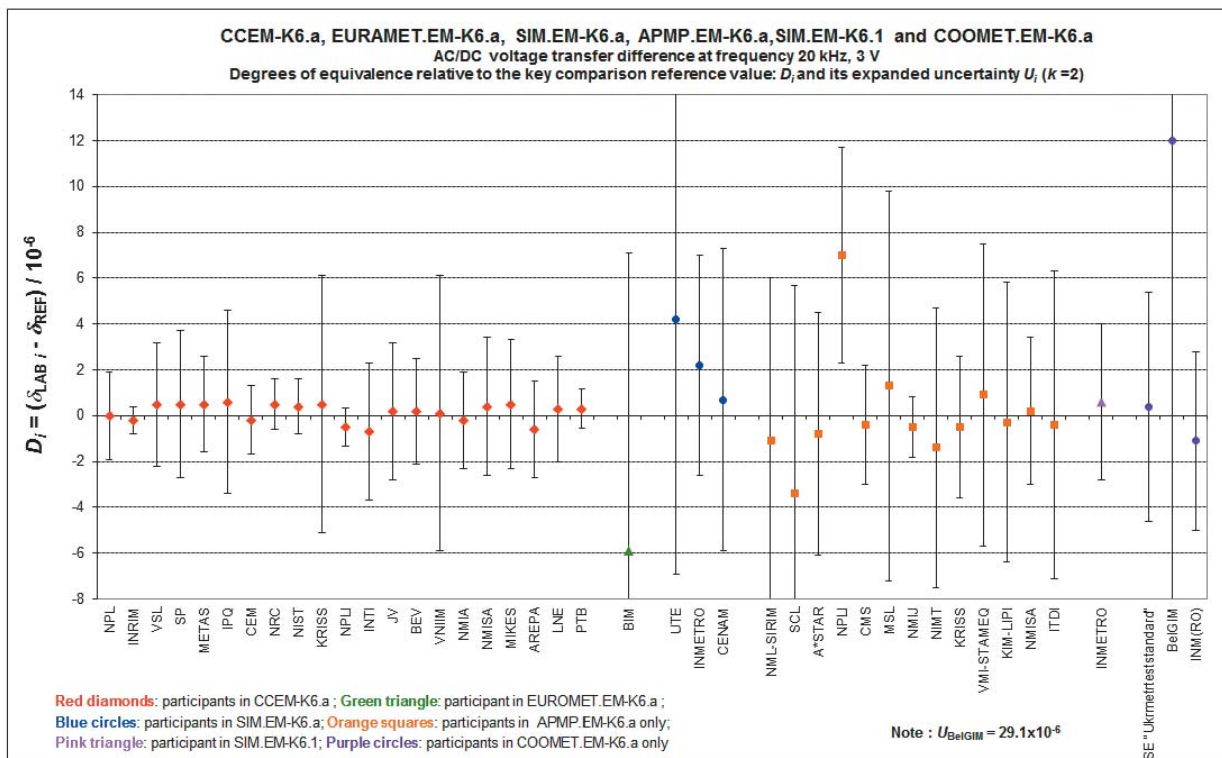


Рис. 8. Прив'язка результатів звірень COOMET-EM-K6.a до результатів звірень CCEM-K6.a на частоті 20 кГц

Fig. 8. Linking of results of comparison COOMET-EM-K6.a to results of comparison CCEM-K6.a at frequency 20 kHz

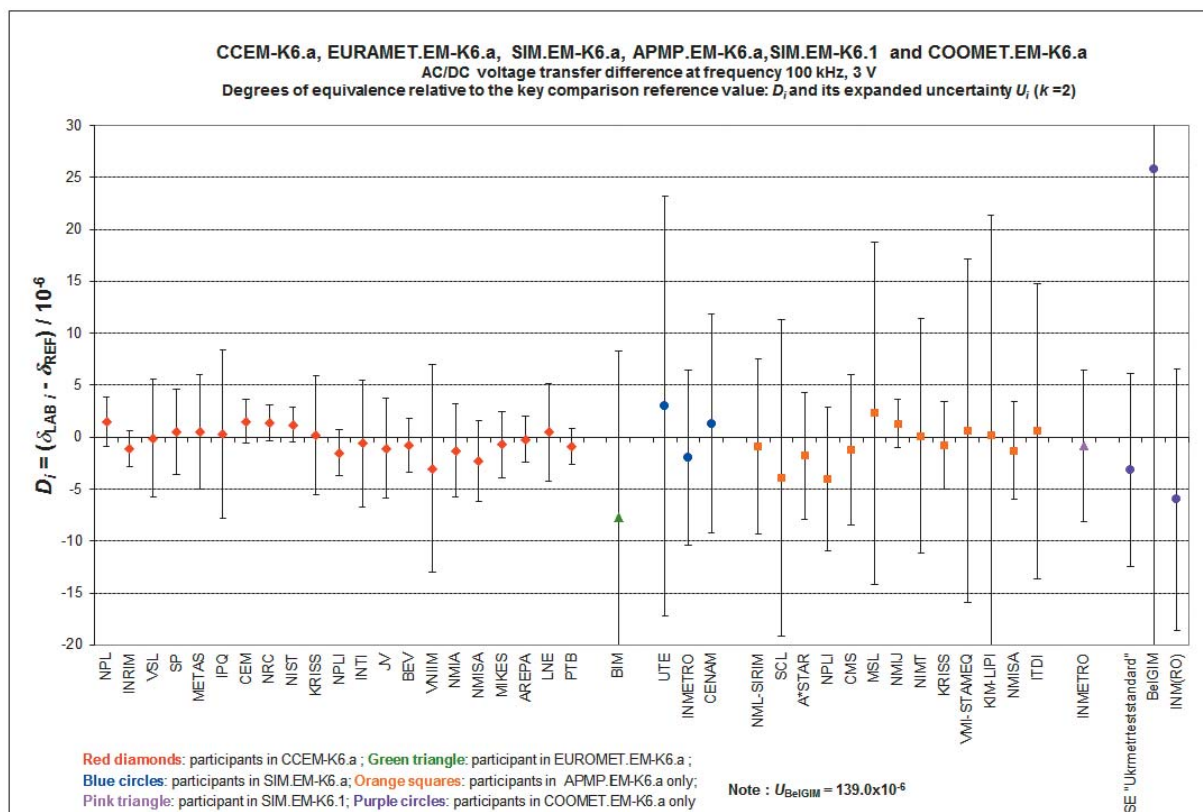


Рис. 9. Прив'язка результатів звірень COOMET-EM-K6.a до результатів звірень CCEM-K6.a на частоті 100 кГц

Fig. 9. Linking of results of comparison COOMET-EM-K6.a to results of comparison CCEM-K6.a at frequency 100 kHz

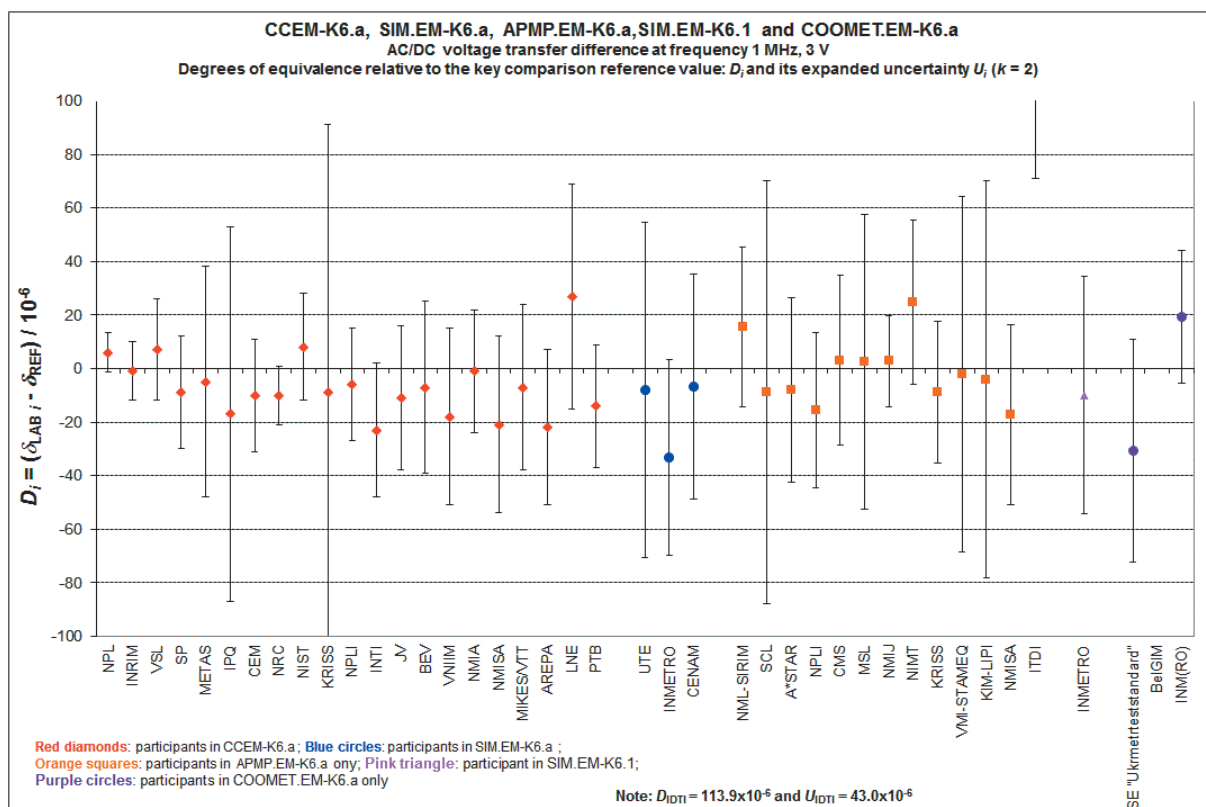


Рис. 10. Прив'язка результатів звірень COOMET.EM-K6.a до результатів звірень CCEM-K6.a на частоті 1 МГц
Fig. 10. Linking of results of comparison COOMET.EM-K6.a to results of comparison CCEM-K6.a at frequency 1 MHz

де $u(m_{ref}) = 0,018$ — невизначеність опорного значення звірень CCEM-K6.a.

Відповідно розширена невизначеність визначається виразом $U(d_i) = k_{d_i} u(d_i)$, де коефіцієнт охоплення складає $k_{d_i} = 2$ за рівня довіри 95 %.

Розраховані ступені еквівалентності d_i в контексті опорного значення ключових звірень CCEM-K6.a наведено у табл. 5 (Азербайджан не був учасником Угоди на момент проведення звірень).

Задекларовані невизначеності НМІ-учасників повинні задовольняти такій нерівності

$$|d_i| < 2u_c(d_i). \quad (9)$$

Прив'язку запропонованих ступенів еквівалентності еталонів D_i НМІ-учасників в контексті опорного значення ключових звірень CCEM-K6.a наведено на рис. 7—10 [7].

4. КАЛІБРУВАЛЬНІ ТА ВИМІРЮВАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ НМІ УКРАЇНИ ДЛЯ ОДИНИЦІ НАПРУГИ ЗМІННОГО СТРУМУ

У рамках Угоди CIPM MRA калібрувальні та вимірювальні можливості (СМС) визначаються як найвищий рівень вимірювання або калібрування, звичайно пропонується клієнтам НМІ, виражений у значеннях довірчого рівня, що дорівнює 95 %. СМС

характеризують якість послуг НМІ з калібрування чи вимірювання, які надаються клієнтам на постійній основі. НМІ видаються відповідні сертифікати калібрування чи вимірювання, які визнаються всіма учасниками Угоди CIPM MRA [11—13].

СМС НМІ країн публікуються у виді pdf-файлів у Додатку С бази даних ключових звірень (KCDB) BIPM у виді таблиць. Приклад таблиці СМС НМІ України для одиниці індуктивності наведено на рис. 11 [13—15].

Отримані результати звірень за проектом COOMET.EM-K6.a підтверджують опубліковані у Додатку С бази даних KCDB BIPM СМС НМІ України (ДП «Укрметртестстандарт»).

ВИСНОВКИ

1. За результатами міжнародних ключових звірень національних еталонів одиниці змінної напруги на частотах 1, 20, 100 кГц і 1 МГц у рамках проекту COOMET.EM-K6.a, проведених за участю НМІ України, Російської Федерації, Румунії, Азербайджану і Білорусі отримано прийнятні результати. Звіт за проектом COOMET.EM-K6.a опубліковано у Додатку В бази даних KCDB BIPM у рамках Угоди CIPM MRA.

2. Отримані результати звірень у рамках проекту COOMET.EM-K6.a підтверджують опубліковані

Calibration and Measurement Capabilities

Electricity and Magnetism, Ukraine

SE "Ukrmetteststandard" (State Enterprise "All-Ukrainian Research and Production Center of Standardization, Metrology, Certification and Consumers' Rights Protection")
NSC "Institute of Metrology" (National Scientific Centre "Institute of Metrology")



Calibration or Measurement Services			Measurand Level or Range			Measurement Conditions/Independent variables		Expanded Uncertainty					Comments	NMI Service Identifier	NMI Service Provider
Quantity	Instrument or artifact	Instrument Type or Method	Minimum value	Maximum value	units	Parameter	Specifications	Value	Units	Coverage Factor	Level of Confidence	Is the expanded uncertainty a relative one?	Uncertainty Matrix		
AC voltage: AC-DC transfer difference at low voltage	Thermal converter with amplifier, AC-DC transfer standard	Comparison	0.1	0.5	V	Frequency	10 Hz to 1 MHz	10 to 140	μV/V	2	95%	Yes	Matrix 5.1	1	SE "Ukrmetteststandard"
AC voltage: AC-DC transfer difference at medium voltage	Thermal converter, AC-DC transfer standard	Comparison	0.5	5	V	Frequency	10 Hz to 1 MHz	4 to 45	μV/V	2	95%	Yes	Matrix 5.1	2	SE "Ukrmetteststandard"
AC voltage: AC-DC transfer difference at higher voltage	Thermal converter with range resistor, AC-DC transfer standard	Comparison	5	1000	V	Frequency	10 Hz to 1 MHz	6 to 120	μV/V	2	95%	Yes	Matrix 5.1	3	SE "Ukrmetteststandard"
AC voltage up to 1000 V: sources	Multifunction calibrator	AC-DC transfer standard	0.1	1000	V	Frequency	10 Hz to 1 MHz	20 to 400	μV/V	2	95%	Yes	Matrix 5.2	4	SE "Ukrmetteststandard"
AC voltage up to 1000 V: meters	AC voltmeter, multimeter, multifunction transfer standard	AC-DC transfer standard	0.1	1000	V	Frequency	10 Hz to 1 MHz	20 to 400	μV/V	2	95%	Yes	Matrix 5.2	5	SE "Ukrmetteststandard"
High DC voltage: sources	DC kilovolt source	Direct measurement	1	180	kV	Temperature	(20 ± 5) °C	1,2E-03		2	95%	Yes		6	SE "Ukrmetteststandard"
High DC voltage: meters	DC kilovolt-meter, dedicated set-up for high voltage	Direct measurement	1	180	kV	Temperature	(20 ± 5) °C	3,6E-04		2	95%	Yes		7	SE "Ukrmetteststandard"
High DC voltage: ratio	High voltage resistive divider, DC high voltage probe	Indirect measurement	1	180	kV	Temperature	(20 ± 5) °C	5,6E-04		2	95%	Yes		8	SE "Ukrmetteststandard"
High AC voltage: sources	High voltage AC source	Direct measurement	1	220	kV	Frequency	50 Hz	6E-04		2	95%	Yes		9	SE "Ukrmetteststandard"
High AC voltage: meters	AC high voltage meters, dedicated set-up for high voltage measurements	Indirect measurement	1	220	kV	Frequency	50 Hz	6E-04		2	95%	Yes		10	SE "Ukrmetteststandard"

The BIPM key comparison database, September 2016


1/19

Рис. 11. Приклад СМС-таблиці НМІ України для одиниці напруги змінного струму
Fig. 11. Example of СМС-table of Ukrainian NMIs for unit AC voltage

у Додатку С бази даних *KCDB BIPM CMC* НМІ України, що дозволяє ДП «Укрметртестстандарт» наносити логотип Угоди *CIPM MRA* на свої серти-

фікати калібрування чи вимірювання згідно з наданим раніше правом (авторизацією) від директора *BIPM*.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Величко О.М. Міжнародні звірення еталонів та їх значення // Укр. метролог. журнал (Velychko O.M. International comparisons of standard and its importance // Ukrainian metrological journal). — 1998. — №. 4. — С/Р. 48—51.
2. Величко О.Н. Метрологическая прослеживаемость на разных уровнях метрологических работ // Измерит. техника (Velichko O.N. Traceability of measurement results at different levels of metrological work // Measurement Techniques). — 2009. — № 11. — С/Р. 69—73.
3. Величко О.М. Гармонізація національних нормативних документів щодо простежуваності вимірювань // Стандартизація, сертифікація, якість (Velychko O. M. Harmonization of national normative documents concerning traceability of measurements // Standardization, certification, quality). — 2008. — № 1. — С/Р. 25—32.
4. Величко О.М. Нормативне забезпечення міжнародних звірень національних еталонів // Стандартизація, сертифікація, якість (Velychko O.M. Normative assurance of international comparisons of national standards // Standardization, certification, quality). — 2008. — № 4. — С/Р. 32—39.
5. Величко О.М. Оброблення даних міжнародних звірень національних еталонів: основні вимоги та процедури // Укр. метролог. журнал (Velychko O. M. Processing of data of the international comparisons of national standard: main requirements and procedures // Ukrainian metrological journal). — 2009. — №. 3. — С/Р. 57—63.
6. CIPM MRA-D-05:2013. Measurement comparisons in the context of the CIPM MRA.
7. Міжнародна база даних ключових звірень Міжнародного бюро з мір і ваг (*KCDB BIPM*) — <http://kcdb.bipm.org/>
8. Velychko O., Darmenko Yu. Final Report on COOMET Key Comparison of AC/DC voltage transfer references (COOMET.EM-K6.a) // *Metrologia*. — Vol. 53. — 2016. 01011. — 36 p.
9. ISO/IEC Guide 98-3:2008. Uncertainty of measurement. — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement.
10. COOMET R/GM/14:2016. Guidelines on COOMET key comparison evaluation.
11. CIPM MRA-D-04:2013. Calibration and Measurement Capabilities in the context of the CIPM MRA.
12. Величко О.Н. Калибровочные и измерительные возможности национальных метрологических институтов: особенности подготовки, экспертизы и публикации // Измерит. техника (Velichko O. N. Calibration and measurement capabilities of metrological institutes: features of preparation, examination, and publication // Measurement Techniques). — 2010. — № 6. — С/Р. 69—73.
13. Величко О. Калібрувальні та вимірювальні можливості НМІ: основні процедури експертизи та оприлюднення // Метрологія та прилади (Velychko O. Calibration and measurement capabilities of NMIs: main procedures of expertise and disclosure // Metrology and instruments). — 2010. — № 2. — С/Р. 3—10.
14. Величко О.М. Метрологічне та нормативне забезпечення вимірювання електромагнітних величин // Стандартизація, сертифікація, якість (Velychko O.M. Metrological and normative assurance of measurements of electrical quantities // Standardization, certification, quality). — 2006. — № 6. — С/Р. 34—42.
15. Величко О. Метрологічне та нормативне забезпечення вимірювань електромагнітних величин у ДП «Укрметртестстандарт» // Метрологія та прилади (Velychko O. Metrological and normative assurance of measurements of electrical quantities in SE «Ukrmetrteststandard» // Metrology and instruments). — 2009. — № 5. — С/Р. 5—12. 

Отримано / received: 26.01.2016.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Л.В. Коломійцем (Україна).
Prof. L.V. Kolomiets, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.

УДК 536.5.081

УДОСКОНАЛЕННЯ ЕТАЛОННОЇ БАЗИ У СФЕРІ ТЕРМОМЕТРІЇ ШЛЯХОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ ВТОРИННОГО ЕТАЛОНА ОДИНИЦІ ТЕМПЕРАТУРИ

П. Вишняков, начальник лабораторії

О. Ісхакова, начальник сектору

Г. Бондаренко, молодший науковий співробітник

О. Тимошенко, молодший науковий співробітник

Л. Моторна, молодший науковий співробітник

ДП «Укрметртестстандарт», м. Київ

Представлено результати удосконалення вторинного еталона одиниці температури та державної метрологічної атестації його складових частин.

The results of improving the secondary standard unit of temperature and state metrological certification of its parts.

Ключові слова: вторинний еталон, одиниця температури, удосконалення, реперні точки, калібрування реперних точок, розширена невизначеність, дослідження еталона.

Keywords: secondary standard, unit of temperature, improving, reference points, calibration, expanded uncertainty, the standard study.

Вторинний еталон одиниці температури ВЕТУ 06-05-01-98 затверджено у 1998 році на базі обладнання, введенного в експлуатацію у 1987 році. За час експлуатації обладнання застаріло і потребувало заміни на більш сучасне.

Удосконалення вторинного еталона здійснювалося відповідно до Державної програми розвитку еталонної бази на 2011 — 2015 роки.

Вторинний еталон одиниці температури призначений для зберігання розміру одиниці температури Кельвіна та передавання її згідно з ДСТУ 3742-98 робочим еталонам 1 та 2 розрядів, а також робочим засобам вимірювальної техніки підвищеної точності, які належать державним метрологічним центрам, підприємствам і організаціям машинобудівної галузі, науки, охорони довкілля, охорони здоров'я тощо і застосовуються у державно-регульованих сферах. Вторинний еталон створено для зменшення навантаження на Державний первинний еталон одиниці температури ДЕТУ 06-05-98, що подовжує термін його експлуатації, сприяє збереженню технічних та метрологічних характеристик, забезпеченню єдності вимірювань в Україні.

Мета удосконалення вторинного еталона одиниці температури — забезпечення єдності та просте-

жуваності вимірювань в Україні за видом вимірювань 06 — температурні та теплофізичні вимірювання.

Завданням роботи стало:

- заміна застарілого обладнання;
- покращення метрологічних характеристик;
- розширення діапазону вимірювань температури від мінус 38,8344 до 1084,62 °C;
- удосконалення програмного забезпечення та опрацювання інформації на базі сучасного комп'ютера;
- проведення досліджень та атестації вторинного еталона одиниці температури.

У процесі виконання роботи проводилося розроблення документації на еталон згідно з ДСТУ 3231:2007, проведено монтаж та налагоджування обладнання еталона, державну метрологічну атестацію складових частин вторинного еталона.

СКЛАД ВТОРИННОГО ЕТАЛОНА

До складу вторинного еталона одиниці температури Кельвіна (рис. 1) входять:

- а) термометр опору платиновий еталонний 670 SQ № 670SQ/172;



Рис. 1. Зовнішній вид вторинного еталона одиниці температури

Fig. 1. Exterior secondary standards unit of temperature



Рис. 2. Високотемпературний термометр опору платиновий еталонний BTC № 173

Fig. 2. High-temperature platinum resistance thermometer reference number BTC 173



Рис. 3. Апарат для реалізації та підтримання точки плавлення галію 17402B та багатофункціональний термометричний міст TP-3200

Fig. 3. The device for the implementation and maintenance of the melting point of gallium 17402B and multi thermometric bridge TP-3200



Рис. 4. Ампули точок затвердіння Cu65 та Al311

б) високотемпературний термометр опору платиновий еталонний BTC № 173 (рис. 2);

в) набір ампул реперних точок:

- потрібна точка ртуті 17724 № Hg285;
- потрібна точка води A10/50/270 Q № B11-50-1398Q;
- потрібна точка води A11/50/270 Q № A11-50-1319Q;

- точка плавлення галію 17401 № Ga576 (рис. 3);
- точка затвердіння індію 17668 MO № In216;
- точка затвердіння олова 17769 MO № Sn293;
- точка затвердіння цинку 17671 MO № Zn321;
- точка затвердіння алюмінію 17762 MO № Al311 (рис. 4);

- точка затвердіння міді 17674 № Cu65 (рис. 4);
- г) апарати для реалізації та підтримання реперних точок:

♦ потрібної точки ртуті — Hydra 798 M № 341366/1;

♦ потрібної точки води — 18233 № 341366/2;

♦ точки плавлення галію — 17402B № 341366/3;

♦ точок затвердіння індію, олова та цинку — 17703 № 341366/4;

♦ точок затвердіння алюмінію та міді — 465 № 341366/5;

д) багатофункціональний термометричний міст TP-3200 № 6 (рис. 3);

е) ПЕОМ.

МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕТАЛОНА

Діапазон значень температури, в якому удосконалений вторинний еталон відтворює одиницю вимірювань, становить від 234,3156 до 1357,77 K. Еталон забезпечує відтворення одиниці вимірювання із сумарним середнім квадратичним відхилом результату вимірювання від 0,0005 до 0,005 K за 30 незалежних спостережень.

Невизначеність вимірювань складає:

- * типу A u_A — від 0,00002 до 0,003 K;
- * типу B u_B — від 0,00006 до 0,004 K;
- * сумарна стандартна невизначеність u_c — від 0,00007 до 0,005 K;
- * розширена невизначеність U з коефіцієнтом охоплення $k = 2$ та довірчою ймовірністю $P = 0,95$ — від 0,001 до 0,01 K.

Науково-технічний рівень еталона відповідає сучасним досягненням розвитку національної та світової науки і техніки.

За своїми метрологічними і технічними характеристиками еталон не поступається кращим зарубіжним аналогам.

МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СКЛАДОВИХ ЧАСТИН ЕТАЛОНА

Метрологічні характеристики складових частин еталона наведено у таблицях 1—4.

Передавання розміру одиниці температури від вторинного еталона до робочих еталонів та прецизійних робочих засобів вимірювань температури виконується методами прямих вимірювань, без-

Таблиця 1. Метрологічні характеристики ампул

Table 1. Metrological characteristics vials

Назва характеристики	Значення характеристики								
	ампула потрійної точки ртуті 17724 № Hg285	ампула потрійної точки води A10/50/270 Q № B11-50-1398Q	ампула потрійної точки води A11/50/270 Q № A11-50-1319Q	ампула точки плавлення галію 17401 № Ga576	ампула точки затвердіння індію 17668 MO № In216	ампула точки затвердіння олова 17769 MO № Sn293	ампула точки затвердіння цинку 17671 MO № Zn321	ампула точки затвердіння алюмінію 17762 MO № Al311	ампула точки затвердіння міді 17674 № Cu65
Реперна температура	234,3156 К	273,16 К	273,16 К	302,9146 К	429,7485 К	505,078 К	692,677 К	933,473 К	1357,77 К
Чистота металу	99,9999 %			99,99999 %	99,9999 %	99,9999 %	99,9999 %	99,9999 %	99,9999 %
Розширена невизначеність з коефіцієнтом охоплення $k = 2$ та довірчою ймовірністю $P = 0,95$, не більша за	0,00022 К	0,0001 К	0,0001 К	0,00025 К	0,00065 К	0,0006 К	0,001 К	0,002 К	0,006 К
Діаметр внутрішнього каналу	10 мм	12 мм	12 мм	10 мм	10 мм	10 мм	10 мм	8 мм	8 мм
Глибина металу	250 мм			200 мм	200	200 мм	200 мм	200 мм	200 мм
Глибина води		300 мм	300 мм						

Таблиця 2. Метрологічні характеристики апаратів

Table 2. Metrological characteristics of devices

Назва характеристики	Значення характеристики				
	апарат для реалізації та підтримання потрійної точки ртуті Hidra 798 M № 341366/1	апарат для реалізації та підтримання потрійної точки води 18233 № 341366/2	апарат для реалізації та підтримання точки плавлення галію 17402B № 341366/3	апарат для реалізації та підтримання точки затвердіння індію, олова та цинку 17703 № 341366/4	апарат для реалізації та підтримання точки затвердіння алюмінію та міді 465 № 341366/5
Діапазон температури	від 233 до 235 К	від 272 до 274 К	від 302 до 304 К	від 425 до 670 К	від 925 до 1345 К
Розширена невизначеність з коефіцієнтом охоплення $k = 2$ та довірчою ймовірністю $P = 0,95$, не більша за	0,2 К	0,1 К	0,2 К	0,5 К	0,5 К
Час підтримання реперної точки	Від 4 год. до 20 год.	Від 2 діб до 20 діб	Від 8 год. до 20 год.	Від 8 год. до 20 год.	Від 8 год. до 20 год.

Таблиця 3. Метрологічні характеристики термометрів

Table 3. Metrological characteristics thermometers

Назва характеристики	Значення характеристики	
	термометр опору платиновий еталонний 670 SQ № 670SQ/172	термометр опору платиновий еталонний ВТС
Діапазон перетворення температури	від 234,3156 до 933,473 К	від 692,677 до 1357,77 К
Середній квадратичний відхил результату звірень з державним первинним еталоном	від 0,0005 до 0,005 К	від 0,005 до 0,03 К
Розширена невизначеність з коефіцієнтом охоплення $k = 2$ та довірчою ймовірністю $P = 0,95$	від 0,0002 до 0,01 К	від 0,05 до 0,1 К

Таблиця 4. Характеристики багатифункціонального термометричного мосту TP-3200 № 6

Table 4. Features multi thermometric bridge number TP-3200 6

Назва характеристики	Значення характеристики
Діапазон вимірювань електричного опору	Від 0,0005 Ом до 3400 Ом
Границі допустимої абсолютної похибки вимірювань електричного опору в діапазоні від 0,01 Ом до 100 Ом	$\pm 0,00001 \dots 0,00015$ Ом
Ціна найменшого розряду	0,00001

посереднього звірення та градування в реперних точках температури.

Для визначення функції відхилення термоперетворювача опору від стандартної функції МТШ-90 проводять вимірювання його опору за двократною реалізацією реперних точок Hg , H_2O , Sn , Zn , Al . За кожного вимірювання проводять 10 відліків. Визначають середні значення. Вимірювання проводять у такій послідовності: Al , H_2O , Zn , H_2O , Sn , H_2O , Ga , H_2O , Hg , H_2O .

Функція відхилення термоперетворювача опору, що повіряється, в діапазоні від 0 °С до 660,323 °С від стандартної функції МТШ-90 має вид:

$$\Delta W(T) = a[W(T) - 1] + b[W(T) - 1]^2 + c[W(T) - 1]^3, \quad (1)$$

де $\Delta W(T)$ — відхилення відносного опору термоперетворювача опору, що повіряється, від стандартної функції МТШ-90 за температури T ; $W(T)$ — відносний опір термоперетворювача опору, що повіряється, за температури T ; a , b , c — коефіцієнти, що розраховуються за результатами градування в реперних точках Al , Zn та Sn .

Функція відхилення термоперетворювача опору, що повіряється, в діапазоні від мінус 38,8344

до 29,7646 °С від стандартної функції МТШ-90 має вид:

$$\Delta W(T) = a[W(T) - 1] + b[W(T) - 1]^2, \quad (2)$$

де $\Delta W(T)$ — відхилення відносного опору термоперетворювача опору від стандартної функції МТШ-90 за температури T ; $W(T)$ — відносний опір термоперетворювача опору, що повіряється, за температури T ; a , b — коефіцієнти, що розраховуються за результатами градування в реперних точках Hg та Ga .

Функція відхилення термоперетворювача опору, що повіряється, в діапазоні від 419,527 до 1084,62 °С від стандартної функції МТШ-90 має вид:

$$\Delta W(T) = a[W(T) - 1] + b[W(T) - 1]^2, \quad (3)$$


де $\Delta W(T)$ — відхилення відносного опору термоперетворювача опору, що повіряється, від стандартної функції МТШ-90 за температури T ; $W(T)$ — відносний опір термометра опору платинового, що повіряється, за температури T ; a , b — коефіцієнти, що розраховуються за результатами градування в реперних точках Zn та Cu .

Удосконалення вторинного еталона одиниці температури кельвіна ВЕТУ 06-05-01-98 шляхом доукомплектування ампулами затвердіння алюмінію

та міді, потрійної точки ртуті та апаратурою для їх відтворення дозволить ДП «Укрметрестандарт» передавати розмір одиниці температури робочим еталонам та робочим засобам вимірювальної тех-

ніки підвищеної точності за ДСТУ 3742 у більш широкому діапазоні з достатньою точністю, що сприятиме технічному прогресу, розвитку науки, охорони здоров'я тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ/ REFERENCES

1. ДСТУ 3742-98 Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань температури. Контактні засоби вимірювань температури: затверджено та надано чинності наказом Держстандарту України № 345 від 26 травня 1998 р. / Державне науково-виробниче об'єднання «Метрологія»; розробники: Л. Назаренко, Г. Горне, Г. Йосельсон — К.: Держстандарт України, — 1998. — 65 с/р., (Державний стандарт України).
2. Supplementary information for the international temperature scale of 1990. Pavilon de Breteuil. F-92310 SEVRES.
3. Techniques for approximating the international temperature scale of 1990- Pavilon de Breteuil. F-92310 SEVRES.
4. А.Г. Иванова и др. Влияние условий формирования твердой фазы в начальной стадии процесса затвердевания на результат измерения температуры реперных точек МТШ-90. Материалы конференции «Температура-2011» Санкт-Петербург, 2011.
5. В.А. Медведев и др. Вопросы хранения и передачи единицы температуры эталонными платиновыми термометрами сопротивления. Материалы конференции «Температура-2011», Санкт-Петербург, 2011.
6. Прохоренко С.В. Мониторинг реперных точек температуры. Материалы конференции «Температура-2007», Москва, 2007.
7. Ражба Я.Е. Аппаратура для реализации МТШ-90 в диапазоне от температуры тройной точки аргона до точки плавления галлия. Материалы конференции «Температура-2007», Москва, 2007.
8. ДСТУ 3651.1-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Похідні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць та позасистемні одиниці. Основні поняття, назви та позначення: затверджено та надано чинності наказом Держстандарту України № 620 від 9 жовтня 1997 р./ Харківський державний політехнічний університет; розробники: В. Базакуца, О. Величко, О. Вінниченко, В. Владіміров, Л. Коваль, Є. Козир, І. Кугасян, О. Луковникова, О. Сук — К.: Держстандарт України, — 1998. — 13 с/р., (Державний стандарт України).
9. ГОСТ 8.061-80 ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам № 813 от 20 февраля 1980 г./ Государственный комитет СССР по стандартам; исполнители: Г.П. Сафаров, М.Н. Селиванов, Е.А. Троицкий, А.Э. Фридман, К.П. Широков, И.В. Шмаев — М.: Изд-во стандартов, — 1980. — 18 с/р., (Государственный стандарт Союза ССР).
10. ДСТУ ГОСТ 8.381:2008 Государственная система обеспечения единства измерений. Эталоны. Способы выражения погрешностей: принято наказом Держспоживстандарту України № 201 від 25 червня 2008 р. — 11 с/р., (Національний стандарт України).
11. ДСТУ 3231:2007 Метрологія. Еталони одиниць вимірювань державні, первинні та вторинні. Основні положення, порядок розроблення, затвердження та застосування: прийнято та надано чинності наказом Держспоживстандарту України № 357 від 12 грудня 2007 р. / ННЦ «Інститут метрології» Держспоживстандарту України, Український державний центр стандартизації та сертифікації «Укргростандартсертифікація»; розробники: В. Бондаренко, Н. Козлова, О. Малецька, Б. Марков, А. Ніколенко, Г. Примакова — К.: Держспоживстандарт України, 2008. — 23 с., (Національний стандарт України). 

Отримано / received: 18.01.2017.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н. Л.В. Декушею (Україна).
D. Sc. (Techn.) L.V. Dekusha, Ukraine, recommended this article to be published

УДК 681.7, 616-71

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЄДНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ У БІОМЕДИЧНИХ ОПТИЧНИХ ПРИЛАДАХ

М. Ходаковський, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,

М. Будник, доктор технічних наук, головний науковий співробітник,

Т. Лебедева, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,

П. Шпильовий, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,

П. Мерзвинський, молодший науковий співробітник,

В. Дегтярук, науковий співробітник,

Т. Риженко, молодший науковий співробітник,

Інститут кібернетики ім. В.М.Глушкова НАН України, м.Київ,

Я. Тимошенко, начальник відділу оптико-фізичних вимірювань,

ДП «Укрметртестстандарт», м.Київ,

Л. Грищенко,

А. Расчетаева, кандидат технічних наук, науковий співробітник,

Є. Тимофеев, доктор технічних наук, провідний науковий співробітник,

Національний науковий центр «Інститут метрології», м.Харків

Розглядаються питання забезпечення єдності оптичних вимірювань в біомедичних приладах. Обговорено особливості розроблення методик виконання вимірювань та проведення метрологічної атестації, виготовлення та метрологічної атестації мір, розрахунок калібрувальної залежності, і все це з урахуванням вимог нормативно-технічної документації з метрології у сфері оптичних вимірювань.

In this article deals with assurance of uniformity of optical measurements used in biomedical measuring instruments. Computer refractometric analyzer «PLAZMONTTEST» is designed to determine the composition and properties of substances-analytes through the registration the angle of minimum intensity of reflection in conditions of surface plasmon resonance in monochrome light in visible spectrum from the sensor substrate. Non-invasive computer

photogammetry (portable) ФГНК(П)1-01 is designed to measure the concentration of the total hemoglobin in the blood vessels of the microcirculatory bloodstream of human biological tissues or other living organism. Computer four-channel photoplethysmograph (portable) ФПК(П)4 is designed for diagnostics and point registration changes absorbance region of interest of the body. Meter of optical power IT 1703S is designed to measure optical power in optical fibers, optical components of intelligent sensors and optical fiber transmission system. The features of the development of measurement procedures and metrological certification of biomedical measuring instruments, manufacturing measures and metrological certification of measures, the calculation of the calibration dependence are considered, and all of this is with account for the requirements of Normative Technical Documentation in the field of metrology in the field of optical measurements.

Ключові слова: вимірювач оптичної потужності, метрологічна атестація, оптичний атенуатор, рефрактометр, фотогемометр, фотоплетизмограф.

Key words: meter of optical power, metrological certification, optical attenuator, refractometer, fothemometr, photoplethysmograph.

Для впровадження неінвазивних приладів у медичну практику чи іншу сферу потрібно вирішити ряд питань метрологічної атестації (МА) приладу як засобу вимірювальної техніки, зокрема розроблення методик виконання вимірювань, виготовлення та метрологічної атестації мір, проведення метрологічної атестації приладів, розрахунку калібрувальної залежності, – й усе це з урахуванням вимог нормативно-технічної документації з метрології у сфері оптичних вимірювань.

АНАЛІЗАТОР РЕФРАКТОМЕТРИЧНИЙ КОМП'ЮТЕРНИЙ «ПЛАЗМОНТЕСТ»

Аналізатор рефрактометричний комп'ютерний «Плазмонтест» (рефрактометр) призначений для визначення складу і властивостей речовин-аналітів за допомогою реєстрації кута мінімуму інтенсивності відбиття за умов поверхневого плазмонного резонансу (ППР) у монохромному світлі видимого діапазону від сенсорної підкладки, який визначається оптичними властивостями тонких нанорозмірних

шарів рідини, прилеглих до підкладки, та змінами цих властивостей, зумовленими впливом фізичних чинників, хімічних та біохімічних взаємодій молекул рідини й сенсорної підкладки, та записом даних у пам'ять комп'ютера з подальшим опрацюванням результатів вимірювання й візуалізацією у цифровій та графічній формах, у тому числі в реальному часі за дослідження нестационарних процесів.

Згідно з класифікатором ЄСКД аналізатор рефрактометричний комп'ютерний «Плазмонтест» відноситься до класу засобів вимірювання електричних та магнітних величин, іонізуючих випромінювань, засобів інтроскопії, визначення складу і фізико-хімічних властивостей рідин; підкласу засобів визначення складу і властивостей рідин; групи аналізаторів та перетворювачів складу і властивостей рідин оптичних; підгрупи аналізаторів оптичних; виду рефрактометричних.

Його будова та принцип роботи такі: збіжний промінь p -поляризованого монохроматичного світла відбивається від границі розділу поверхні плівки золота – навколишнього середовища. За умов ППР на кривій відбиття спостерігається чіткий мінімум, положення якого залежить від показника заломлення середовища. Дані з розподілу інтенсивності відбитого світла за кутом зчитуються з ПЗС-лінійки 2048 пікселів. Програмне забезпечення автоматично апроксимує мінімум кривою 2-го порядку та розраховує кутове положення мінімуму.

У приладі застосовано світлодіод з довжиною

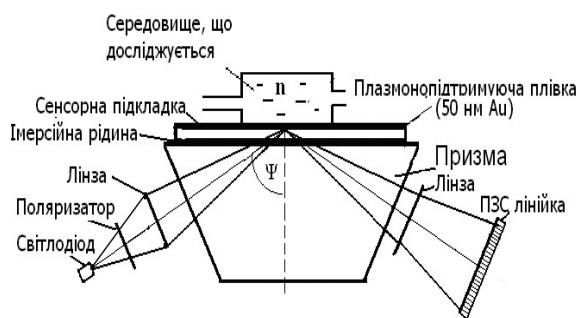


Рис. 1. Оптична схема рефрактометра
Fig. 1. Optical schematic of the refractometer

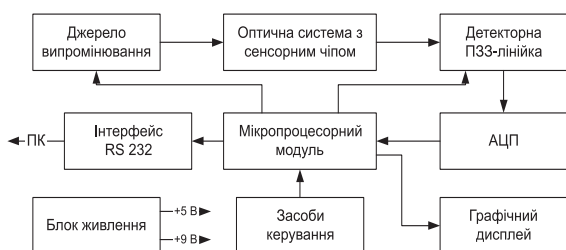


Рис. 2. Блок-схема приладу
Fig. 2. Block diagram of the refractometer

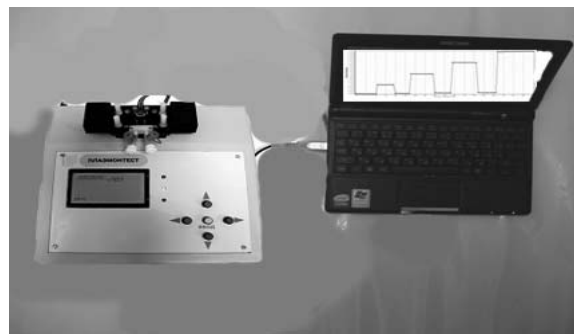


Рис. 3. Загальний вид рефрактометра
«Плазмонтест»

Fig. 3. General view of the refractometer «Plazmontest»

хвилі 670 нм, поляризатор, оптичну призму з кутом 63,5 градуси, сенсорні підкладки з плазмоніпідтримувальною плівкою золота товщиною 50 нм, фотодіодну ПЗС-лінійку та систему лінз, які забезпечують збіжність променя на сенсорній підкладці та його розбіжність до необхідного розміру на лінійці (рис. 1). Для забезпечення стабільності температури до 0,1 °C під час проведення досліджень розроблено проточну комірку на елементах Пельтьє з радіаторами повітряного охолодження. Блок-схему рефрактометра з фоточутливою ПЗС-лінійкою представлено на рис. 2.

На рис. 3 подано зображення приладу. Після включення приладу та ПК потрібно послідовно натиснути у вікні програми «Плазмон Т» кнопки «Підключення» та «Зчитування». У вкладці «Графік» з'явиться відображення розподілу інтенсивності відбитого від поверхні золотої плівки світла за довжиною фотоприймальної лінійки (рис. 4).

Провівши вимірювання, потрібно впевнитися, що форма та положення розподілу є сталими. Програма виводить графік та табличні дані коефіцієнта заломлення для вимірюваних речовин відносно відомого коефіцієнта заломлення води. Значення коефіцієнтів можна ввести в явному виді у вікні «Налаштування» в пункті меню «Коефіцієнт заломлення» або обчислити на основі набору рідин із відомими коефіцієнтами заломлення. Для цього у вікні «Налаштування» вмикають режим «Налаштування», а у головному вікні виставляють дані, отримані на воді, та натискають кнопку «Виставити к-т води». Після цього у нижній правій частині головного вікна стає доступним розділ додавання даних для введення референтних даних (рис. 4).

Значення у відліках коефіцієнта заломлення обчислюється як абсциса мінімуму ППР-кривої, далі програма пропонує користувачеві ввести коефіцієнт заломлення досліджуваної рідини та додати цю точку до розрахунку.

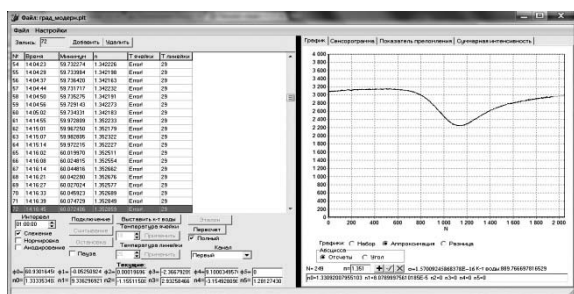


Рис. 4. Вікно програми «Плазмон Т» з розділом додавання даних для введення референтних даних

Fig. 4. The window of program «Plasmon T» with section adding data to input reference data

Далі потрібно послідовно натиснути у вікні програми кнопки «Підключення» та «Зчитування». У вкладці «Графік» з'явиться відображення розподілу інтенсивності віддзеркаленого від поверхні золотої плівки світла за довжиною фотоприймальної лінійки. Щоби встановити відповідність між пікселями ПЗС матриці та кутівими значеннями мінімуму ППР, необхідно знайти аналітичний вираз для передаткової кривої. Програма «Плазмон Т» може наблизити передаткову криву поліномом до 5-го ступеня включно:

$$j(N) = j_0 + j_1N + j_2N^2 + j_3N^3 + j_4N^4 + j_5N^5, \quad (1)$$

де N – вихідний сигнал приладу.

За МА використано міри на основі розчинів сахарози, атестованих на вихідному еталоні України – компараторі-рефрактометрі 1-го розряду для передавання одиниці показника заломлення рідких та твердих речовин у видимій частині спектра (СКВ не більше за 1×10^{-5}) [1]. У таблиці 1 наведено параметри атестованих робочих мір сахарози.

Калібрування приладу «Плазмонтест» для використання його як рефрактометра проводилося за допомогою описаних вище робочих мір. У таблиці 2 наведено результати калібрування приладу «Плазмонтест» з атестованим значенням показника заломлення для випромінювання з довжиною хвилі 589,3 нм [2–3].

За результатами калібрування рефрактометра за атестованими розчинами сахарози побудовано сенсорограму (рис. 5).

За результатами МА побудовано калібрувальну залежність (рис. 6).

Звідси можна отримати градувальну характеристику рефрактометра як залежність показника заломлення від вихідного сигналу рефрактометра (рис. 7).

Отримана аналітична залежність показника заломлення від вихідного сигналу для зазначеного рефрактометра має вид:

$$n = 5 \cdot 10^{-5}N + 1,305, \quad (2)$$

де n – показник заломлення, що вимірюється, N – усереднене значення абсциси (у відліках) розта-

Таблиця. 1. Параметри робочих мір сахарози

Table. 1. Parameters working sucrose measures

Міра	1-13	2-13	3-13	4-13
Атестоване значення показника заломлення	1,3425	1,3525	1,3624	1,3727
	$\pm 0,0001$	$\pm 0,0001$	$\pm 0,0001$	$\pm 0,0001$

Таблиця. 2. Значення вихідного сигналу рефрактометра (на довжині хвилі $\lambda = 589,3$ нм)

Table. 2. The value of the output signal of refractometer (wavelength $\lambda = 589,3$ nm)

№ міри	1-13	2-13	3-13	4-13
Показник заломлення	1,3425	1,3525	1,3624	1,3727
№ вимірювання	Вихідний сигнал рефрактометра (відліки)			
1	508	920	1086	1243
2	510	924	1087	1242
3	503	921	1089	1246
4	506	923	1090	1247
5	507	925	1091	1245
Середнє значення	507,36	923,11	1089,03	1245,07

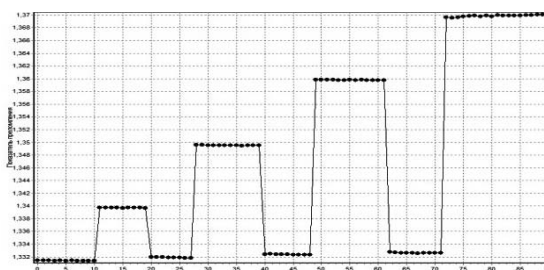


Рис. 5. Сенсорограма, отримана під час МА за розчинами сахарози

Fig. 5. Sensorohrama obtained when calibrated in sucrose solution

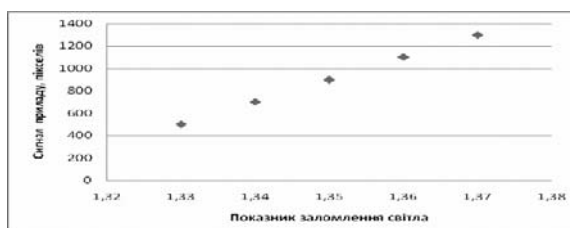


Рис. 6. Калібрувальна залежність за результатами МА

Fig. 6. Calibration dependence based on the results certification

шування мінімуму ППР-кривої для певної рідини.

Для подальших робіт експериментально апробовано конструкцію двоканального приладу

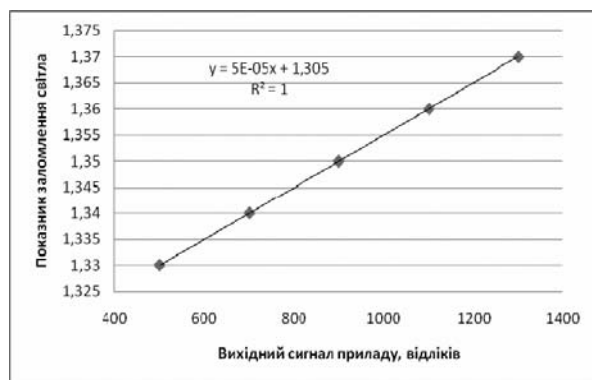


Рис. 7. Градувальна характеристика рефрактометра, отримана за результатами МА на основі розчинів сахарози

Fig. 7. Refractometer calibration characteristics obtained from the results of metrological certification on the basis of sucrose solutions

«Плазмонтест-2К» [4]. Використання додаткового референтного каналу дозволяє зменшити вплив температури на похибку вимірювань, що можуть проводитися тривалий час. Протягом періоду вимірювань може коливатися температура рідинної комірки, джерела випромінювання та приймача – фотодіодної лінійки. Наявність референтного каналу дає змогу відмовитися від термостабілізації об'єкта проведення вимірювань, що є ефективним засобом підвищення точності та чутливості рефрактометричних та біосенсорних досліджень. Для цього у приладі «Плазмонтест – 2К» уведено рухому призму, на якій закріплено двоканальну рідинну комірку відносно нерухомих джерела світла та ПЗС-лінійки. Призму закріплено на направляючих лінійного руху, вона має електромеханічний привід з керуванням від комп'ютера. Оптичний блок приладу наведено на рис. 8.

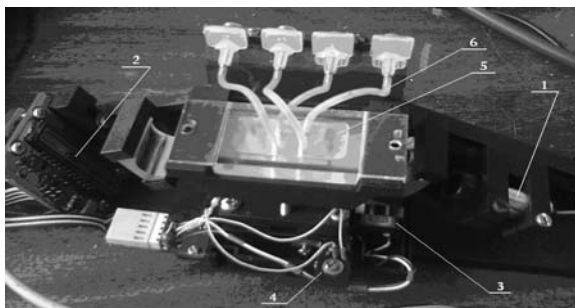


Рис. 8. Оптичний блок приладу «Плазмонотест-2К»: 1 – лазер, 2 – фотодіодна лінійка, 3 – електричний двигун, 4 – кінцевий вимикач, 5 – двоканальна рідинна комірка, 6 – гнучкі вводи

Fig. 8. The optical unit of the device «Plazmonotest-2K»: 1 – laser, 2 – photodiode line 3 – electric motor, 4 – limit switch, 5 – two-channel liquid cell, 6 – flexible inputs

Результати ДМА засвідчили, що прилад «Плазмонтест» за використання його як рефрактометра дозволяє вимірювати показники заломлення рідких тіл в діапазоні від 1,33 до 1,38 з абсолютною похибкою, не більшою за $1 \cdot 10^{-3}$ (з використанням для градування атестованої міри з похибкою $1 \cdot 10^{-4}$), що цілком прийнятно для багатьох практичних застосувань. На основі такого ЗВТ можна створити ряд приладів чи ПТК різного призначення, в яких рефрактометр буде вбудованим ЗВТ [4], зокрема, двоканальний прилад «Плазмонтест-2К».

ВИМІРЮВАЧ СЕРЕДНЬОЇ ПОТУЖНОСТІ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ IT 1703S

Прилад розроблено для вимірювання оптичної потужності в оптичному волокні, оптичних компонентах інтелектуальних сенсорів та волоконно-оптичних системах передавання інформації у спектральному діапазоні на фіксованих довжинах хвиль 525, 630 та 850 нм.

Принцип роботи та будова

Вимоги до діапазону вимірювань приладу визначаються істотним діапазоном потужностей, а саме, від 1 до мінус 70 дБм у видимому ($\lambda = 523$ нм) та інфрачервоному діапазонах ($\lambda = 850$ нм). Блок-схему приладу наведено на рис. 9.

Робота приладу забезпечується прецизійним перетворювачем оптичного сигналу сенсора у фотострум та підсилювачем з логарифмічною характеристикою коефіцієнта передавання. Відповідні відліки АЦП-перетворювача опрацьовуються мікроконтролером з використанням сплайна 4-го порядку та з урахуванням залежності чутливості пере-

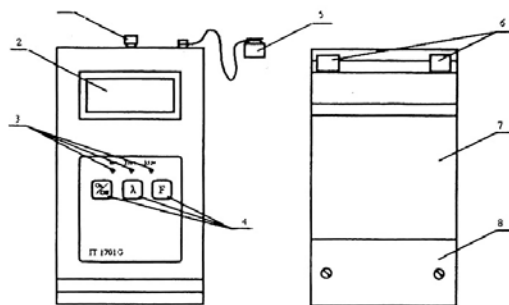


Рис. 9. Блок-схема приладу

1 – фотодетектор з оптичним адаптером, 2 – РК-індикатор, 3 – світлодіодні індикатори, 4 – кнопки керування, 5 – заглушка адаптера, 6 – місце розташування пломб, 7 – задня кришка приладу, 8 – кришка відсіку елементів живлення

Fig. 9. Block diagram of the instrument

1 – photodetector with the optical adapter, 2 – LCD display, 3 – LEDs, 4 – button control, 5 – plug adapter, 6 – the location of seals, 7 – rear cover of the instrument, 8 – the battery cover

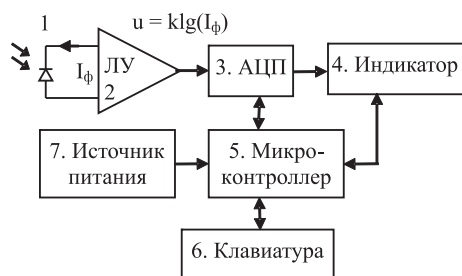


Рис. 10. Функціональна схема приладу

Fig. 10. Functional diagram of the instrument



Рис. 11. Загальний вид приладу

Fig. 11. General view of the instrument

творювача оптичного сигналу від діапазону хвиль. Результати виводяться на РК-дісплей для індикації [5]. Функціональну схему приладу наведено на рис. 10.

Загальний вид приладу представлено на рис. 11.

На лицьовій панелі приладу розташовані такі кнопки: *On/off* – вимкнення/включення приладу; *[λ]* – вибір необхідної довжини хвилі оптичного випромінювання, *[F]* – функціональна кнопка, може виконувати функції: відключення функції таймерного вимикання приладу (необхідне під час тривалих вимірювань > 15 хв) та фіксування на індикаторі останнього показання приладу (функція *Hold*).

Вимірювання оптичної потужності (коефіцієнта загасання) у приладі виконується в одиницях логарифмічної відносної величини – децибелах відносно рівня 1 мВт [дБм]. У випадку вимірювання загасання в оптоволокну коефіцієнт загасання на одиницю довжини визначається як коефіцієнт загасання на обраній довжині хвилі λ :

$$\alpha = \frac{A}{l_2 - l_1} \left[\frac{\text{дБ}}{\text{км}} \right] \quad (3)$$

де A – різниця сигналів на вході та виході оптоволоконна, l_1 , l_2 – довжини відрізків оптоволоконна.

Показання приладу відображаються на РК індикаторі в дБм. Індикація обраної довжини хвилі здійснюється миготінням відповідного світлодіода на лицьовій панелі протягом 10–15 с. Індикатор

розряду елементів живлення розташований у верхньому лівому куті РК індикатора.

У приладі наявна функція таймерного вимикання, тобто самостійне відключення приладу через 15 хв після останнього використання клавіатури. За 10 с до моменту вимикання відбувається звукова сигналізація, у цей момент натисканням на функціональну кнопку *F* можна призупинити відключення приладу, якщо це необхідно (наприклад, у випадку, коли процес вимірювань на момент таймерного відключення не закінчено).

Атенюатор з фіксованим затуханням

Для формування заданого рівня сигналів у вимірювальному волоконно-оптичному тракті використовується атенюатор з фіксованим затуханням (рис. 12).

Мета контролю – перевірка величини й точності установлення оптичної потужності. Критерій оцінки: атенюатор вважається таким, що витримав випробування, якщо вимірений рівень відповідає загасанню оптичного випромінювання. Джерело випромінювання: світлодіоди з довжиною хвилі 525 та 850 нм.

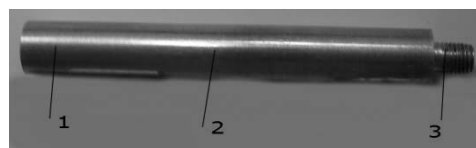


Рис. 12. Атенюатор з фіксованим затуханням: 1 – до джерела світла, 2 – корпус, 3 – вихід до приладу

Fig. 12. Attenuator with fixed attenuation: 1 – output to the light source, 2 – housing, 3 – output to the device

Порядок виконання калібрування

За допомогою вимірювача оптичної потужності IT 1703S провести відлік рівня потужності P_{in} у дБм на виході волоконно-оптичного кабелю. Підключити волоконно-оптичний кабель до входу атенюатора, а до виходу атенюатора – вимірювач оптичної потужності й вимірити рівень потужності P_{out} у дБм на виході атенюатора за формулою:

$$\Delta D(\text{дБ}) = P_{out}(\text{дБм}) - P_{in}(\text{дБм}). \quad (4)$$

У результаті вимірювань під час ДМА було встановлено, що для атенюатора оптичного довжиною 25 мм з фіксованим ослабленням 13 дБ границі допустимої основної похибки встановлення оптичного ослаблення на довжинах хвиль випромінювання 525 та 850 нм складає ± 2 дБ.

Атенюатор зі змінним затуханням

Атенюатор із змінним затуханням представлено на рис. 13.

Порожній шток 3 використовується для плавного регулювання загасання атенюатора або фіксації

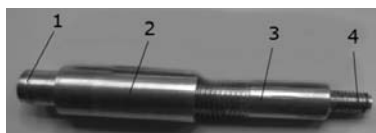


Рис.13. Атенюатор зі змінним затуханням:

1 – вихід до джерела світла, 2 – корпус, 3 – шток, 4 – вихід до тестувального приладу

Fig. 13. Attenuator with a variable attenuation:

1 – output of the light source, 2 – housing, 3 – rod, 4 – output to the testing device

в корпусі 2 поглинальної оптичної вставки для дискретної зміни величини його загасання.

У результаті вимірювань у процесі ДМА встановлено, що для атенюатора оптичного зі змінним ослабленням довжиною 57 мм границі допустимої основної похибки встановлення оптичного ослаблення на довжині хвилі випромінювання 525 нм складає ± 2 дБ, а на довжині хвилі 850 нм – ± 3 дБ.

Для проведення метрологічної атестації приладу необхідні:

1) стабільне джерело оптичного випромінювання з потужністю, не меншою від 2 мВт. Для цього використовувалися малогабаритні джерела (1Т19ХХ) з необхідними параметрами довжин хвиль і вихідної потужності оптичного випромінювання;

2) зразковий вимірювач середньої потужності оптичного випромінювання, що працює у спектральному діапазоні від 523 до 850 нм та в динамічному діапазоні від 0,001 до 3 мВт, що забезпечує похибку вимірювань, не більшу за 3 %;

3) оптичний атенюатор із плавним або східчастим внесеним загасанням (крок, не більший за 1 дБ, динамічний діапазон – 60 дБ). Блок-схему установки для МА наведено на рис. 14.

Порядок проведення калібрування на довжині хвилі калібрування 523 нм:

1) З'єднати послідовно оптичними кабелями (ОК) джерело оптичного випромінювання 523 нм, оптичний атенюатор (ОА) і еталонний вимірювач потужності (ЕВП) оптичного випромінювання.

2) За допомогою ОА встановити рівень потужності оптичного випромінювання $P = -10,0$ дБм.

3) Перемкнути ОК із входу ЕВП до входу приладу, що перевіряється. Зафіксувати отримані значення.

4) Повторити вимірювання 5 разів і розрахувати основну похибку приладу за формулою:

$$\Delta_{-10} = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - P_{oi}) / P_{oi}}{N}, \quad (5)$$

де Δ_{-10} – основна похибка тестованого приладу за рівня оптичної потужності 10 дБм; P_i – пока-



Рис.14. Блок-схема установки для МА

Fig.14. Block diagram of an apparatus for the metrological certification

зання тестованого приладу за проведення i -го випромінювання; P_{oi} – показання ЕВП за проведення i -го випромінювання; N – кількість проведених вимірювань (не менша від 5).

Аналогічно перевірку приладу проводять на довжинах хвиль калібрування 523 та 850 нм, а також за інших рівнів потужності оптичного випромінювання.

У результаті метрологічної атестації приладу похибки не перевищували $\pm 0,5$ дБм. Це дозволяє використовувати його для калібрування передаткової функції генерувального каналу приладу. Такий вимірювач необхідний і для перевірки інвазивних гемоглобінометрів, білірубіннометрів та інших медичних аналізаторів, що працюють у видимому діапазоні випромінювань.

ФОТОГЕМОМЕТР НЕІНВАЗИВНИЙ КОМП'ЮТЕРНИЙ (ПОРТАТИВНИЙ) ФГНК(П)1-01

Призначення фотогемометра неінвазивного комп'ютерного (портативного) ФГНК(П)1-01 сформовано на основі визначення фотооксигемометра згідно з п.2.5.2 ДСТУ 2595-94 «Прилади вимірювальні та апаратура функціональної діагностики», розділ 2 «Прилади для вимірювання параметрів серцево-судинної системи».

Згідно з класифікатором ЄСКД ФГНК(П)1-01 відноситься до класу медичної техніки; до підкласу комплексів медичної техніки, приладів медичних, апаратів медичних; до групи приладів медичних для функціональної діагностики; до підгрупи діагностування за біомеханічною активністю органів та систем організму; до виду інших: код 941329 (цей прилад стосується серцево-судинної системи).

Фотогемометр неінвазивний комп'ютерний призначений для вимірювання концентрації загальної кількості гемоглобіну в кровеносних судинах мікроциркуляторного русла біотканин людини або іншого живого організму за допомогою монохроматичних

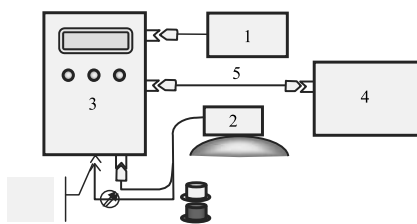


Рис.15. Блок-схема фотогемометра

1 – блок живлення, 2 – виносна оптична головка, 3 – корпус фотогемометра, 4 – ПК, 5 – оптичні еталони

Fig.15. Block diagram of the photogamometer

1 – power supply, 2 – remote optical head, 3 – the case of photogamometer, 4 – personal computer (PC), 5 – optical standards

джерел інфрачервоного (референтний канал) і зеленого (сигнальний канал) спектрів світла та оптоелектричного первинного перетворювача у відбитому (дифузно розсіяному) світлі, розміщених з одного боку поверхні тіла людини. Блок-схему приладу наведено на рис. 15.

Особливістю неінвазивного фотогемометра є використання опромінювача з оптично непрозорими стінками, який стикається з поверхнею середовища, що розсіює. У цьому випадку випромінювання, відбите внаслідок відмінності коефіцієнтів заломлення опромінювача і середовища, що розсіює, не потрапляє у фотоприймач. До останнього потрапляє лише складова зворотного потоку випромінювання, зумовлена розсіюванням фотонів структурними елементами середовища, що розсіює (молекулами, оптичними неоднорідностями) [6].

Основними технічними параметрами є діапазон вимірюваних значень концентрації гемоглобіну у тканині (від 0,2 до 4 г/л) та час неінвазивного вимірювання (кілька секунд). Під час запуску на ПК (4) програми керування *GmMsp* 2.0.0 автоматично запускається *Excel* і в ньому відкривається програма формування результатів вимірювань *GmProfile1.xls*. Зовнішній вид приладу представлено на рис. 16.

Наявність ПК з його багатими можливостями дає приладу нові якості, особливо щодо швидкості вимірювання та відображення зміни кровонаповнення у часі. У цьому режимі роль електронного блоку полягає у виконанні команд, які надходять від ПК. У оператора є можливість керувати окремими складовими електронного блоку з метою отримання оптимального результату. Також є портативний варіант – фотогемометр без ПК. У оператора є можливість керувати окремими складовими електронного блоку з метою отримання оптимального результату. На рис. 17 представлено зовнішній вид фотогемометра в портативному варіанті.

Вікно програми *GmMsp* 2.0.0. зображено на рис. 18. Поясимо значення окремих елементів цього вікна.

*N*LongPeriod* – це число визначає період між послідовними вимірюваннями та частоту вимірювань. Частота вимірювань висвітлюється у віконці поряд з кнопкою “Go”.

ДлСерии – задає кількість вимірювань, що виконуються за один сеанс.

Кнопка “Go” – за її натискання в електронний блок передаються значення всіх коефіцієнтів, які задають режим вимірювань, а в *Excel* передаються значення коефіцієнтів інтерпретації *Acoef*, *Bcoef*. Електронний блок починає виконувати вимірювання і передавати значення сигналів у кожному каналі цієї програми.

Програма висвітлює значення сигналів у віконцях, що в рамці *FOF1*, у відповідності до цих значень



Рис.16. Зовнішній вид приладу (комп'ютерний варіант)

Fig. 16. The exterior of the device (computer version)

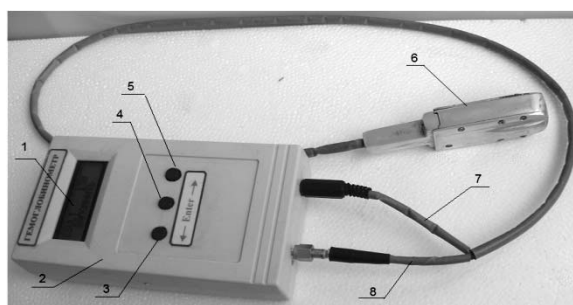


Рис.17. Зовнішній вид фотогемометра (в портативному варіанті)

1 – цифровий дисплей, 2 – електронний блок приладу, 3,4,5 – кнопки вибору режиму роботи; 6 – головка, 7 – електрокабель, 8 – волоконно-оптичний кабель

Fig.17. The external view of photogamometer (portable version)

1 – digital display, 2 – electronic module of the instrument, 3,4,5 – buttons of selection of work mode; 6 – measuring head, 7 – power cable, 8 – fiber optic cable

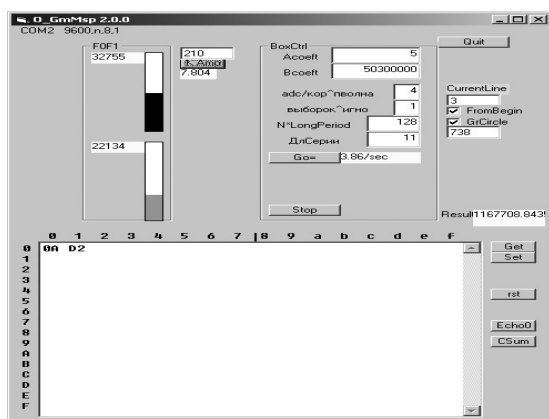


Рис.18. Вікно програми GmMsp 2.0.0

Fig. 18. The window of program GmMsp 2.0.0

змінює висоту стовпчиків і обчислює результат. Результат висвітлюється у віконці *Result* та записується у відповідний файл.

Формула отримання величини концентрації гемоглобіну в крові у г/л визначається лінійною залежністю рівня вимірювального сигналу від концентрації гемоглобіну (Hb) і обчислюється у виді:

$$C_{Hb} = a \cdot (\lg N_m / N_b - b), \quad (5)$$

де a – коефіцієнт, зумовлений передаточною функцією оптоелектронного вимірювального каналу та обраними одиницями вимірювань; b – коефіцієнт, який визначається розбалансом коефіцієнтів передавання вимірювального і опорного каналів; N_m – відлік вимірювального каналу; N_b – відлік опорного каналу.

Формула для вихідного сигналу гемометра має вид:

$$R = 10 \lg P_{\text{зел}} / P_{\text{ір}}. \quad (6)$$

Атестація мір (розчинів)

Приготування розчинів: для отримання рідких калібраторів гемоглобіну використано стандарт гемоглобіну у виді препарату «Para 12 Extend» фірми «Streck».

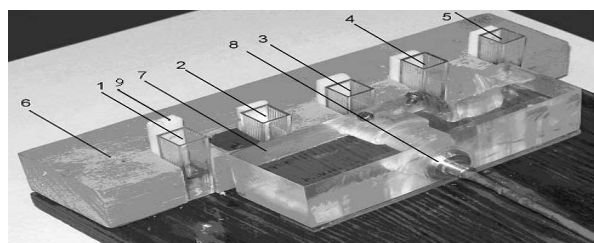


Рис.19. Вид 5-ти рідинних кювет для каліброваних розчинів гемоглобіну: 1-5 – кювети, 6 – тримач кювет, 7 – тримач оптичної головки, 8 – оптична головка, 9 – пластина

Fig. 19. The view of 5 measuring cells for calibration solution of hemoglobin: 1 - 5 – measuring cell, 6 – cell holder, 7 – holder of the optical head, 8 – the optical head, 9 – plate

Вид 5-ти рідинних кювет для каліброваних розчинів гемоглобіну наведено на рис. 19. Було використано концентрації гемоглобіну: 0,25; 0,5; 1,0; 1,5 г/л. Вода деіонізована, марки ДИС, ТУ У 24.5-33320366-006:2011 від 08.04.2011.

Розрахунок реагентів

для приготування каліброваних розчинів

Для калібрування потрібен діапазон концентрацій від 0,5 до 1,5 г/л. Такий діапазон відповідає діапазону концентрації гемоглобіну для біотканини зап'ястя людини. Для приготування каліброваних розчинів використовуємо формулу:

$$V_{\text{ст}} = V_{\text{кал}} C_{\text{кал}} / C_{\text{ст}}, \quad (7)$$

де $V_{\text{ст}}$ – об'єм стандартного розчину гемоглобіну, $V_{\text{кал}}$ – об'єм каліброваного розчину (робочий об'єм кювети), $C_{\text{кал}}$ – його концентрація, $C_{\text{ст}}$ – концентрація стандартного розчину гемоглобіну.

Потрібний об'єм дистильованої (деіонізованої) води в об'ємі розчину 2 мл $V_{\text{дист}}$ визначаємо за формулою:

$$V_{\text{дист}} = V_{\text{кал}} - V_{\text{ст}}. \quad (8)$$

Методика калібрування та стенд

Для калібрування приладу (фотогемометра) використано 5 рідинних кювет (рис. 19). На рис. 20 наведено блок-схему калібрувального стенда.

Кювети (1 – 5) виготовлено з органічного прозорого технічного скла марки ТОСП згідно з ТУ 2216-271-05757593-2001. Розміри кювети 10 x 10 x 25 мм, товщина стінки 1 мм, робочий об'єм кожної з п'яти кювет складає 2 мл. Пластина – тримач (9) використовується для стабілізації відбиття світла світлодіода від гемоглобіну в зразках стандарту гемоглобіну.

Для вимірювань під час калібрування

використано таку методику:

1) Встановити навпроти кювети №1, розміщеної на калібрувальному стенді, тримач з оптичною головкою приладу.

2) Увімкнути прилад натисканням клавіші 3. Потім подаємо на оптичний діод оптичної головки сигнал у виді зеленого (523 нм) та інфрачервоного (850 нм) світлових потоків. За допомогою

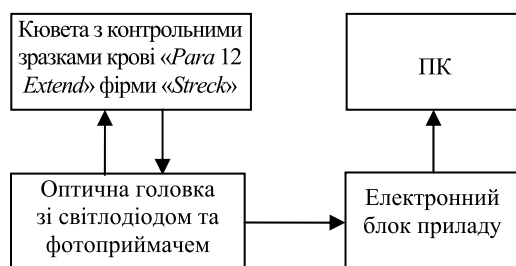


Рис.20. Блок-схема калібрувального стенда
Fig.20. The block diagram of the calibration bench

Таблиця 3. Вихідний сигнал зеленого світлодіода, відліків ($\lambda = 523$ нм)

№ міри	1	2	3	4
Концентрація гемоглобіну, г/л	0,25	0,5	1	1,5
№ вимірювання	Вихідний сигнал зеленого світлодіода, відліків			
1	15959	6276	1288	524
2	16054	6539	1305	481
3	17272	6714	1400	491
4	16639	6321	1473	746
5	16883	6474	1213	768
Середнє значення	16561,96	6464,99	1276,36	602,13

Таблиця 4. Вихідний сигнал інфрачервоного світлодіода, відліків ($\lambda = 940$ нм)Table 4. The output signal of the infrared LED, readings ($\lambda = 940$ нм)

№ міри	1	2	3	4
Концентрація гемоглобіну, г/л	0,25	0,5	1	1,5
№ вимірювання	Вихідний сигнал ІЧ-світлодіода, відліків			
1	1808	1429	1083	1016
2	1824	1514	1073	979
3	1904	1525	1091	979
4	1870	1471	1100	1092
5	1878	1484	1072	1098
Середнє значення	1857,17	1484,84	1083,92	1032,79

Таблиця 5. Відношення сигналів $R = 10 \lg P_{\text{зел}} / P_{\text{іч}}$ Table 5. The ratio of the signals $R = 10 \lg P_{\text{green}} / P_{\text{infrared}}$

№ міри	1	2	3	4
Концентрація гемоглобіну, г/л	0,25	0,5	1	1,5
№ вимірювання	Відношення сигналів $R = 10 \lg P_{\text{зел}} / P_{\text{іч}}$			
1	8,8225	4,3919	1,1893	0,5157
2	8,7972	4,3162	1,2171	0,4913
3	9,0666	4,4026	1,2841	0,5015
4	8,8979	4,2971	1,3391	0,6831
5	8,9904	4,3625	0,8526	0,6994
Середнє значення	8,9212	4,3508	1,1807	0,5804

фотоприймача тієї ж оптичної головки реєструємо відповідні вихідні сигнали зазначених вище зеленого та інфрачервоного потоків.

3) Після натискання кнопки 3 і переходу в режим «однократно» натиснути кнопку 4 (перехід). При цьому прилад буде запрограмовано для роботи у вибраному режимі, а на табло висвітлиться напис «Багатократно».

4) За натискання кнопки 3 прилад перейде у стан «Готово».

Отримані результати вимірювань під час державної атестації фотогомометра наведено в таблицях 3, 4 та 5.

Будуємо калібрувальну криву залежності вихідного сигналу приладу від концентрацій гемоглобіну в стандартних зразках (рис. 21).

Градувальну криву результатів вимірювань під час державної атестації наведено на рис. 22.

Апроксимація градувальної характеристики фотогомометра з високою точністю ($R^2 = 0,9772$) має вид залежності:

$$C [\text{г/л}] = -0,1034R [\text{дБ}] + 1,1864. \quad (9)$$

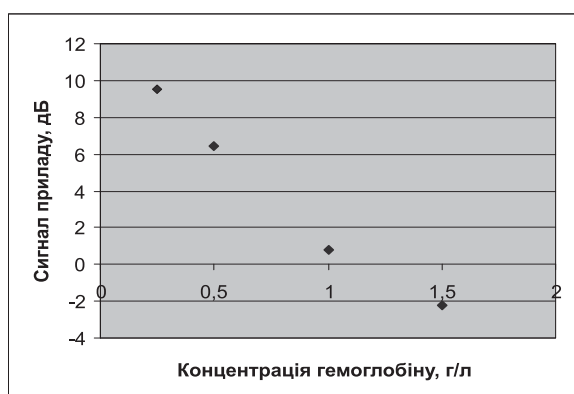


Рис. 21. Калібрувальна залежність фотогомометра ФГНК(П)-1-01

Fig. 21. Calibration curve of the dependency of photogamometer ФГНК(П)-1-01

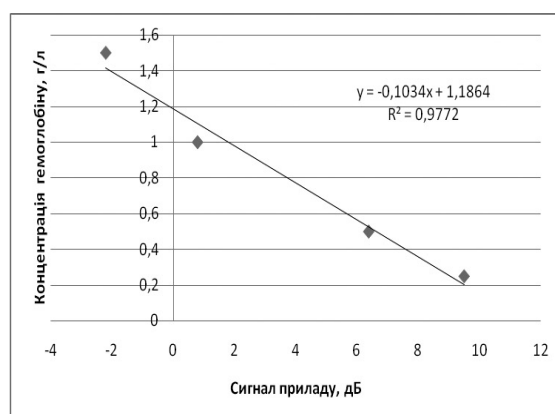


Рис. 22. Градувальна крива фотогомометра за результатами МА

Fig. 22. The gradually curve of measuring results

Висновок: у результаті МА визначено діапазон концентрацій (0,25 – 1,5) г/л та границі відносної похибки вимірювань ± 13 %.

ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФ ЧОТИРЬОХКАНАЛЬНИЙ КОМП'ЮТЕРНИЙ (ПОРТАТИВНИЙ)

ФПК(П)4

Згідно з п.2.2.4 ДСТУ 2595-94 прилад є фотоплетизмографом - плетизмовазо-графом, вимірювання в якому здійснюється за зміною оптичної густини досліджуваної ділянки тіла або досліджуваного органу.

Згідно з класифікатором ЄСКД фотоплетизмограф двоканальний комп'ютерний (портативний) ФПК (П)2-01 відноситься до класу медичної техніки; до підкласу комплексів медичної техніки, приладів медичних, апаратів медичних; до групи приладів медичних для функціональної діагностики; до підгрупи діагностування за біомеханічною активністю органів та систем організму; до виду інших: код 941329 (цей прилад стосується серцево-судинної системи).

Ураховуючи специфіку створеного приладу, пропонується таке визначення: фотоплетизмограф двоканальний комп'ютерний призначений для діагностики і точкової реєстрації зміни оптичної густини досліджуваної ділянки тіла людини за допомогою двох монохроматичних джерел у червоній або інфрачервоній областях спектра світла і оптоелектричного первинного перетворювача у відбитому світлі, розміщених з одного боку поверхні тіла людини.

Інформаційний сигнал приладу формується відношенням швидкості зменшення сигналу від гідралічного опору судин відтокові крові, а саме:

$$dk/dt = \Delta A / (C \cdot R), \quad (10)$$

де $\Delta A = A_M - A_0$ – амплітуда зміни кровонаповнення, R – питомий гідралічний опір судин відтоку крові, Δk – значення кровонаповнення, яке зростає на величину:

$$\Delta k = (\Delta V/V) 100 \%, \quad (11)$$

де V – об'єм досліджуваної ділянки тіла; C – кількісна характеристика еластичності кровонесних судин $C = \Delta V/P$; P – тиск у судинах за пережиму.

Блок-схему приладу ФПК(П)4 наведено на рис. 23, стенд для калібрування еталона — на рис. 24. Робочим еталоном, що використовувався під час атестації, був комплект стандартних світлофільтрів КНС-01. На рис. 25 наведено блок-схему калібрувального стенда приладу ФПК(П)-4.

Отримане значення відносного коефіцієнта оберненого світлорозсіювання складало діапазон вимірю-

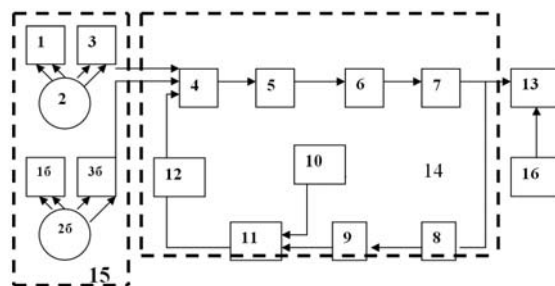


Рис.23. Блок-схема приладу ФПК(П)4:

- 1 – опромінювач, 2 – досліджувана ділянка тіла, 3 – оптоелектричний перетворювач (ОЕП), 4 – первинний перетворювач частот, 5 – попередній підсилювач, 6 – фільтр нижніх частот, 7 – вихідний підсилювач, 8 – фільтр інфранизких частот, 9 – буферний каскад, 10 – блок рівня відліку, 11 – блок компенсації постійної складової, 12 – блок балансування, 13 – ПК, 14 – вимірювальний блок, 15 – вимірювальні головки, 16 – програмне забезпечення

Fig.23. The block diagram of the photoplethysmograph ФПК(П)4:

- 1 – radiator, 2 – investigated area of the body; 3 – the opto-electrical converter (OEC), 4 – primary frequency converter, 5 – preamplifier, 6 – lowpass filter, 7 – output amplifier, 8 – infralow frequency filter, 9 – separating stage, 10 – the block of reference level; 11 – the block of constant component compensation; 12 – the block of balancing, 13 – PC; 14 – measuring block; 15 – measuring heads; 16 – software

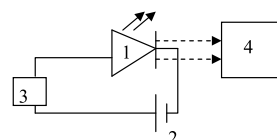


Рис.24. Блок-схема стенда для калібрування еталона: 1 – робочий еталон світла; 2 – джерело живлення; 3 – тестер; 4 – оптичний ватметр IT 703S

Fig. 24. The block diagram for calibration standard 1 – working standard of light; 2 – power supply; 3 – tester; 4 – optical power meter IT 703S

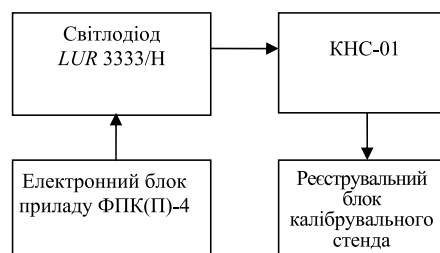


Рис. 25. Блок-схема калібрувального стенда

Fig. 25. Block diagram of calibration stand

Таблиця 6. Вихідний сигнал фотоплетизмо-графа (мкВ)

Table 6. The output signal of the the photoplethysmograph (mkV)

№ міри	1	2	3	4	5	6
Показник розсіювання світла, %	18,0	31,6	53,0	77,4	91,9	100,0
№ вимірювання	Вихідний сигнал фотоплетизмографа, мкВ					
1	1482	6493	14264	23444	29001	32031
2	1485	6492	14269	23449	29006	32029
3	1477	6497	14265	23450	29004	32035
4	1484	6500	14270	23445	29007	32034
5	1486	6499	14272	23451	29008	32033
Середнє значення	1482,8	6496,2	14268	23447,8	29005,2	32032,4

вання відносного коефіцієнта оберненого світлорозсіювання для довжини хвилі 630 нм, що дорівнював (15–100) %, отримані результати наведено у таблиці 6.

На основі таблиці 6 отримаємо градувальну криву як залежність вихідного сигналу приладу від відносного коефіцієнта оберненого світлорозсіювання в роботі приладу.

Градувальну криву, побудовано на основі МА, наведено на рис. 26.

Отже, можна отримати залежність відносного коефіцієнта оберненого світлорозсіювання від вихідного сигналу фотоплетизмографа:

$$KOSP \% = 2,6792 \cdot 10^{-3} V [mkV] + 14,247 \quad (12)$$

У результаті МА визначено границі допустимої абсолютної похибки: 2 % [7].

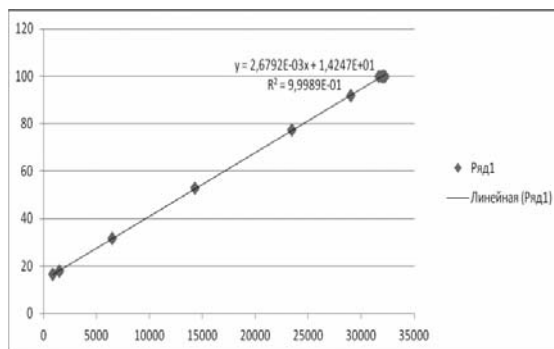


Рис. 26. Градувальна залежність фотоплетизмографа ФПК(П)-4

Fig. 26. The calibration curve of the photoplethysmograph ФПК(П)-4

ВИСНОВКИ

Створено прилади, розроблено та затверджено методики вимірювань, проведено повірку або метрологічну атестацію ЗВТ. За результатами МА проведено градування зазначених приладів. Отримано 3 свідоцтва на міри та робочі еталони:

1) Міри показника заломлення рідких речовин №№ 1-13, 2-13, 3-13, 4-13. Свідоцтво № 37-510-13.

2) Атенюатор оптичний із змінним ослабленням 57 мм, зав. № 4. Свідоцтво № 6705.

3) Атенюатор оптичний з фіксованим ослабленням 25 мм, зав. № 1. Свідоцтво № 6704.

Отримано 4 свідоцтва на прилади:

1) рефрактометр «Плазмонотест» № 01. Свідоцтво про ДМА № 37-509-13.

2) вимірювач середньої потужності випромінювання ІТ 1703S-01. Свідоцтво про ДМА № 8812.

3) Фотогемометр неінвазивний комп'ютерний (портативний) ФГНК(П)1-01. Свідоцтво про ДМА № 31-344-14.


4) Фотоплетизмограф 4-канальний комп'ютерний (портативний) ФПК(П)4. Свідоцтво про ДМА № 37-472/15.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Мерзвинский А.А. Влияние кровенаполнения на интерпретацию сигналов неинвазивного гемоглобинометра / А.А. Мерзвинский, И.В. Осадчив, И.И. Савченко и др. // Біологічна і медична інформатика та кібернетика (БМІК-2013), науково-технічна школа-семінар. Київ. 17–22 червня 2013 р. – Київ (Merzhvynsky A.A. Effect on blood supply on the interpretation of signals of a non-invasive haemoglobinometer / AA Merzhvynsky, I.V. Osadciw, I.I. Savchenko et al. // Biological and medical Informatics and Cybernetics (BMIC 2013), scientific-technical school-seminar. Kiev. 17–22 June 2013 – Kiev). – 2013. – С/Р. 51–60.
2. Будник М.М. Метрологічна атестація сенсорного при-

ладу «Плазмонотест» / М.М. Будник, Т.С. Лебедева, О. Б. Орленко, П.Б. Шпильовий, В.Г. Ткаченко // Біологічна і медична інформатика та кібернетика (БМІК-2013), науково-технічна школа-семінар. Київ. 17–22 червня 2013 р. – Київ (Budnik M.M. Metrological certification of the sensor instrument «Plazmonotest» / M.M. Budnik, T.S. Lebedeva, O.B. Orlenko, P.B. Shpilevoy, V.G. Tkachenko // Biological and medical Informatics and Cybernetics (BMIC-2013), scientific-technical school-seminar. Kiev. 17–22 June 2013 – Kiev). – 2013. – С/Р. 17–27.

3. ПМА Рефрактометры автоматические. Программа и методика метрологической аттестации. – Київ. –

- Укрметртестстандарт (PMC Automatic refractometers. Program and methods of metrological certification. – Kiev. – Ukrmetrteststandart). – 2002. – 32 с/р.
4. МПУ 145/11-2003. Метрологія. Рефрактометри автоматичні. Методика повірки (MVU 145/11-2003. Metrology. Automatic refractometers. The method of verification).
 5. Будник М.М. Градування 2-канального рефрактометра «Плазмонотест-2к» за результатами державної метрологічної атестації / М.М. Будник, М.І. Ходалковський // Біологічна і медична інформатика та кібернетика (БМІК-2014), науково-технічна школа-семинар. Київ. 2014 р. – Київ (Budnik M.M. Calibration 2-channel refractometer "Plazmonotest-2K" by the results of state metrological certification / M.M. Budnik, M.I. Khodakovsky // Biological and medical Informatics and Cybernetics (BMIC – 2014), scientific-technical school-seminar. Kiev. 2014 – Kiev). – 2014. – С/Р. 95–101.
 6. Будник Н.Н. Метрологическая аттестация неинвазивного гемоглобинометра / Н.Н. Будник, Я.Н.Тимошенко, В.А.Багацкий, А.А.Мержвинский, Н.И.Ходалковский // Біологічна і медична інформатика та кібернетика (БМІК-2014), науково-технічна школа-семинар. Київ. 2014 р. – Київ (Budnik N.N. Metrological certification of the non-invasive hemoglobinometer / N.N. Budnik, J.N. Timoshenko, V.A. Bogatskii, A.A. Merzhvynsky, N.S. Khodakovsky // Biological and medical Informatics and Cybernetics (BMIC–2014), scientific-technical school-seminar. Kiev. 2014 – Kiev). – 2014. – С/Р. 61–69.
 7. ПМА Фотоплетизмограф 4-канальний комп'ютерний (портативний) ФПК(П)4. Програма і методика метрологічної атестації. – Київ. – Укрметртестстандарт (PMC four-channel computer photoplethysmograph ФПК(П)4 (portable). Program and methods of metrological certification. – Kiev. – Ukrmetrteststandard). – 2015. – 37 с/р. 

Отримано / received: 29.01.2017.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Ю.П. Мачехінін (Україна).
Prof. Yu.P. Machehin, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.

Міністерство освіти і науки України

Національний університет «Львівська політехніка», УМГ «Львівтрансгаз», Академія метрології України, ДП «Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних і управляючих систем», Агенція з акредитації вищих навчальних закладів Республіки Сербської (Боснія і Герцеговина), Технічний університет — Варна (Болгарія), Університет Марії Кюрі-Склодовської (Польща)



III Міжнародна науково-практична конференція пам'яті професора Петра Столярчука «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи»

11-12 травня 2017 р. м. Львів

ТЕМАТИЧНІ НАПРЯМИ РОБОТИ КОНФЕРЕНЦІЇ:

- Організація та моніторинг якості освітнього процесу і підготовки фахівців
- Особливості і проблеми підготовки та перепідготовки фахівців
- Модернізація системи управління ВНЗ та забезпечення якості освітніх послуг: досвід й інновації
 - Взаємодія у системі «вища освіта – ринок праці»
 - Забезпечення доступності та неперервності освіти впродовж життя (life-long learning)
- Ступенева система підготовки фахівців та проблеми інтеграції національних систем у світовий простір
 - Розроблення, впровадження та поліпшення систем управління (відповідно до вимог стандартів ISO 9001, ISO 14001, ISO 22000, HACCP, OHSAS 18001 тощо): теорія, практика, проблеми
 - Інструменти прозорості Європейського простору вищої освіти у забезпеченні її якості
 - Інформатизація та комп'ютеризація управління якістю в освіті та промисловості
 - Розвиток наукової та інноваційної діяльності
 - Сучасні підходи в оцінюванні й забезпеченні якості продукції, послуг та персоналу
 - Стандартизація, оцінювання відповідності та акредитація в освіті й промисловості
 - Проблеми вдосконалення національної системи технічного регулювання
 - Метрологія та метрологічне забезпечення в промисловості
 - Теплові та теплофізичні вимірювання
 - Безпека продукції (процесів, послуг) для життя,

здоров'я та майна громадян, охорона довкілля та безпека народногосподарських об'єктів

▪ Поліпшення техніко-економічних показників виробництва, систем збирання, опрацювання й ефективного використання техніко-економічної інформації, створення нормативної бази ресурсозаощаджувальних технологій та інші напрями в галузі освіти і промисловості.

За поданими матеріалами будуть сформовані робочі секції конференції.

Робочі мови конференції: українська, англійська.

Для участі у роботі конференції необхідно до 29 березня 2017 року на адресу оргкомітету надіслати заяву, тези доповідей.

Тези доповідей будуть опубліковані до початку роботи конференції.

Планується проведення виставки, під час якої учасники конференції зможуть презентувати свою продукцію та послуги. У межах роботи конференції діятиме студентська секція.

КОНТАКТИ:

Сторінка конференції: <http://science.lp.edu.ua/uk/qm>
МАТЕРІАЛИ НАДСИЛАТИ НА АДРЕСУ: Лабораторія управління ВНЗ, Національний університет «Львівська політехніка», вул. Ст. Бандери, 12, 79013, м. Львів
E-mail: Qmconference@ukr.net

Контактні телефони:

тел. роб. (032) 258-22-24;
к.т.н., доц. Гунькало Алла Василівна: моб. +380672633789.
Вінярська Марія Романівна: моб. +380985154074.

УДК 536.531:004.855.5

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ГРАДУИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НТС-ТЕРМИСТОРОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С РАДИАЛЬНЫМИ БАЗИСНЫМИ ФУНКЦИЯМИ

С. Федин, доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем и технологий, Национальный транспортный университет, г. Киев,

И. Зубрецкая, аспирант кафедры компьютерно-интегрированных технологий и измерительной техники, Киевский национальный университет технологий и дизайна,

А. Поликарпов, кандидат технических наук, заместитель начальника отдела по испытаниям на безопасность, НТИЦ «УкрТЕСТ» ГП «Укрметртестстандарт», г. Киев

Исследование направлено на обеспечение точности построения градуировочных характеристик НТС-термисторов в рабочем диапазоне температур на основе адаптивных нейронных сетей с радиальными базисными функциями. В результате исследования установлено, что погрешность аппроксимации градуировочной характеристики термисторов с использованием RBF-сетей меньше пределов допустимой погрешности математической модели, используемой в программном обеспечении современных систем сбора и обработки измерительной информации. Обосновано использование RBF-сетей при тестировании программного обеспечения средств измерительной техники и автоматизации процедуры периодической калибровки НТС-термисторов на стадии эксплуатации.

The research is aimed to assure the calibration characteristics accuracy of the NTC-thermistors by using adaptive radial basis neural networks. To solve this problem physical and computational experiments have been conducted. As a result of

it the training sample for the temperature and resistance data have been defined and RBF-networks models have been developed that are designed for interpolation of the inverse converting function of NTC-thermistors (Table 3).

While fulfilling the condition of repeatability and reproducibility of the modelling results using statistic criteria MAD, MSE, MAPE and MPE, it has been determined that using RBF-networks allows assuring high accuracy defining of the thermistors calibrated characteristics in the operational range of temperatures (Table 5). It has been shown that operational margin of the neural network approximation of the thermistors calibrated characteristic is lower than the acceptable error of the mathematical model, which is used in the software of modern systems of collection and processing of the measurement information (Table 9, Fig. 6).

Using RBF-networks at testing software support of measurement instruments and automation of the procedure of the NTC-thermistors periodic calibration at the operational stage has been substantiated (Table 10, Fig. 10).

Ключевые слова: точность, градуировочная характеристика, рабочий диапазон температур, НТС-термистор, RBF-сеть, программное обеспечение.

Keywords: accuracy, calibration characteristics, operating range of temperature, RBF-network, NTC-thermistor, software.

Для решения задач измерения и регулирования температуры в различных системах температурного контроля, устройствах дистанционного управления, средствах контроля потоков жидкостей и газов широкое применение получили НТС-термисторы за счет высокой чувствительности, малой инерционности, компактности и широкого диапазона измерения температур [1, 2]. Эпоксидные инкапсулированные НТС-термисторы в рабочем диапазоне температур (–55...250) °С характеризуются нелинейностью функции преобразования температуры T в электрическое сопротивление R :

$$R(T) = R(T_0) \exp \left[\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right], \quad (1)$$

где T_0 — температура, в большинстве случаев равная 298,15 К (25 °С);



С. Федин



И. Зубрецкая



А. Поликарпов

β — постоянный коэффициент, характеризующий свойства материалов термисторов и принимающий значения в диапазоне (2000...6000) К [2].

Функция преобразования (1) относится к нормируемым метрологическим характеристикам и используется для определения величины температуры по измеряемому выходному значению сопротивления термистора:

$$T = F^{-1}(R), \quad (2)$$

где F^{-1} — обратная передаточная функция.

Процедура калибровки термисторов в условиях нелинейности функции преобразования является сложной задачей, при решении которой функцию (1) линеаризуют с использованием схемотехнических решений [3] или интерполяционной параметрической модели общего вида:

$$1/T = A + B \ln(R/R_0) + C [\ln(R/R_0)]^2 + D [\ln(R/R_0)]^3 + \dots, \quad (3)$$

где T — температура, К; R_0 — величина сопротивления термистора, 1 Ом или 1 кОм; $\{A, B, C, D, \dots\}$ — параметры модели, количество которых определяется порядком полинома N в зависимости от диапазона температуры и требуемой точности интерполяции [2].

Следует отметить, что с использованием полиномов от 2-го до N -го порядков построение индивидуальной градуировочной характеристики термистора осуществляется на отдельных участках рабочего диапазона. В настоящее время при градуировке термисторов в большинстве случаев применяют параметрическую модель Стейнхарта-Харта [4]:

$$T^{-1} = A + B(\ln R) + C(\ln R)^3. \quad (4)$$

Интерполяционная модель 3-го порядка (4) используется в программном обеспечении (ПО) систем сбора и обработки измерительной информации, при этом абсолютная погрешность математического преобразования сопротивления в температуру составляет 0,05 °С [5]. Результаты исследований, приведенные в работе [6], показывают, что выбор узловых точек интерполяции существенно влияет на величину погрешности измерения температуры при использовании моделей (3) и (4), параметры $\{A, B, C, D, \dots\}$ которых определяются методом наименьших квадратов [7, 8]. В работе [9] на основе критерия средней относительной погрешности интерполяции MPE (*Mean Percentage Error*) установлено, что для получения наиболее точного результата параметрической компенсации нелинейности передаточной функции NTC -термисторов достаточным является использование полиномиальной модели 4-го порядка. Применение полиномиального ком-

пенсатора нелинейности 5-го порядка позволяет получить меньшее значение среднеквадратической MSE (*Mean Squared Error*) и максимальной погрешностей измерения температуры по сравнению с полиномами 3-го и 4-го порядков на выбранном участке рабочего диапазона измерений [10].

В работах [10—12] показано, что универсальным методом компенсации нелинейности передаточной функции, позволяющим повысить точность результатов измерений по сравнению с полиномиальными моделями, является использование нейросетевого компенсатора (персептрона), обладающего свойством инвариантности к произвольному виду нелинейной функции. Однако результаты этих исследований получены в достаточно узком диапазоне температур (20...80) °С без применения других нейросетевых методов. О высокой точности построения градуировочной характеристики термисторов с использованием персептронов при сегментации рабочего диапазона на отдельные участки свидетельствуют также результаты нейросетевого моделирования, приведенные в работе [13].

Исследования свойств нейронных сетей показывают, что для равномерной аппроксимации любой непрерывной функции на компактном множестве значений может быть использовано семейство RBF -сетей [14]. В соответствии с ДСТУ $ISO/IEC 2382-34:2003$ RBF -сеть — прямослойная нейронная сеть, в которой каждый скрытый нейрон использует радиальную базисную функцию активации, а выходные нейроны реализуют линейные комбинации функций активации нейронов скрытого слоя [15]. Использование радиальных базисных функций Гаусса позволяет экспоненциально уменьшать локализованные нелинейности при аппроксимации сложных зависимостей [16].

Таким образом, критический анализ результатов различных исследований позволяет сделать предположение о том, что решение задачи повышения точности интерполяции градуировочной характеристики NTC -термисторов в рабочем диапазоне температур возможно на основе использования RBF -сетей.

Целью статьи является обеспечение точности построения индивидуальных градуировочных характеристик NTC -термисторов в рабочем диапазоне температур на основе использования адаптивных радиально-базисных нейронных сетей.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Получение измерительной информации для построения индивидуальных градуировочных характеристик NTC -термисторов TDK серии $B57861S$

($\beta = 3988 \text{ K}$, $R(T_0) = 10 \text{ кОм}$) осуществляли по методике, предложенной в работе [17]. Физический эксперимент проводили с использованием климатической камеры КРК 400 (рабочий диапазон температур $(-75...180)^\circ\text{C}$) и опорного платинового датчика температуры Pt100 (с погрешностью $\pm 0,1^\circ\text{C}$), установленного в центре КРК 400 и подключенного по четырехпроводной схеме измерения температуры к системе сбора и обработки данных Agilent 34970A. Эксперимент проводили для шести термисторов TDK (с рабочим диапазоном температур $(-55...155)^\circ\text{C}$), размещенных в центре КРК 400 и подключенных к Agilent 34970A. Шаг изменения температуры и времени был задан соответственно 5°C и 15 минут, а время выдержки температуры в установившемся режиме составляло 30 минут [17].

После подключения первичных преобразователей температуры выполняли настройку Agilent 34970A с использованием лицензионной версии ПО BenchLink Data Logger 3. Эта процедура включала: автоматическую идентификацию подключённых датчиков; определение конфигурации измерительных каналов датчиков (рис. 1); установку интервала сканирования преобразователей, равного 10 с.

Накопление входной и выходной измерительной информации выполняли в диапазоне $(-55...150)^\circ\text{C}$,

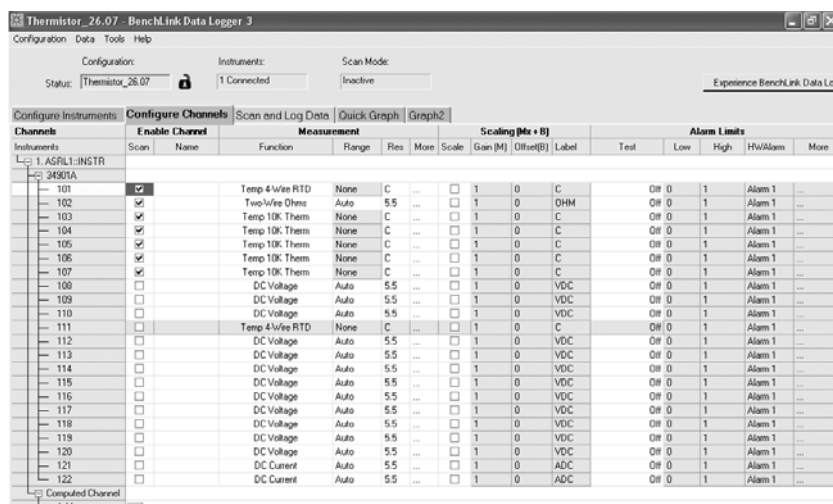


Рис. 1. Конфигурация датчиков: 101, 103–107 и 102 — каналы измерения температуры (датчик температуры Pt100, NTC-термисторы №2 — №6) и сопротивления (NTC-термистор №1)

Fig. 1. Sensor configuration: 101, 103–107 and 102 –measuring channels of temperature (temperature sensor Pt100, NTC-thermistor №2 — №6); and resistance measuring channel (NTC-thermistor №1)

поскольку диапазон измерения температуры системой сбора данных Agilent 34970A с использованием NTC-термисторов ограничен от -80 до 150°C [9]. Фрагмент полученной базы данных, включающей 3704 значения R и T , приведен в таблице 1.

ПРОВЕДЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Задачей вычислительного эксперимента является создание RBF-сетей для моделирования градуировочной характеристики термистора (2) и оценка их точности. RBF-сеть позволяет отобразить функцию из замкнутой области \mathcal{X}^{m_0} в пространство \mathcal{Y} , где m_0 — размерность входов обучающей выборки [16].

Таблица 1. Фрагмент базы данных значений R , Ом и T , $^\circ\text{C}$

Table 1. Values database fragment (R , Ohm and T , $^\circ\text{C}$)

Номер измерения	$R_{NTC \text{ №1}}$	T_{Pt100}	$T_{NTC \text{ №2}}$	$T_{NTC \text{ №3}}$	$T_{NTC \text{ №4}}$	$T_{NTC \text{ №5}}$	$T_{NTC \text{ №6}}$
1	963087,30	-55,438	-55,239	-55,199	-55,171	-55,225	-55,150
2	959686,94	-55,314	-55,020	-54,986	-54,966	-55,017	-54,950
3	949599,80	-55,167	-54,868	-54,828	-54,805	-54,857	-54,787
.
.
.
3702	186,59	149,545	149,545	149,253	149,070	149,435	149,052
3703	185,90	149,697	149,715	149,435	149,235	149,602	149,180
3704	185,34	149,810	149,867	149,621	149,454	149,791	149,417

Таблица 2. Фрагмент обучающей выборки RBF-сетей для термистора №1

Table 2. Fragment of RBF-network training sample for thermistor №1

Номер измерения	Вход $R_{NTC \text{ №1}}, \text{ Ом}$	Выход (отклик) $T_{Pt100}, \text{ К}$
1	963087,30	217,712
2	959686,94	217,836
3	949599,80	217,983
·	·	·
·	·	·
·	·	·
3702	186,59	422,695
3703	185,90	422,847
3704	185,34	422,960

Пусть $G: \mathbb{R}^{m_0} \rightarrow \mathbb{R}$ — ограниченная, непрерывная и интегрируемая функция, такая, что

$$\int_{\mathbb{R}^{m_0}} G(x) dx \neq 0.$$

Пусть G_G — семейство RBF-сетей, использующих функции вида:

$$F(x) = \sum_{i=1}^m w_i G((x - t_i) / \sigma),$$

где $w_i \in \mathbb{R}$ и $t_i \in \mathbb{R}^{m_0}$, $\sigma > 0$ для $i = 1, 2, \dots, m$.

Тогда для любой непрерывной функции $f(x)$ найдется RBF-сеть с множеством центров $\{t_i\}_{i=1}^m$ и общей шириной $\sigma > 0$, такая, что функция $F(x)$, реализуемая сетью с весовыми коэффициентами w_i и m скрытыми нейронами, будет близка к $f(x)$ по евклидовой норме L_p , $p \in [1, \infty]$. При этом в большинстве случаев функция $F(x)$ имеет вид [16]:

$$F(x) = \sum_{i=1}^m w_i \exp\left(-\|x - t_i\|^2 / 2\sigma^2\right).$$

Поскольку единица измерения температуры в зависимостях (1), (3), (4) принята по шкале Кельвина, то исходные данные, полученные в результате физического эксперимента (табл. 1), представляли в виде обучающей выборки RBF-сетей (табл. 2).

В системе статистического анализа данных STATISTICA 6.1 с использованием инструмента «Мастер решений» модуля «Нейронные сети» определяли диапазон нейронов скрытого слоя архитектуры RBF-сетей (рис. 2).

При моделировании всех возможных вариантов архитектур RBF-сетей с учетом максимального количества нейронов скрытого слоя 926 выполняли 10 повторных обучений 100 нейросетевых моделей (10x100=1000).

Для обеспечения сходимости и воспроизводимости полученных результатов нейросетевой аппроксимации градуировочной характеристики термистора №1 эксперимент повторяли трижды на одной и той же и дважды на двух различных аппаратных платформах. При этом из каждых ста нейросетевых моделей на первом этапе сохраняли 5 «лучших» RBF-сетей по критериям минимальных значений ошибок обучения, контрольной и тестовой (рис. 3).

Из полученных пяти моделей RBF-сетей

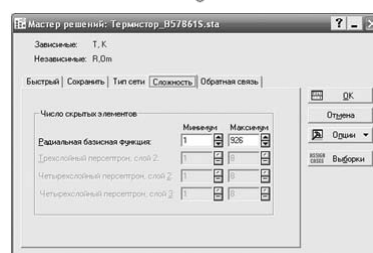
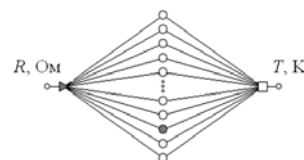


Рис. 2. Архитектура RBF-сетей и диапазон нейронов скрытого слоя

Fig. 2. RBF-network types and range of hidden layer neurons

N	Архитектура	Ошибка обучения	Контрольная ошибка	Тестовая ошибка
1	RBF 1:1-68-1:1	0,000010	0,000011	0,000011
2	RBF 1:1-87-1:1	0,000010	0,000011	0,000011
3	RBF 1:1-101-1:1	0,000010	0,000011	0,000010
4	RBF 1:1-111-1:1	0,000008	0,000009	0,000009
5	RBF 1:1-134-1:1	0,000007	0,000007	0,000008

Рис. 3. Пример результата обучения пяти «лучших» RBF-сетей в модуле «Нейронные сети» системы STATISTICA 6.1

Fig. 3. An example of training result for five «the best» RBF-networks in «Neural Networks» module of STATISTICA 6.1 system

	T, K.1	T, K.2	T, K.3	T, K.4	T, K.5
Среднее данных	322,0709	322,0709	322,0709	322,0709	322,0709
Ст.откл. данных	59,1135	59,1135	59,1135	59,1135	59,1135
Среднее ошибки	-0,0005	-0,0006	-0,0004	-0,0001	-0,0003
Ст.откл. ошибки	0,0365	0,0363	0,0343	0,0284	0,0237
Среднее абсолютной ошибки	0,0271	0,0259	0,0245	0,0204	0,0174
Отношение ст.откл.	0,0006	0,0006	0,0006	0,0005	0,0004
Корреляция	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Рис. 4. Статистические критерии адекватности RBF-сетей

Fig. 4. Statistic criteria of RBF-networks adequacy

Таблица 3. Наилучшие варианты архитектур RBF-сетей для аппроксимации градуировочной характеристики термистора №1

Table 3. The best RBF-networks architectures for approximation of calibrated characteristic for thermistor №1

Платформа Номер эксперимента	AMD Athlon II X2 240, 2,81 ГГц, 1,75 ГБ ОЗУ			AMD Turion II Dual-Core Mobile M520, 779 МГц, 3,00 ГБ ОЗУ	Intel Celeron CPU G530, 2,40 ГГц, 1,91 ГБ ОЗУ
	Серия 1	Серия 2	Серия 3	Серия 4	Серия 5
1	1-134-1	1-137-1	1-124-1	1-181-1	1-116-1
2	1-215-1	1-198-1	1-229-1	1-169-1	1-143-1
3	1-102-1	1-172-1	1-167-1	1-126-1	1-152-1
4	1-180-1	1-113-1	1-179-1	1-174-1	1-172-1
5	1-127-1	1-157-1	1-119-1	1-145-1	1-101-1
6	1-174-1	1-178-1	1-128-1	1-134-1	1-156-1
7	1-119-1	1-156-1	1-138-1	1-201-1	1-137-1
8	1-236-1	1-180-1	1-97-1	1-137-1	1-216-1
9	1-172-1	1-127-1	1-216-1	1-182-1	1-128-1
10	1-187-1	1-151-1	1-203-1	1-99-1	1-201-1

выбирали одну на основе минимального значения статистического критерия дисперсионного отношения, используемого, в частности, для проверки адекватности построенной градуировочной характеристики экспериментальным данным [10]. Так, например, результат отношения стандартного отклонения погрешности интерполяции к стандартному отклонению отклика T , K для RBF-сетей первого вычислительного эксперимента (рис. 3) позволил выбрать нейросетевую модель с архитектурой 1:134:1 (рис. 4).

Таким образом, в результате пяти серий вычислительных экспериментов из 5000 созданных моделей отобраны 50 «лучших» RBF-сетей, архитектуры которых приведены в таблице 3.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для каждой серии экспериментов с использованием отобранных архитектур RBF-сетей получали интерполированные (прогнозные) значения температуры, фрагмент которых для первой серии экспериментов представлен в таблице 4.

При этом достоверность полученных результатов нейросетевого моделирования подтверждается высокой значимостью коэффициентов парной корреляции между опорными значениями температуры датчика Pt100 (табл. 2) и интерполированными значениями температуры (рис. 5).

Таблица 4. Интерполированные значения T , K для первой серии экспериментовTable 4. Interpolate values of temperature T , K for the experiment original series

Номер измерения	Архитек- тура Вход R , Ом	1-134-1	1-215-1	1-102-1	1-180-1	1-127-1	1-174-1	1-119-1	1-236-1	1-172-1	1-187-1
1	963087,30	217,825	217,726	217,790	217,696	217,746	217,791	217,758	217,740	217,772	217,707
2	959686,94	217,865	217,765	217,837	217,765	217,798	217,838	217,802	217,796	217,819	217,777
3	949599,80	217,992	217,894	217,980	217,963	217,952	217,980	217,942	217,960	217,964	217,964
.
.
.
3702	186,59	422,685	422,711	422,651	422,737	422,668	422,724	422,686	422,699	422,710	422,726
3703	185,90	422,851	422,859	422,804	422,926	422,834	422,911	422,849	422,845	422,864	422,869
3704	185,34	422,987	422,969	422,928	423,084	422,970	423,068	422,981	422,961	422,985	422,965

Корреляции (Серия 1.sta)	
Отмеченные корреляции значимы на уровне p < 0,00001	
N=3704 (Построчное удаление ПД)	
Переменная	Т, К
1-134-1	0,999999919638
1-215-1	0,999999943495
1-102-1	0,999999906847
1-180-1	0,999999934319
1-127-1	0,999999914442
1-174-1	0,999999944250
1-119-1	0,999999915800
1-236-1	0,999999954660
1-172-1	0,999999932711
1-187-1	0,999999940731

Рис. 5. Значения коэффициентов парной корреляции

Fig. 5. Values of pair correlation coefficient

Оценку точности полученных результатов нейросетевого моделирования осуществляли в системе STATISTICA 6.1 с использованием критериев *MAD* (Mean Absolute Derivation), *MSE*, *MAPE* (Mean Absolute Percentage Error) и *MPE* [18]. При этом оценки критериев *MAD* и *MSE* получены на основе значений температуры по шкале Цельсия, а оценки критериев *MAPE* и *MPE* определены на основе значений температуры по шкале Кельвина (табл. 4):

$$MAD = 1/n \sum_{i=1}^n |T_{Pt100}^i - \hat{T}_{RBF}^i|, \quad (5)$$

$$MSE = 1/n \sum_{i=1}^n (T_{Pt100}^i - \hat{T}_{RBF}^i)^2, \quad (6)$$

$$MAPE = 100/n \sum_{i=1}^n |T_{Pt100}^i - \hat{T}_{RBF}^i| / T_{Pt100}^i, \quad (7)$$

$$MPE = 100/n \sum_{i=1}^n (T_{Pt100}^i - \hat{T}_{RBF}^i) / T_{Pt100}^i, \quad (8)$$

где T_{Pt100}^i — опорные значения температуры датчика Pt100, полученные в результате проведения физического эксперимента (табл. 1, 2); \hat{T}_{RBF}^i — интерполированные с использованием RBF-сетей значения температуры термистора №1 для 10-ти вычислительных экспериментов каждой серии.

Минимальные и максимальные значения критериев (5) — (8) для всех экспериментов приведены в табл. 5.

Пересекающиеся интервалы и порядок оценок статистических критериев (5)–(8) для пяти серий вычислительных экспериментов свидетельствуют о сходимости и воспроизводимости полученных результатов и характеризуют высокую точность нейросетевой аппроксимации градуировочной характеристики термистора №1 в рабочем диапазоне температур (табл. 5).

Полученные результаты нейросетевого моделирования позволяют сделать предположение о возможности использования RBF-сетей для автоматизации процедуры периодической калибровки термисторов на стадии эксплуатации, если приведенная погрешность температуры наименее точных RBF-сетей, полученных в каждой серии экспериментов, будет меньше приведенной

Таблица 5. Значения критериев *MAD*, *MSE*, *MAPE*, *MPE*Table 5. Criteria values of *MAD*, *MSE*, *MAPE*, *MPE*

Номер серии	<i>MAD</i> _{min}	<i>MAD</i> _{max}	<i>MSE</i> _{min}	<i>MSE</i> _{max}	<i>MAPE</i> _{min}	<i>MAPE</i> _{max}	<i>MPE</i> _{min}	<i>MPE</i> _{max}
1	0,0131	0,0192	0,00032	0,00065	0,00399	0,00583	–0,00021	0,00054
2	0,0145	0,0188	0,00037	0,00064	0,00441	0,00567	–0,00029	0,00017
3	0,0141	0,0212	0,00037	0,00064	0,00428	0,00649	–0,00010	0,00067
4	0,0152	0,0202	0,00041	0,00075	0,00464	0,00619	–0,00007	0,00021
5	0,0147	0,0193	0,00038	0,00066	0,00451	0,00589	–0,00012	0,00016

Таблица 6. Фрагмент значений температуры датчика Pt100 и термисторов №2 — №6

Table 6. Selected values of temperature for sensor Pt100 and thermistors №2 — №6

№ п/п	T_{Pt100}	$T_{NTC \text{ №2}}$	$T_{NTC \text{ №3}}$	$T_{NTC \text{ №4}}$	$T_{NTC \text{ №5}}$	$T_{NTC \text{ №6}}$
1	–55,029	–55,020	–54,986	–54,966	–55,017	–54,982
2	–50,142	–50,028	–49,992	–49,992	–50,021	–49,984
3	–45,110	–45,094	–45,061	–45,035	–45,084	–45,042
·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·
40	140,084	140,269	140,013	139,757	140,141	140,113
41	145,129	145,404	145,112	144,782	145,232	145,181
42	149,810	149,867	149,621	149,454	149,791	149,772

Таблица 7. Фрагмент значений температуры датчика Pt100 и RBF-сетей

Table 7. Selected values of temperature for sensor Pt100 and RBF-networks

№ п/п	T_{Pt100}	$T_{RBF\ 1-102-1}$	$T_{RBF\ 1-113-1}$	$T_{RBF\ 1-97-1}$	$T_{RBF\ 1-99-1}$	$T_{RBF\ 1-101-1}$
1	-55,029	-55,027	-55,033	-55,154	-55,100	-55,028
2	-50,142	-50,147	-50,146	-50,113	-50,147	-50,137
3	-45,110	-45,110	-45,117	-45,100	-45,106	-45,099
.
.
.
40	140,084	140,057	140,063	140,056	140,052	140,055
41	145,129	145,091	145,079	145,069	145,108	145,059
42	149,810	149,778	149,759	149,771	149,839	149,800

погрешности NTC-термисторов №2 — №6. Для проверки этого условия из базы данных (табл. 1) с шагом 5 °C в диапазоне (-55...150) °C были отобраны 42 значения температуры датчика Pt100 и термисторов №2 — №6 (табл. 6), а также значения температуры наименее точных RBF-сетей в соответствии с критерием *MAPE* (7) для пяти серий экспериментов (табл. 7).

Приведенную погрешность рассчитывали в виде [19]:

$$\gamma_{np}^{NTC} = ((T_{NTC} - T_{Pt100}) / T_p) \cdot 100, \quad (9)$$

$$\gamma_{np}^{RBF} = ((\hat{T}_{RBF} - T_{Pt100}) / T_p) \cdot 100, \quad (10)$$

где T_{NTC} и T_{Pt100} — соответственно значения температуры термисторов №2 — №6 и опорные значения температуры (табл. 6); \hat{T}_{RBF} — значения температуры, полученные с использованием RBF-сетей (табл. 7); T_p — протяженность рабочего диапазона температуры термисторов.

Максимальные значения приведенной погрешности температуры (9), (10) представлены в таблице 8.

Анализ данных (табл. 8) показывает, что любое максимальное значение приведенной погрешности температуры наименее точных по критерию (7) RBF-сетей в несколько раз меньше любого максимального значения приведенной погрешности измерения температуры с использованием термисторов №2 — №6.

Для оценки степени близости результата нейросетевой аппроксимации градуировочной характеристики термистора №1 к опорным значениям температуры определяли абсолютную погрешность на основе критерия *MAD* (5) с использованием отобранных $n = 42$ значений температуры наименее точных RBF-сетей (табл. 9).

Порядок оценок критерия *MAD* (табл. 5, табл. 9) свидетельствует о том, что пределы абсолютной по-

Таблица 8. Максимальные значения приведенной погрешности γ_{np} , %Table 8. Maximum values of error γ_{np} , %

NTC-термисторы		RBF-сети	
№2	0,1390	1-102-1	0,0205
№3	0,0732	1-113-1	0,0181
№4	0,1590	1-97-1	0,0142
№5	0,0634	1-99-1	0,0141
№6	0,0937	1-101-1	0,0166

Таблица 9. Значения критерия *MAD*, °CTable 9. Value of *MAD* criteria, °C

RBF-сети				
1-102-1	1-113-1	1-97-1	1-99-1	1-101-1
0,0230	0,0242	0,0267	0,0207	0,0235

грешности аппроксимации градуировочной характеристики термистора №1 на основе RBF-сетей не менее чем в 1,5 раза меньше допустимой абсолютной погрешности математического преобразования (4), используемого в системе сбора данных *Agilent 34970A* (рис. 6).

Таким образом, анализ полученных результатов позволяет рекомендовать применение RBF-сетей для построения индивидуальной градуировочной характеристики термисторов с абсолютной погрешностью математического преобразования значений сопротивления в температуру, не превышающей $\Delta T = 0,027$ °C в любой точке рабочего диапазона.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИ ТЕСТИРОВАНИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

В системах сбора и обработки данных, например, *Agilent 34970A* результат измерения сопротивления

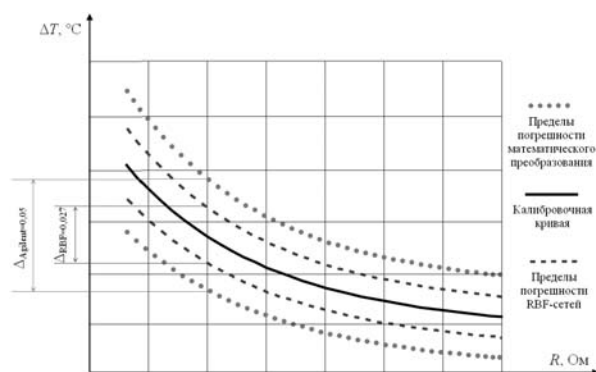


Рис. 6. Пределы абсолютной погрешности градуировочной характеристики NTC-термистора

Fig. 6. Absolute error limits of calibration characteristic for NTC-thermistor

термистора преобразуется в эквивалентную температуру с использованием встроенного ПО. В соответствии с [20] к ПО средств измерений относится компьютерная программа или совокупность программ, предназначенных для использования в средствах измерений и реализующих, в том числе, сбор, передачу, обработку, хранение и представление измерительной информации, а также программные модули и компоненты, необходимые для функционирования этих программ. При этом важной задачей обеспечения точности измерений является использование ПО, которое не оказывает влияния на метрологические характеристики средства измерений или это влияние является минимальным и не приводит к искажению измерительной информации. Оценка влияния ПО на метрологические характеристики реализуется путем проведения испытаний (тестирования) ПО средств измерений [20–22].

Один из эффективных способов тестирования ПО основан на сравнении опорного ПО (*reference software*) с тестируемыми программными продуктами. Сущность этого способа заключается в воздействии опорными данными на опорное ПО для получения соответствующих результатов и их сравнения с тестовыми результатами (рис. 7) [23].

Следует отметить, что разработка опорного ПО средств измерений является серьезной проблемой, поскольку направлено на решение задач, аналогичных тем, которые решаются с использованием эталонов физических величин, и должно соответствовать повышенным требованиям к вычислительным и функциональным характеристикам, подтвержденным (в ряде случаев независимыми методами) при неоднократном тестировании и применении.

Альтернативным способом является процедура, при которой опорными (модельными) результатами

воздействуют на специальную программу (генератор данных) для получения соответствующего набора «эталонных данных», используемых далее для тестирования ПО. Результаты, полученные тестируемым ПО при воздействии на него «эталонными данными», сравниваются с модельными результатами по ряду количественных характеристик для оценки свойств тестируемого ПО (рис. 8) [23].

При этом, как отмечено в работах [24, 25], наборы «эталонных данных» должны соответствовать таким диапазонам, при которых алгоритмы их получения и обработки являются устойчивыми. В качестве проверки устойчивости «эталонных данных» может выступать оценка критерия согласия χ^2 нормальному закону распределения значений критерия *MAPE* (7), полученных для опорных значений температуры датчика *Pt100* и интерполированных

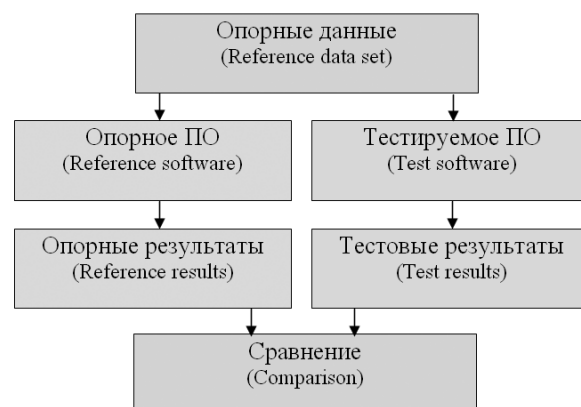


Рис. 7. Тестирование ПО средств измерений с использованием опорного программного продукта
Fig. 7. Software testing of measuring instruments with using of reference software

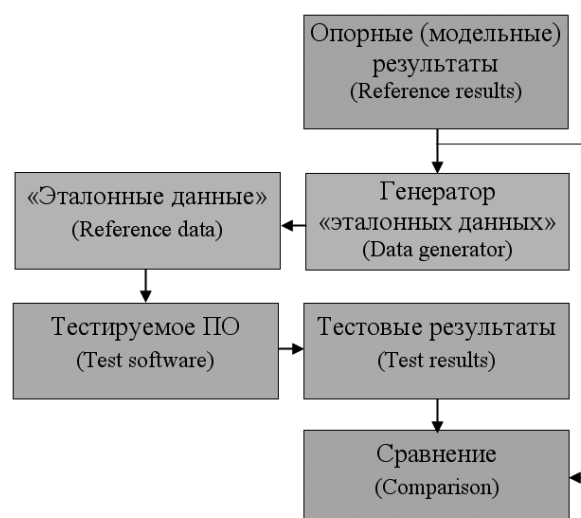


Рис. 8. Тестирование ПО средств измерений с использованием генерации «эталонных данных»
Fig. 8. Software testing of measuring instruments with using of «standard data» generation

Таблиця 10. Значення критерія *MAPE*, %Table 10. Value of *MAPE* criteria, %

Експеримент	Серія 1	Серія 2	Серія 3	Серія 4	Серія 5
1	0,00525	0,00524	0,00539	0,00469	0,00547
2	0,00438	0,00441	0,00463	0,00492	0,00541
3	0,00583	0,00472	0,00474	0,00568	0,00507
4	0,00497	0,00567	0,00470	0,00476	0,00452
5	0,00545	0,00515	0,00557	0,00508	0,00589
6	0,00460	0,00466	0,00550	0,00544	0,00494
7	0,00545	0,00506	0,00521	0,00467	0,00525
8	0,00399	0,00468	0,00649	0,00534	0,00451
9	0,00483	0,00541	0,00428	0,00464	0,00544
10	0,00460	0,00510	0,00440	0,00619	0,00474

с использованием *RBF*-сетей значений температуры.

Результаты оценок критерия *MAPE* и его статистические показатели для 10-ти экспериментов каждой серии приведены соответственно в таблице 10 и на рисунке 9.

Проверку гипотезы о согласии распределения значений *MAPE* (табл. 10) нормальному закону осуществляли в системе *STATISTICA 6.1* с использованием модуля «Подгонка распределений». При этом число интервалов гистограммы $n = 7$ определяли в соответствии с эмпирическим правилом Стёрджеса [19]

$$n = 1 + 3,322 \lg N,$$

где N — число единиц совокупности значений *MAPE*.

Полученные оценки χ^2 и p -уровня значимости (рис. 10) подтверждают гипотезу о согласии распределения значений критерия *MAPE* нормальному закону, о чем также свидетельствуют оценки асимметрии и эксцесса и их стандартные ошибки (рис. 11).

На основе статистических показателей (рис. 9) и нормального закона распределения (рис. 10) с использованием инструмента «Вероятностный калькулятор» системы *STATISTICA 6.1* установлено, что в одном отдельном вычислительном эксперименте практически невозможно получить «эталонные данные», отличающиеся от опорных результатов датчика *Pr100*, поскольку вероятность этого события равна 0,021.

Таким образом, достоверность генерирования устойчивых «эталонных данных» с использованием *RBF*-сетей при тестировании ПО средств измерений (рис. 8) соответствует 97,9 %.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенного исследования установлено, что использование радиально-базисных нейронных сетей, в отличие от персептронов и полиномиальных моделей, позволяет обеспечить

Описательные статистики (Погрешности_RBF_new.sta)					
Переменная	N набл.	Среднее	Минимум	Максимум	Стд.откл.
MAPE_RBF	50	0,00506	0,00399	0,00649	0,00051

Рис. 9. Статистические показатели критерия *MAPE*
Fig. 9. Statistic indexes of *MAPE* criteria

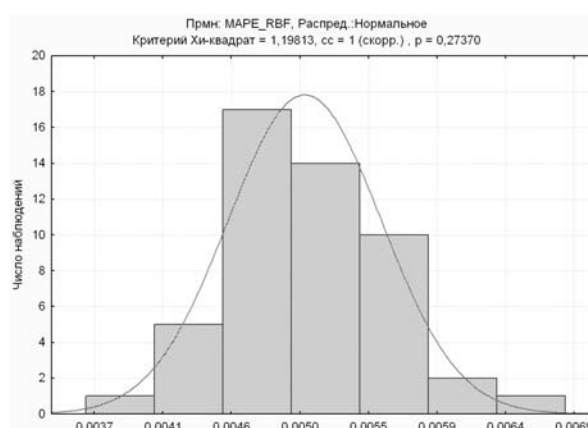


Рис. 10. Результат проверки статистической гипотезы по критерию χ^2

Fig. 10. Verification result of statistic hypothesis on χ^2 criteria

Описательные статистики (Погрешности_RBF_new.sta)				
Переменная	Асимметрия	Стд.ош. Асимметрия	Эксцесс	Стд.ош. Эксцесс
MAPE_RBF	0,452	0,337	0,143	0,862

Рис. 11. Оценки асимметрии и эксцесса
Fig. 11. Assessment of asymmetric and excess

высокую точность построения индивидуальной градуировочной характеристики *NTC*-термисторов для всего рабочего диапазона температур.

2. Показано, что применение *RBF*-сетей позволяет не менее чем в 1,5 раза уменьшить пределы погрешности аппроксимации градуировочной характеристики термисторов по сравнению с пределами допустимой погрешности математического преобразования,

равной 0,05 °C и соответствующей классической полиномиальной модели третьего порядка, которая используется в программном обеспечении систем сбора и обработки измерительной информации.

3. Предложен способ использования *RBF*-сетей в качестве генератора «эталонных данных» при проведении испытаний программного обеспечения средств измерений и автоматизации процедуры периодической калировки *NTC*-термисторов на стадии эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Библиотека электронных компонентов. Выпуск 5: Термисторы фирмы *SIEMENS & MATSUSHITA*. — М.: ДОДЕКА (Library of electronic components. Issue 5: Thermistors of SIEMENS & MATSUSHITA company. — М.: DODEKA), 1999. — 48 с/р.
2. Guide on Secondary Thermometry Thermistor Thermometry, 2014. — 19 p.
3. Беляев А. О. Схематехнические методы линеаризации температурных характеристик *NTC* терморезисторов: пассивные корректирующие цепи / А.О. Беляев // Известия ЮФУ (Bieliaev A. Schematic methods of temperature characteristic linearization for *NTC*-thermistors: passive correct catena / A. Bieläiev // SFU News). — 2009. — № 2. — С/Р. 112 — 119.
4. Steinhart John S. Calibration curves for thermistors / John S. Steinhart, Stanley R. Hart // Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts. — Volume 15, Issue 4, 1968. — P. 497–503.
5. Agilent 34970 A Data Acquisition/Switch Unit User Guide Edition 3.0. — Agilent Technologies, Inc., 2003. — 434 p.
6. White D.R. Propagation of Uncertainty with Calibration Equations / D.R. White, P. Saunders // Meas. Sci. Technol. — B.18, 2007. — P. 2157 — 2169.
7. Грановский, В. А. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях / В. А. Грановский, Т. Н. Сирая. — Л.: Энергоатомиздат (Granovsky V. Methods of experimental measuring data processing / V. Granovsky, T. Siraya. — L.: Energoatomizdat), 1990. — 288 с/р.
8. ГСИ. Градуировочные характеристики средств измерений. Методы построения. Оценка погрешностей. Рекомендация: МИ 2175-91. — СПб.: ВНИИМ им. Д.И. Менделеева (GSI. Calibration characteristics of measurement instruments. Construction method. Error assesment. Guidance: MI 2175-91. — SPb.: RSRIM. named after D.I. Mendeleev), 1992. — 55 с/р.
9. Федін С.С. Параметрична компенсація нелінійної температурної залежності *NTC*-термісторів / С.С. Федін, О.В. Салівон, І.С. Зубрєцька // Метрологія та прилади (Fedin S. Parametric compensation of non-linearity temperature dependence for *NTC*-thermistors / S. Fedin, O. Salivon, I. Zubretska // Metrology and instruments). — 2016. — №2. — С/Р. 41 — 46.
10. Запорожец О.В. Компенсация нелинейности полупроводникового терморезистора с помощью искусственной нейронной сети / О.В. Запорожец, Т.А. Овчарова, И.В. Руженцев // Системы обработки информации (Zapozhzhets O.. Compensation of non-linearity for semiconductor by using neural network / O. Zaporozhents, T. Ovcharova, I. Ruzhentsev // Systems of data processing). — 2015. — № 6 (131). — С/Р. 64—67.
11. Запорожец О.В. Компенсация нелинейности функции преобразования измерительных устройств с помощью искусственной нейронной сети / О.В. Запорожец, В.А. Коротенко, Т.А. Овчарова // Системы управління, навігації та зв'язку (Zapozhzhets O. Compensation of non-linearity converting function of measuring systems by using artificial neural network / O. Zaporozhents, V. Korotenko, T. Ovcharova // Systems of measurement, navigation and connecting). — 2010. — № 4(16). — С/Р. 99—103.
12. Дегтярев А.В. Адаптивная система компенсации нелинейности функции преобразования измерительных устройств на базе трехслойного перцептрона / А.В. Дегтярев, О.В. Запорожец, Т.А. Овчарова // Электротехнические и компьютерные системы (Degtiarev A. Adaptive system for compensation of converting function non-linearity for measuring systems based on using third layer perceptron / A. Degtiarev, O. Zaporozhents, T. Ovcharova // Electrotechnic and computer systems). — 2012. — № 06 (82). — С/Р. 235—241.
13. Федін С.С. Обеспечение точности аппроксимации *R/T*-характеристики *NTC*-термистора на основе нейросетевого моделирования С. С. Федін, И. С. Зубрєцька // Технология и конструирование в электронной аппаратуре (Fedin S. Accuracy assurance of *R/T*-characteristic for *NTC*-thermistors by using of neural network modeling / S. Fedin, I. Zubretskaya // Technology and contracting in electronic devices). — 2015. — № 4. — С/Р. 28—35.
14. Powell M.J.D. The theory of radial basis function approximation in 1990, in W. Light, ed., Advances in Numerical Analysis Vol. II: Wavelets, Subdivision Algorithms and Radial Basis Functions, Oxford: Oxford Science Publications. — 1992. — P. 105 — 210.
15. Інформаційні технології. Словник термінів. Ч. 34. Штучний інтелект. Нейронні мережі: ДСТУ ISO/IEC 2382-34:2003. — К.: Держспоживстандарт України (Information technologies. Vocabulary. Part 34. Artificial Intelligence. Neural networks: DSTU ISO/IEC 2382-34:2003. — К.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy), 2005. — 20 с.
16. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. [2-е изд.] — М.: Вильямс (Khaikin S. Neural network: full course / S. Khaikin. [2 issue.] — М.: Williams), 2006. — 1104 с/р.
17. Кошелева О.Б. Разработка методики сбора измерительной информации для градуировки полупроводниковых терморезистивных преобразователей температуры / О.Б. Кошелева, И.С. Зубрєцька, С.С. Федін // Системи обробки інформації (Koshelieva O. Development of measuring data acquisition and processing methodic for semiconductor thermistor temperature convertors / O. Koshelieva, I. Zubretska, S. Fedin // Systems of data processing). — 2015. — № 10 (135). — С/Р. 44—47.
18. Петрунин Ю.Ю. Информационные технологии анализа данных. Data Analysis: учебное пособие / Ю.Ю. Петрунин. — 2-е издание. — М.: КДУ (Petrinin Y.. Information technologies of data analysis. Data Analysis: educational aid / Y. Petrunin. — 2 issue. — М.: KDU), 2010. — 292 с/р.
19. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений. — 2-е изд. / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. — Л.: Энергоатомиздат (Novitsky P. Error assesment of measuring results. — 2 issue. / P. Novitsky, I. Zograf. — L.: Energoatomizdat), 1991. — 304 с/р.
20. Кудеяров Ю.А. Испытания (тестирование) программного обеспечения средств измерений: учебное пособие / Ю. А. Кудеяров. — М.: АСМС (Kudeiarov Y. Testing of software for measuring instruments: educational aid / Y. Kudeiarov. — М.: ASMA), 2010. — 106 с/р.
21. Величко О.Н. Нормативная база аттестации программного обеспечения средств измерений / О.Н. Величко // Измерительная техника (Velichko O. Normative base for validation of measurement instrument software / O.N. Velichko // Measuring technich). — 2007. — № 4. — С/Р. 12—17.
22. Рекомендация КООМЕТ. Программное обеспечение средств измерений. Общие технические требования. COOMET R/LM/10:2004., Албена (Guidance of COOMET. Measurement instrument software. General technic requirements. COOMET R/LM/10:2004., Albena). — 2004. — 10 с/р.
23. Кудеяров Ю.А. Проблемы оценки качества программного обеспечения СИ / Ю.А. Кудеяров, А.В. Шестаков // Мир измерений (Kudeiarov Y. Problems of quality assessment for measurement instrument software / Y. Kudeiarov, A. Shestakov // Measurement world). — 2012, №11. — С/Р. 9—13.
24. Слаев В.А. Аттестация программного обеспечения, используемого в метрологии: Справочная книга / В.А. Слаев, А.Г. Чуновкина. Под ред В.А. Слаева. — СПб.: Профессионал (Slaiev V. Validation of software used in metrology. Manual / V. Slaiev, A. Chunovkina. Red.by V. Slaiev. — St.Petersburg: Professional), 2009. — 320 с/р.
25. Кудеяров Ю.А. Программное обеспечение средств измерений: разработка и аттестация: учебное пособие / Ю.А. Кудеяров. — М.: МФТИ (Kudeiarov Y. Software asuuarance of measuring instruments: development and validation: educational / Y. Kudeiarov. — М.: MFTI), 2011. — 151 с/р.

Отримано / received: 08.12.2016.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. О.М. Величком (Україна).
Prof. O.N. Velychko, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published

УДК 620.93

МЕТОД ТА СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОТИ ЗГОРЯННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ У СПОЖИВАЧІВ КОМУНАЛЬНО- ПОБУТОВОГО СЕКТОРУ

І. Петришин, доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник,
Т. Присяжнюк, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
О. Бас, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
ДП «Івано-Франківськстандартметрологія»

Розглянуто актуальне питання переходу на облік природного газу в одиницях енергії та визначення теплоти згоряння у споживачів комунально-побутового сектору. Із проведеного аналізу випливає, що найбільш перспективним є застосування калориметричного методу. Запропоновано спосіб експрес-контролю теплоти згоряння із застосуванням установлених у споживача лічильника газу, лічильника води, котла або колонки, який доукомплектовано датчиками температури води. Розроблено методику проведення досліджень у споживача комунально-побутового сектору. Виконано метрологічний аналіз розробленого способу. Проведено практичну апробацію у виді порівняльного аналізу отриманого значення теплоти згоряння природного газу запропонованим способом та із застосуванням лабораторного хроматографа.

Considered actual issue of transition to accounting of natural gas in energy units, and determination of the calorific value consumers household sector. From the analysis it follows that the most perspective is the use of colorimetric method (Fig. 2). The proposed method is express control of combustion heat with established consumer gas meter, water meter, boiler, or column, which beefed up the water temperature sensors (Fig. 4). The technique of research in the consumer household sector was developed. Metrological analysis of the developed method was made. Spend the practical testing of a comparative analysis of the specific value of natural gas calorific value and the proposed method with the use of a laboratory chromatograph.



І. Петришин

Ключові слова: теплота згоряння природного газу, експрес-контроль, калориметр, похибка
Keywords: natural gas heat of combustion, express control, calorimeter, error

В Україні з 01.10.2015 набрав чинності Закон «Про ринок природного газу», в якому разом із визначенням правових засад функціонування ринку природного газу, заснованого на принципах вільної конкуренції, належного захисту прав споживачів та безпеки постачання природного газу, акцентовано увагу на тому, що облік природного газу та відповідно комерційні операції з природним газом повинні здійснюватися в одиницях енергії (кВт·год, Дж або калоріях). Наразі питання взаєморозрахунків у зазначених одиницях поки що не вирішено ні в промисловому, ні в комунально-побутовому секторах споживання. НАК «Нафтогаз» запропонував проект «Плану заходів із запровадження в Україні обліку природного газу в одиницях енергії», а також проект відповідної постанови Уряду щодо затвердження цього документа з перспективою його поступового впровадження з I кварталу 2017 року. Зокрема, в документі анонсовано, що власники вузлів обліку газу отримуватимуть рахунки за спожитий природний газ із приписаним значенням його теплоти згоряння. Розробленим планом передбачено заходи, що дозволять запровадити комерційний облік газу під час його видобування, транспортування, розподілу, постачання та використання в одиницях енергії.



Т. Присяжнюк



О. Бас

Потрібно відзначити, що в країнах Європейського Союзу вже давно запроваджено вимірювання енергетичної цінності, тобто енергії природного газу. Вітчизняне законодавство у сфері нормативного забезпечення прагне максимально відповідати Директивам ЄС у частині обліку газу в одиницях енергії [1], що сприятиме усуненню невідповідностей та забезпечить максимальну уніфікацію в процесі комерційного транзиту природного газу на територію ЄС. Перші кроки вже здійснено, зокрема, Україна, в рамках виконання Договору про заснування Енергетичного Співтовариства, приєдналася до єдиного простору регулювання торгівлі природним газом та взяла на себе зобов'язання виконувати всі рішення та процедурні акти, прийняті під час застосування Договору із часу набрання ним чинності. У цьому є ряд переваг, зокрема, споживачі будуть гарантовано захищені від постачання неякісного низькокалорійного газу з наявністю надмірної вологості або інших домішок.

Разом із тим НАК «Нафтогаз України» вже фактично здійснював купівлю й оплату газу в одиницях енергії з реверсних поставок газу, згідно з договорами з європейськими постачальниками. Окрім того, відповідно до умов діючих контрактів НАК «Нафтогаз» з ПАТ «Газпром», оплата за природний газ фактично здійснювалася за обсягом його енергії. Розрахунки виконувалися відповідно до об'єму, зведеного до стандартних умов, а ціна щомісяця перераховувалася відносно базової залежно від середньозваженого значення теплоти згоряння природного газу, який надходив до газотранспортної системи України за розрахунковий період. При цьому продаж природного газу учасникам газового ринку України продовжує здійснюватися залежно від об'єму в кубічних метрах, зведених до стандартних умов. При цьому потрібно зазначити, що за даними ПАТ «Укртрансгаз» теплота згоряння природного газу, що транспортується територією України протягом останніх років, перевищує значення 8 000 ккал/м³.

У дійсності за регіонами України в один і той же час теплота згоряння природного газу має різні значення, яка може змінюватися залежно від родовища, із якого здійснюється видобуток та газопостачання до споживача, від технологічного режиму його підготовки або від конкретної країни-експортера газу. Згідно з даними ПАТ «Укртрансгаз» протягом останнього року в Україні теплота згоряння природного газу змінювалася в межах від 7 940 до 8 696 ккал/м³, що становить різницю, більшу за 9 %, причому не встановлено чіткої залежності відносно конкретної області.

Питання вимірювання теплоти згоряння, яка використовується як множник у формулі для визначення енергії природного газу, з рекомендаціями щодо розроблення вузлів обліку енергії газу із застосуванням потокових густиномірів газу в промисловому секторі розглянуто в [2]. Наразі розробленням та дослідженням таких густиномірів, доукомплектованих давачем кількості діоксиду вуглецю (CO₂) в газі, з функцією обчислення теплоти згоряння займається ВКФ «Курс» (м. Дніпро) [3]. Процес переходу промислових споживачів на розрахунки за енергією газу довготривалий і вимагає додаткових заходів, оскільки, окрім доукомплектування вузлів обліку засобами визначення теплоти згоряння, необхідно провести модернізацію конфігурації програмного забезпечення коректорів та обчислювачів у частині зміни стандартних умов приведення об'єму газу за температурою з 20 на 0 °С.

Також залишається відкритим питання щодо стандартних умов приведення об'єму газу та отримання значення теплоти згоряння газу за проведення розрахунків у комунально-побутовому секторі. Згідно з вимогами ст. 2 Закону України «Про забезпечення комерційного обліку природного газу» постачання природного газу здійснюється за умови його комерційного обліку для населення, що проживає у квартирах та приватних будинках, у яких природний газ використовується: комплексно, у тому числі для опалення, — з 1 січня 2012 року; для підігрівання води та приготування їжі — з 1 січня 2016 року; лише для приготування їжі — з 1 січня 2018 року, — тобто на сьогодні не всі категорії споживачів забезпечені засобами обліку природного газу. Що ж стосується визначення теплоти згоряння газу, то для комерційних розрахунків у комунально-побутовій сфері поки що пропозиції у виді нормативно-правових актів відсутні.

Мета статті — розроблення методу та способу проведення періодичного експрес-контролю теплоти згоряння природного газу в комунально-побутовій сфері та оцінення його метрологічних характеристик.

Теплота згоряння природного газу визначається згідно з [4] із застосуванням таких методів: прямого вимірювання (калориметри згоряння), непрямого вимірювання (газова хроматографія) та опосередкованого вимірювання (на основі кореляційних залежностей). Наразі найбільшого поширення набув метод непрямого вимірювання із застосуванням хроматографа. Зокрема, акредитовані лабораторії у зазначеній галузі, а це 71 відомча лабораторія ПАТ «Укртрансгаз» та лабораторії регіональних

газових компаній, застосовують виключно цей метод. Згідно з ним проводять аналіз компонентного складу відібраного природного газу і розраховують теплоту згорання газу H (МДж/м³) за формулою:

$$H = \sum_{i=1}^n H_i \cdot x_i, \quad (1)$$

де H_i — теплотворна здатність i -го компонента газу, значення наведено у таблиці [5];

x_i — частка i -го компонента в природному газі.

Разом з тим проведені дослідження [6] засвідчують, що за визначення таким методом реального значення теплоти згорання не враховується наявність водяної пари в газі, вплив негорючих компонентів та вміст сірковмісних сполук. Окрім того, за спроби застосування зазначеного методу для проведення вимірювань у комунально-побутовому секторі очевидний ряд проблем, зумовлених високовартісним обладнанням, негативним впливом одоранту на хроматографічні колонки та необхідністю попередньої підготовки відібраної проби газу в частині забезпечення значно вищого надлишкового тиску газу, ніж у будинкових газових мережах, який надходить на вхід хроматографа для проведення коректного аналізу та розрахунку теплоти згорання. Для вирішення цієї проблеми в ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» розроблено універсальний пробовідбірник природного газу [6] на базі типового пробовідбірника — балона з рухомих поршнем. Розроблена конструкція пробовідбірника дає можливість його застосування для будинкових газопровідних мереж із різним значенням надлишкового тиску. Разом з тим принцип дії пробовідбірника передбачає стиснення відібраної проби природного газу з метою підвищення надлишкового тиску. Загальний вид пробовідбірника наведено на рис. 1.

Що стосується методу визначення теплоти згорання на основі кореляційних залежностей, то необ-

хідно відзначити, що наразі на ринку відсутні комерційні прилади такого призначення. Оскільки принцип роботи приладів опосередкованого вимірювання також передбачає вимірювання одного чи кількох фізико-хімічних параметрів або деяких компонентів складу газу, за їх застосування для побутових споживачів доведеться втручатися в роботу газоспоживаючих приладів, що певною мірою ускладнює проведення вимірювань. Із урахуванням вартості таких розроблень, передумов для стаціонарного встановлення у споживачів лічильників з функцією обчислення енергії природного газу поки що немає.

Із наявних методів найбільш оптимальним для побутових споживачів залишається метод прямого вимірювання із застосуванням газового калориметра, в якому відбувається безпосереднє спалювання порції природного газу. В Україні чинний ДСТУ ISO 15971:2014 [7], в якому описано методи визначення теплоти згорання природного газу нероздільними методами, тобто методами, які не вимагають визначення компонентного складу газу або розрахунків на основі складу газу, тобто цей стандарт поширюється на різні види калориметрів.

До калориметрів прямого згорання належать лише ті прилади, в яких теплова енергія, яка виділилася під час спалювання газу, об'єм якого обліковується газовим лічильником, витрачається на квазістаціонарне, тобто рівномірне підвищення температури теплоносія (води або повітря). Теплота згорання в таких приладах визначається за допомогою термометричних вимірювань. Основною перевагою калориметрів прямого згорання є те, що вони не мають обмежень на компонентний склад газу. На рис. 2 наведено класичну схему типового калориметра прямого згорання [8].

Принцип його дії полягає в тому, що природний газ, теплоту згорання якого необхідно визначити, надходить через лічильник газу зі стабільною



Рис. 1. Загальний вид поршневого пробовідбірника природного газу з двома балонами-пробовідбірниками
Fig. 1. General view of the natural gas piston sampler with two balloons-samplers

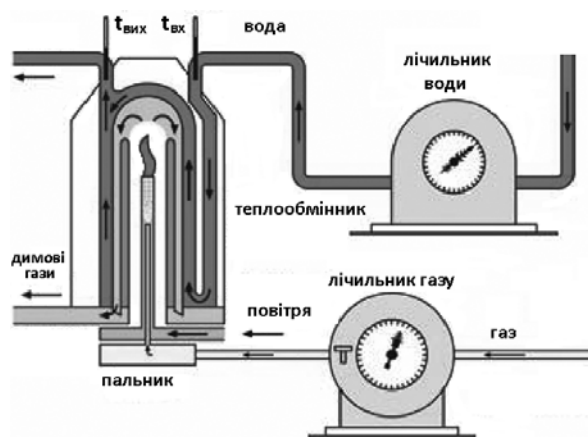


Рис. 2. Схема калориметра прямого згорання
Fig. 2. Scheme of the direct combustion calorimeter



Рис. 3. Схематичне зображення процесу горіння з виділенням теплоти згоряння

Fig. 3. Schematic representation of the burning process with heat of combustion

об'ємною витратою до пальника. В останньому здійснюється процес постійного горіння, який забезпечується стабільним значенням температури димових газів. Для підтримання належного процесу горіння необхідне кратне надходження первинного повітря. Загальну схему процесу горіння газу зображено на рис. 3 [9].

Теплова енергія, яку містять у собі продукти згоряння передається теплоносієві (воді), який безперервно протікає через теплообмінник і обліковується лічильником води (рис. 2). Температура води вимірюється на вході ($t_{вх}$) і на виході ($t_{вих}$) з теплообмінника. Теплота згоряння газу в калориметрі прямого згоряння визначається як:

$$H = V_W \cdot c_W \cdot (t_{вих} - t_{вх}) / V_G, \quad (2)$$

де V_W — об'єм води;

c_W — теплоємність води, складає 4,187 кДж/(кг · К);

$t_{вх}, t_{вих}$ — температури води;

V_G — об'єм проби газу, приведений до стандартних умов.

Отже, основними елементами калориметричного методу експрес-контролю теплоти згоряння природного газу є лічильник газу, лічильник води, газовий пальник з теплообмінником та вимірювачі температури. Зазвичай використання природного газу для підігрівання води та/або опалення приміщення передбачає наявність у споживача газового котла або колонки; окрім того, такі споживачі забезпечені лічильниками води та газу. Завдання полягає у максимальному застосуванні стандартизованих наявних рішень та мінімальному втручанні в роботу систем газо- та водопостачання. Відповідно, для комплектування методу та способу в цілому, недостаючими елементами залишаються вимірювачі температури води. Оскільки використання вбудованих у систему водонагрівання котлів терморегуляторів потребує їх індивідуального градування та врахування нелінійної залежності, авторами запропоновано доукомплектувати діючий котел або колонку стандартними вимірювачами температури шляхом монтажу цих вимірювачів у перехідну муфту, трійник або кран, на вхідний водопровід холодної води

та вихідний — гарячої води. Отже за реалізації запропонованого способу застосовуються встановлені у споживача лічильник газу, лічильник води, котел (колонка), доукомплектований давачами температури. Разом із тим, підготовка та процес роботи запропонованого способу експрес-контролю не вимагає втручання у систему газопостачання, що неможливе без представників газозбутової організації. Лічильник газу в цьому випадку застосовується за прямим призначенням — для обліку спожитого газу, який спалюється у пальнику котла або колонки. Застосування водогрійних приладів (котла або колонки), встановлених у споживача, з урахуванням їхньої конструкції та принципу дії, дає перевагу у виді готової моделі калориметра, оскільки процес горіння в котлі та колонці відповідає умовам, аналогічним принципу роботи калориметра прямого згоряння природного газу. Окрім того, під час згоряння газу в газовому калориметрі відбувається врахування вмісту домішок та вологості, яка міститься у газі, тобто умови спалювання газу ідентичні умовам використання природного газу в споживача.

Для забезпечення коректних умов проведення достовірного дослідження запропонованим методом на етапі підготовки необхідно забезпечити кратний повітрообмін у приміщенні, де встановлено газоспоживальне обладнання, для підтримання стабільного процесу горіння та повного згоряння. Окрім того, запропоновано використання переносного реєстратора умов навколишнього середовища (вимірювачів температури та вологості) для контролю зміни стану мікроклімату в приміщенні, в якому проводиться дослідження.

Структурні елементи запропонованого способу експрес-контролю теплотворної здатності природного газу наведено на рис. 4.

Послідовність проведення експрес-контролю теплоти згоряння природного газу в споживача така.



Рис. 4. Структурні елементи схеми способу експрес-контролю теплоти згоряння природного газу в споживача комунально-побутового сектору
Fig. 4. Structural elements scheme the express method of natural gas heat of combustion to domestic household sector consumer

Вхідний та вихідний підвідні водопроводи до котла (колонки) від'єднують і послідовно в них монтують вставні муфти (крани або трійники) з вимірювачами температури води. У разі застосування котла для опалення приміщення, контур опалення на період проведення досліджень переводять у закрите положення. Перед проведенням досліджень вмикають котел (колонку) і переводять його у режим підігрівання води. Котел (колонка) повинен пропрацювати не менше 10 хв для виходу на режим за відсутності теплової інерції та отримання репрезентативних даних. Як уже зазначалося, необхідно забезпечити кратний повітрообмін у приміщенні.

Наступний етап полягає у проведенні підготовчих робіт безпосередньо до початку дослідження. Проводять вимірювання температури води у вхідному та вихідному трубопроводах, фіксують початкові на момент дослідження показання лічильників газу та води. На період проведення досліджень забороняється проводити неконтрольований відбір води або газу, наприклад, спалювання його в газовій плитці. Вмикають котел (колонку) і запускають процес горіння. Для проведення коректного вимірювання необхідна стабільна витрата води через контур теплообмінника котла, в цьому випадку підігріта вода безперервно, для забезпечення стабільної витрати, відбирається з трубопроводу гарячої води відкриттям крану гарячої води. Проводять дослідження з метою визначення теплоти згоряння природного газу, в процесі досліджень проводиться періодичний контроль температури. У разі досягнення температури гарячої води максимально можливого значення для такого режиму роботи котла (колонки) дослідження припиняють. При цьому фіксують кінцеві показання лічильників води і газу та різницю температур вхідної холодної та вихідної гарячої води. На основі отриманих даних визначають значення теплоти згоряння газу згідно із залежністю, описаною формулою (2).

Після визначення теплоти згоряння природного газу необхідно оцінити максимально можливе значення похибки, з якою проведено дослідження. Оцінка похибки визначення теплоти згоряння проводиться з урахуванням похибок складових розробленого методу експрес-контролю, елементами якого є: лічильник газу, лічильник води, вимірювачі температури. Для лічильників газу границі похибки встановлено в ДСТУ EN 1359:2012 [11] і становлять: (+3 %; -6 %) для діапазону об'ємної витрати газу від q_{\min} (мінімальна витрата) до q_t (перехідна витрата) і (± 3 %) для діапазону об'ємної витрати газу від q_t до q_{\max} (максимальна витрата). Дослідження теплоти згоряння природного газу для

підвищення точності необхідно проводити в діапазоні об'ємної витрати від q_t до q_{\max} . Для лічильників води вимоги точності наведено в ДСТУ 3580-97 [12] і містяться в таких межах: (± 5 %) для діапазону від q_{\min} до q_t і (± 2 %) для діапазону від q_t до q_{\max} . Що стосується вимірювачів температури (для прикладу W1209), то в технічному описанні на них вказано, що максимальне значення похибки складає 0,1 °C в діапазоні від 0 до 100 °C. Отже, максимально можливе значення похибки розробленої системи дорівнюватиме:

$$\delta = \sqrt{(3)^2 + (2)^2 + (0,1)^2} = \pm 3,6 \text{ \%}.$$

У цьому випадку потрібно відзначити, що в ГОСТ 5542-87 [13] зазначено технічні вимоги до фізико-хімічних та інших показників природного газу, що подається для споживання в комунально-побутовий сектор. Зокрема, нижча теплота згоряння природного газу становить не менше від 7 600 ккал/м³ (31,8 МДж/м³); діапазон значень числа Воббе складає від 9 850 до 13 000 ккал/м³ (від 41,2 до 54,5 МДж/м³); допустиме відхилення числа Воббе від номінального значення не більше за ± 5 %.

Складовою частиною похибки числа Воббе, яке характеризує режим горіння паливників газового обладнання та їх теплову потужність, є похибки визначення теплоти згоряння природного газу та його густини. Значення густини газу на момент проведення досліджень можна отримати в газозбутовій організації. Отже, запропонований метод та спосіб експрес-контролю теплоти згоряння в комунально-побутовому секторі з розрахованою точністю $\pm 3,6$ %, задовольняє вимогам [13] у частині нормування значень числа Воббе. Для підвищення точності методу необхідно проводити індивідуальне калібрування з визначенням метрологічних характеристик лічильників газу та води в конкретних значеннях вимірюваних величин із внесенням поправок.

У рамках апробації проведено практичне дослідження цього методу. В ДП «Івано-Франківськ-стандартметрологія» надходять скарги від споживачів щодо низької якості природного газу, який їм постачається. Найчастіше звертають увагу на колір природного газу в процесі його спалювання та час нагрівання води. Необхідно відзначити, що умови спалювання газу в споживача, тобто умови використання теплоти газу, відношення до теплотвірної здатності цього ж газу не мають. Отже, якщо до споживача надходить якісний газ з високим значенням теплотвірної здатності, а споживач, у свою чергу, некоректно його спалює, тобто з недостатньою кількістю кисню в приміщенні або подавання

газу здійснюється через забруднені пальники, відповідно він не зможе використати усю енергію, яку містить у собі газ. Очевидно, що справедливе і зворотне твердження: якщо до споживача надходить газ із низьким значенням теплоти згорання, то, незважаючи на ідеальні умови його спалювання, теплоти він віддасть менше.

Отже, для отримання репрезентативних даних вирішено провести порівняльний аналіз отриманого значення теплоти згорання із застосуванням лабораторного хроматографа та запропонованим способом. Для цього проведено відбір представницької проби газу із будинкового газопроводу за допомогою поршневого пробовідбірника (рис. 1). Згідно з методикою проведення відбору проби проводився контроль надлишкового тиску в трубопроводі, який склав допустиме значення 1,8 кПа. Відібрана проба доставлена в лабораторію для проведення аналізу. Наступним етапом стало безпосереднє спалювання газу в споживача у котлі *Ariston Clas PREMIUM EVO 24 FF* із зазначеною максимальною тепловою потужністю $N = 24$ кВт. Дослідження проводилися протягом 60 хв. За результатами експерименту отримано такі вихідні дані:

- об'єм спожитого газу за показаннями лічильника *Gallus 2000 G 2,5* склав $2,576 \text{ м}^3$;
- об'єм води згідно з показаннями лічильника *LK-15X* склав $0,531 \text{ м}^3$;
- різниця температур води на вході й виході котла за показаннями вимірювача *W1209* склала $38,8 \text{ }^\circ\text{C}$ за вхідної температури холодної води $16,9 \text{ }^\circ\text{C}$;
- температура в приміщенні, де проводилися вимірювання, змінювалася від $22,1$ до $22,4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Розраховане згідно з формулою (2) значення теплоти згорання газу становить 8003 ккал/м^3 ($33,487 \text{ МДж/м}^3$; $9,299 \text{ кВт} \cdot \text{год/м}^3$). Отримане значення теплоти згорання хроматографічним методом склало 8214 ккал/м^3 ($34,369 \text{ МДж/м}^3$; $9,544 \text{ кВт} \cdot \text{год/м}^3$). Відносне відхилення стосовно значення теплоти згорання, отримане у процесі аналізу хроматографом, складає $2,6 \%$. Отже, з високою ймовірністю можна стверджувати, що природний газ відповідає за показниками теплоти згорання нормованим значенням згідно з вимогами [13].

Разом з тим, як зазначалося, для кожного газоспоживаючого приладу в технічній документації

на нього вказується номінальне значення теплової потужності N , яка, у свою чергу, визначається згідно з [14]:

$$N = q \cdot H / 3600, \quad (3)$$

де q — об'ємна витрата газу, що споживається, $\text{м}^3/\text{год}$, яка визначається як

$$q = V_G / \tau, \quad (4)$$

де τ — час, протягом якого проводять дослідження.

Відповідно, з урахуванням отриманого значення теплоти згорання та формул (3), (4), проведено розрахунок теплової потужності котла *Ariston Clas PREMIUM EVO 24 FF*, яка склала $23,956 \text{ кВт}$, що підтверджує встановлене в технічному описанні значення.

ВИСНОВОК

Із урахуванням вимог чинного законодавства щодо запровадження обліку природного газу в одиницях енергії, запропоновано метод та спосіб експрес-контролю теплоти згорання, природного газу в споживачів комунально-побутового сектору, укомплектований із елементів, встановлених у споживача: лічильника газу, лічильника води та котла (колонки) з додатково вмонтованими вимірювачами температури води. Для запропонованого способу розроблено методику проведення досліджень та проведено метрологічний аналіз. На розроблений спосіб подано заявку на патент. Також проведено практичну апробацію запропонованого методу, відхилення відносно хроматографічного аналізу склало — $2,6 \%$. Отже, перехід обліку газу на новий, тобто за якісними показниками, рівень має на меті реалізувати доступ споживача до можливості проводити менеджмент, тобто управління своїми енергетичними ресурсами, що в сучасному аспекті безперечно передбачає енергозощадження цих ресурсів, у тому числі й природного газу. Споживач, навіть і недосвідчений в питаннях енергоефективності, природно оцінюватиме заходи, які йому потрібно вжити, щоби зощадити свій капітал, що прямо пропорційно залежатиме від коригування ним кількості спожитої енергії природного газу. І таке поступове енергозощадження, яке свідомо почнеться від споживача, тобто від найнижчої кінцевої ланки споживання енергоресурсів, з наростаючим темпом підніматиметься за східцями газових господарств, підприємств, організацій і призведе до енергоефективного суспільства і держави в цілому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Регламент (ЄС) № 715/2009 Європейського Парламенту та Ради від 13 липня 2009 року про умови доступу до мереж транспортування природного

газу та яким скасовується Регламент (ЄС) (Regulation (EC) no 715/2009 of the European parliament and of the Council of 13 July 2009 on conditions for access

- to the natural gas transmission networks and repealing Regulation (EC)) № 1775/2005. — 29 с/р.
2. Петришин І.С. Аналіз і оцінка метрологічних характеристик вимірювальної системи енергетичної цінності природного газу / І.С. Петришин, Т.І. Присяжнюк, Н.І. Петришин, О.А. Бас, В.М. Данів // Метрологія та прилади (Petryshyn I.S. Analysis and evaluation metrological characteristics natural gas energy value measurement system / I.S. Petryshyn, T.I. Prysyazhnyuk, N.I. Petryshyn, O.A. Bas, V.M. Daniv // Metrology and instruments). — 2015. — № 4 (54). — С/Р. 21 — 27
 3. Бородин В.И. Поточковий плотномер природного газу акустический «Курс-02» с функцией вычисления теплоты сгорания / В.И. Бородин, В.М. Кравцов, А.И. Кузнецов, С.Г. Нетесин // 14-тий Міжнародний форум «Паливно-енергетичний комплекс України: сьогодні та майбутнє» круглий стіл «Запровадження в Україні обліку обсягів природного газу в одиницях енергії» 09.11.2016. — Київ. (Borodin V.I. The natural gas densitometer acoustic «Course 02» with the function of calculating the calorific value / V.I. Borodin, V.M. Kravtsov, A.I. Kuznetsov, S.G. Netesin // 14-th International Forum Fuel and Energy Complex of Ukraine: Present and Future round table introduction in Ukraine accounting of natural gas in terms of energy 09.11.2016. — Kyiv.).
 4. Природний газ. Визначення енергії (ISO 15112:2007, IDT): ДСТУ ISO 15112:2009. — [Чинний від 2011-01-01]. — К.: Держспоживстандарт України (Natural gas. Energy determination. (ISO 15112:2007, IDT): DSTU ISO 15112:2009. — [Effective as of 2011-01-01]. - К.: Derzhspozhyvstandart Ukraine), 2010. — 54 с/р.
 5. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств природного газа, его компонентов и продуктов его переработки: ГОСТ 30319.1-96. — [Введен с 1997-07-01]. — М.: Изд-во стандартов (Natural gas. Methods of calculation of physical properties. Definition of physical properties of natural gas, its components and processing products: GOST 30319.1-96. — [Effective as of 1997-07-01]. — М.: Standart Publishing House), 1997. — 16 с/р.
 6. Петришин І.С. Дослідження енергетичної цінності природного газу в споживачів комунально-побутового сектору / І.С. Петришин, Т.І. Присяжнюк, О.А. Бас // Метрологія та прилади (Petryshyn I.S. Research the natural gas energy value to domestic household sector consumers / I.S. Petryshyn, T.I. Prysyazhnyuk, O.A. Bas // Metrology and instruments). — 2015. — № 6 (56). — С/Р. 42 — 49.
 7. Природний газ. Вимірювання властивостей. Теплота згоряння та число Воббе (ISO 15971:2008, IDT): ДСТУ ISO 15971:2014. — [Чинний від 2015-05-01]. — К.: Держспоживстандарт України (Natural gas. Measurement of properties. Calorific value and Wobbe index (ISO 15971:2008, IDT): DSTU ISO 15971:2014. — [Effective as of 2015-05-01]. - К.: Derzhspozhyvstandart Ukraine), 2014. — 50 с/р.
 8. PTB – Mitteilungen. Special Issue. Metering Energy and Fluid Flows // Volume 119 (2009) No 1. Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig — 50 p.
 9. Природний газ. Обчислення теплоти згоряння, густини, відносної густини і числа Воббе на основі компонентного складу (ISO 6976:1995/Cor.2:1997, Cor.3:1999, IDT): ДСТУ ISO 6976:2009. — [Чинний від 2011-01-01]. — К.: Держспоживстандарт України (Natural gas. Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe index from composition. (ISO 6976:1995/Cor.2:1997, Cor.3:1999, IDT): DSTU ISO 6976:2009. — [Effective as of 2011-01-01]. — К.: Derzhspozhyvstandart Ukraine), 2010. — 55 с/р.
 10. Poinot T., Veynante D. Theoretical and Numerical Combustion. Second Edition. — Erdwards, 2005. — 540 p.
 11. Лічильники газу мембранні. Загальні технічні умови (EN 1359:1998, A1:2006, IDT): ДСТУ EN 1359:2012. — [Чинний від 2013-05-01]. — К.: Держспоживстандарт України (Diaphragm gas meters. General specifications EN 1359:1998, A1:2006, IDT):. DSTU EN 1359:2012. — [Effective as of 2013-05-01]. — К.: Derzhspozhyvstandart Ukraine), 2013. — 54 с/р.
 12. Лічильники холодної та гарячої води крильчасті. Загальні технічні вимоги.: ДСТУ 3580-97. — [Чинний від 1998-07-01]. — К.: Держспоживстандарт України (Tangential flow turbine meters for cold and hot water. General technical requirements: DSTU 3580-97. — [Effective as of 1998-07-01]. — К.: Derzhspozhyvstandart Ukraine), 1998. — 29 с/р.
 13. Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия: ГОСТ 5542-87. — [Чинний від 1988-01-01]. — М.: ИПК, Издательство стандартов (Natural gases for commercial and domestic use. Specifications: GOST 5542-87. — [Effective as of 1988-01-01]. — М.: IPK, Standart Publishing House), 1987 — 6 с/р.
 14. Плити газові побутові. Загальні технічні умови: ДСТУ 2204-93. — [Чинний від 1995-05-01]. — К.: Держспоживстандарт України (Domestic gas ranges. General specifications: DSTU 2204-93. — [Effective as of 1995-05-01]. — К.: Derzhspozhyvstandart Ukraine), 1993. — 23 с/р. ■

Отримано / received: 09.02.2017.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н. Г.Ю. Народницьким (Україна).
D. Sc. (Techn.) G.Yu. Narodnytsky, Ukraine, recommended this article to be published.

УДК 658.51/52

СИСТЕМНО-ІНФОРМАЦІЙНА БАЗА МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ВИРОБНИЦТВА

І. Руженцев, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри метрології та технічної експертизи, Харківський національний університет радіоелектроніки,

С. Луцький, докторант Харківського національного автодорожнього університету,

В. Фет'ків, заступник директора підприємства «Житлобуд-1», м. Харків

Розглянуто методологію системно-інформаційного підходу до метрологічного забезпечення техніко-економічних показників виробництва.

In this paper the methodology for system-information approach to metrological support of technical and economical parameters of production

Ключові слова: системно-інформаційна база, дискретно ймовірний логарифмічний показник, метрологічне забезпечення.

Keywords: system-information base, discrete likely logarithmic index, metrological support

У нових економічних умовах, що визначаються ринковими відносинами, підприємства організують виробництво і збут продукції з метою задоволення потреб ринку і отримання прибутку. Це стає реальним тоді, коли виробник має можливість систематично коригувати свої науково-технічні, виробничі й збутові плани відповідно до змін ринкової кон'юнктури, маневрувати власними матеріальними та інтелектуальними ресурсами.

Така можливість ґрунтується на точних, своєчасних та економічно обґрунтованих розрахунках техніко-економічних показників (ТЕП) роботи підприємства. У процесі проведення розрахунків необхідні прикладні та фундаментальні дослідження, застосування високоефективних нових математичних моделей та алгоритмів. Все це дозволить підприємству добре орієнтуватися у ході та в перспективі техніко-економічного розвитку виробництва.

Вирішення цієї проблеми можливо здійснити за фундаментального підходу до метрології як науки, з використанням нових принципів та положень, що перебувають на стику різних наукових напрямів, і на цій основі створити нові високоефективні системи метрологічного забезпечення (МЗ) у виробництві. Серед таких підходів перспективним є використання системно-інформаційного (СІ) підходу. У ньому використовуються основні ідеї теорії інформації стосовно розвитку складних виробничих систем на етапах життєвого циклу виробу.

Аналіз сучасного стану й тенденції розвитку машинобудівного виробництва та його МЗ виявив спільні етапи еволюції автоматизації їх процесів та систем, зокрема, такі, як механізація, автоматизація, комплексна автоматизація, комп'ютеризація, інтегрована комп'ютеризація, самоорганізація.

Подальше вирішення завдань поліпшення ТЕП виробництва й їх оцінка, вдосконалення МЗ та його інтеграція й комп'ютеризація неможливі без фундаментального підходу до науки метрології, без використання нових міжгалузевих принципів і підходів,



І. Руженцев



С. Луцький



В. Фет'ків

що перебувають на стику різних наукових напрямів, які забезпечують створення нових високоефективних виробництв. Цей механізм може бути реалізовано за створення наукових принципів і СІ підходів до метрології з позиції нового розуміння енергоречовинно-інформаційного підходу:

* будь яке елементарне відхилення фундаментальних атрибутів в універсумі тягне за собою безліч результатів елементарних «відображень»;

* універсум є «системою відображень» $\delta(m, e, i, t, r) \rightarrow \{\delta o\}$, де $\delta m, \delta e, \delta i, \delta t, \delta r$ — елементарні маса, енергія, інформація, час і простір, $\{\delta o\}$ — безліч результатів елементарних «відображень»;

* елементи «системи відображень категоріальних атрибутів» за своєю природою дискретні, вони є найменшими порогами чутливості один до одного.

Дискретність простору зумовлена кінцевими числовими значеннями фундаментальних фізичних констант, які пов'язують усі процеси навколишнього фізичного світу.

За СІ підходом математична модель процесу або системи може бути представлена на двох рівнях: перший — як елемент x (поріг чутливості) множини можливого стану X , який має стохастичну природу, і другий — як детермінована величина відношення X/x , яка характеризує кількість можливих станів системи (складність). Отже, зміст такої моделі процесу або системи — це сукупність змісту стохастичної та детермінованої її частин, які визначають числову оцінку можливого стану процесу або системи відносно до порогу їх чутливості та вірогідність переходу з одного стану до іншого. Стохастична частина такої моделі несе у собі інформацію невизначеності (за Шенноном) порогу чутливості властивостей процесів і систем, а детермінована — інформацію складності цих властивостей.

Джерелом змісту інформації ймовірної фізичної величини [2] x_i є математичне очікування прояву властивостей процесів і систем $M = \sum_{i=1}^n x_i p_i$.

В основі принципів СІ підходу до процесів та систем лежать наукові положення [1].

У відповідності з ними інформація ймовірної фізичної величини властивостей процесів і систем визначається як

$$I = \ln \frac{M}{\sigma} = \ln \frac{\sum_{i=1}^n x_i p_i}{\sqrt{D}},$$

де D — дисперсія, s — середньоквадратичне відхилення ймовірної фізичної величини.

Джерелом змісту інформації детермінованої фізичної величини є параметри X_j властивостей процесів і систем:

$$\Delta x_{ij} \in X_j, i = 1, \dots, N,$$

де Δx_{ij} — допуск, X_j — розмір, $i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, K$.

Формула для рахунку інформації детермінованої фізичної величини властивостей процесів і систем визначається як $I = \ln(X_j / \Delta x_{ij})$.

За відомого закону розподілу ймовірності (будь-якого) для стохастичних систем формула рахунку дискретно-ймовірної інформації дійсного параметра визначається із теоретичної викладки:

$$I_{\text{си}} = \ln \frac{L_{\text{ном}}}{\Delta x}, \Delta x = L_i - L_{\text{ном}},$$

$$I_{\text{си}} = \ln \frac{L_{\text{ном}}}{\Delta x} = \ln L_{\text{ном}} - \ln \Delta x = I_{\text{ном}} - \ln(L_{\text{ном}} - L_i),$$

тоді

$$I_{\text{си}} = I_{\text{ном}} - \ln(L_{\text{ном}} - \sum_{i=1}^k \frac{L_i m_i}{n}) = I_{\text{ном}} - \ln(L_{\text{ном}} - \sum_{i=1}^k L_i p_i),$$

$$I_{\text{си}} = I_{\text{ном}} - \ln(L_{\text{ном}} - \sum_{i=1}^k L_i e^{\frac{I_{sh}}{p_i}}), \quad (1)$$

де $I_{\text{си}}$ — кількість ДІ інформації за СІ-підходом, I_{sh} — кількість інформації за К. Шенноном, $L_{\text{ном}}$, L_i — номінальний та i -тий розміри фізичної величини.

Далі за текстом за формулою (1) розраховувати- мемо кількість дискретно-ймовірної (ДІ) інформації як числову оцінку дискретно-ймовірного логарифмічного показника (ДІЛП).

Доказ (1) засвідчує, що формула для рахунку ДІЛП параметра за СІ-підходом об'єднує формули К. Шеннона і Р. Хартлі і має як детерміновану, так і стохастичну частини.

Мета цієї роботи — аналіз системно-інформаційної бази метрологічного забезпечення техніко-економічних показників комп'ютерно-інтегрованих виробництв, яка дозволяє точно, своєчасно, економічно обгрунтовано розрахувати динаміку техніко-економічних показників виробництва.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

СІ база МЗ ТЕП виробництва є технологією, яка дозволяє точно, своєчасно, економічно обгрунтовано розрахувати динаміку ТЕП виробництва. Розроблена технологія МЗ характеризується: науковим методом розрахунку логарифмічної міри фізичних величин; засобами у виді створених дискретно-ймовірних моделей процесів та систем, які втілюють метод; способами використання засобів (комп'ютерні технології); процесами, які реалізують вимірювання контрольованих параметрів у виробництві. Структуру СІ бази МЗ ТЕП виробництва представлено на рисунку.

Розроблена методологія СІ підходу до процесів і систем формулює наукові положення (п. 1, 2 за текстом) та закономірності (п. 3, 4, 5) між числовими

значеннями, які мають виробничі контролювані параметри, та ТЕП виробництва.

1. Будь-який спосіб виробництва відображається через систему кореляційних дискретно-ймовірних інформаційних зв'язків властивостей об'єктів виробництва.

2. Властивості виробничого об'єкта мають кінцеві числові значення ДІЛП, який найбільш об'єктивно оцінює трудомісткість за його створення.

3. Числове значення ДІЛП кількості конструкторської документації (КД), технологічної системи (ТС), технологічного процесу (ТП) кореляційно пов'язано з витратами матеріальних, трудових і енергетичних ресурсів на виробництво виробів у системі зв'язків властивостей об'єктів, які беруть участь у технологічному процесі. Виробничий об'єкт є тим більш економічним у виробництві, чим меншим числовим значенням ДІЛП кількості, який він має, забезпечується його службове призначення, —

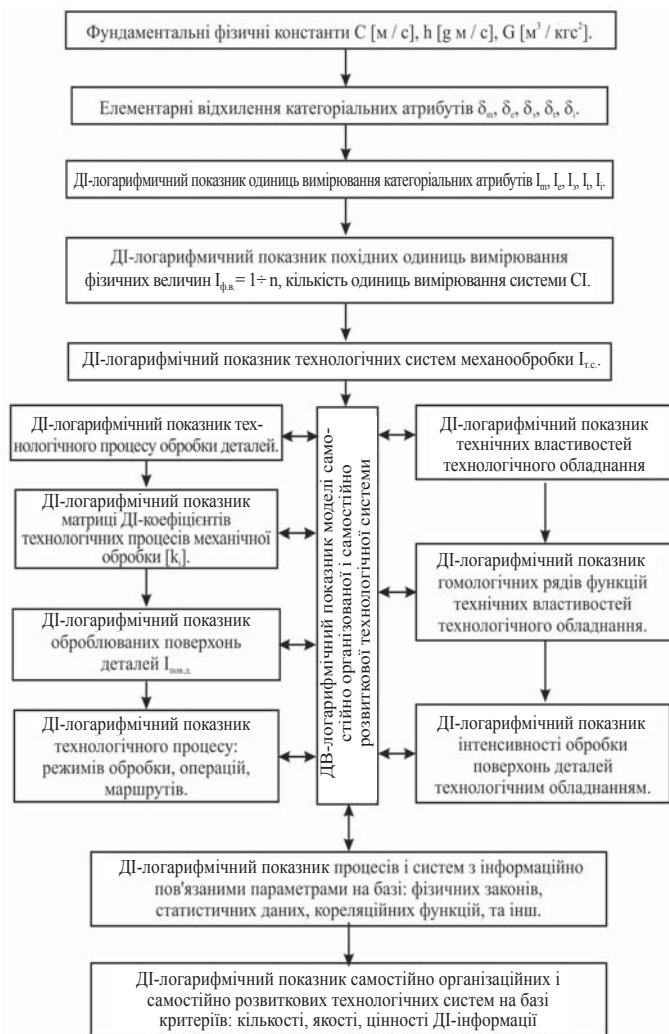
$$З \text{ (мат, труд, енерг)} = f(\text{ІКД; ІТС; ІТП})$$

4. Числове значення ДІЛП якості виготовленого виробу кореляційно пов'язано з показниками втрат або надлишку ДІЛП кількості у системі зв'язків властивостей об'єктів виробництва, які беруть участь у технологічному процесі, — П (якос) = $f(\Delta \text{надлиш; } \Delta \text{втрат})$.

5. Показники ДІЛП цінності кореляційні показникам ефективності виробництва виробів у системі інформаційних зв'язків властивостей об'єктів виробництва, які беруть участь у технологічному процесі, — П (ефект) = $f(\text{Іякост; Іціннос})$.

Виявлені кореляційні зв'язки показників ДІЛП кількості, якості та цінності процесів та систем виробництва є базовими для обчислення ТЕП виробництва з використанням комп'ютерних технологій.

Основними елементами СІ-бази МЗ ТЕП виробництва є ДІЛП контрольованих параметрів КД виробу, технологічного устаткування, ТП та критерії інформаційної інтенсивності, які є абсолютними інформаційними показниками виробництва. Комп'ютерні



технології обчислення функціональних показників якості обробки деталі з якісними показниками виробу та з ТЕП виробництва на основі СІ-бази дозволяють у реальному масштабі часу контролювати динаміку ефективності та ТЕП виробництва, необхідні для прийняття управлінських рішень.

ВИСНОВКИ

Основним інструментом покращення техніко-економічних показників виробництва є використання системно-інформаційної бази метрологічного забезпечення. Вона є елементом супроводження, формування і прийняття управлінських рішень по виробництву.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Луцкий С.В. Теоретические основы системно-информационного подхода к технологическим процессам и системам (моногр.) / С.В. Луцкий — Харьков ХНАДУ. — 2008. — 238 с/р.
2. Руженцев І.В. Міра дискретно-ймовірної інформації при досліджен-

- ні процесів та систем / І.В. Руженцев, С.В. Луцкий, В.П. Фетків // Метрологія та прилади (Ruzhentsev I.V., Lutsky S.V., Fetkiv V.B. The measure information in the study of processes and systems // Metrology and instruments). — № 3(59). — 2016. — С/Р. 43—46.

Отримано / received: 20.01.2017.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. М.Д. Кошевий (Україна).
Prof. M.D. Koshevyi, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.

УДК 531.083.8 (045)

ОЦЕНИВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ

Е. Володарский, доктор технических наук, профессор Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»,

Л. Кошечая, доктор технических наук, профессор Национального авиационного университета, г. Киев,

А. Гуржий, кандидат технических наук, доцент Национального университета биоресурсов и природопользования, г. Киев

Рассмотрены статистические принципы, способствующие пониманию и разработке надежных методов приписывания значений параметров стандартного образца, включая оценку связанной с ними неопределенности и установления их метрологической прослеживаемости.

We consider the statistical principles that promote understanding and the development of reliable methods for assigning values to the parameters of a standard sample, including the assessment of uncertainty associated with them and establishment their metrological traceability.

Ключевые слова: стандартный образец, аттестованное значение, однородность, стабильность, модель результата измерений, неопределенность аттестованного значения.

Keywords: a standard sample, certified value, homogeneity, stability, model of measurement results, the uncertainty of certified values.

Для того чтобы быть сопоставимыми внутри лаборатории, между лабораториями и во времени, измерения должны быть прослеживаемы к соответствующим опорным значениям. В соответствии с [1] для обеспечения прослеживаемости используются стандартные образцы (СО). Производство, характеристика (процедура определения значений свойств) и сертификация (аттестация) СО являются ключевой деятельностью в совершенствовании и поддержании всемирной когерентной системы измерений. Стандартные образцы играют ключевую роль в реализации концепции прослеживаемости результатов измерений в химии, биологии, физике и других областях науки, имеющих дело с материалами и/или образцами. СО предназначены для воспроизведения, хранения и передачи величин, характеризующих состав и свойства веществ (материалов) при калибровке, градуировке средств измерений (измерительных каналов), аттестации и контроле показателей точности методик измерений и испытаний, оценивании профессионального уровня лабораторий. Их используют для калибровки, контроля качества и валидации методик [2, 3], а также для приписывания значений другим материалам, которые, в свою очередь, также могут быть стандартными образцами. Лаборатории используют СО в качестве легкодоступных эталонов для установления прослеживаемости результатов своих измерений к международным эталонам, а также для поддержания или установления прослеживаемости к условным шкалам, таким как октановое число, шкалы твердости и pH. Некоторые чистые вещества также используются для поддержания международной температурной шкалы.



Е. Володарский



Л. Кошечая



А. Гуржий

В связи с изложенным выше представляет интерес разработка методов, которые приведут к установленным значениям параметров, имеющим прослеживаемость к соответствующим опорным значениям. В первую очередь представляют интерес методы оценивания однородности и стабильности СО.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Исследование однородности

Качество СО зависит, в первую очередь, от правильной оценки однородности партии. Теоретически материал считается идеально однородным относительно определенного характеристического параметра, если отсутствуют расхождения между значениями этого параметра, определенными для различных частей материала. Это определение можно распространить и на отдельные экземпляры СО. Однако, из-за неизбежного влияния случайных величин, на практике материал признается однородным, если это расхождение пренебрежимо мало по сравнению с составляющей неопределенности, полученной, например, в результате характеристики материала. Исследование однородности необходимо при выполнении сертификации (аттестации) партии для демонстрации достаточной однородности между экземплярами. Вопросы обеспечения качества имеют такое же важное значение, как и определение остаточной дисперсии между экземплярами, которая является составляющей частью неопределенности и подлежит включению в оценку неопределенности значения параметра СО. Даже если ожидается, что материал однородный, как в случае с растворами, оценка межэкземплярной неоднородности все равно необходима. При сертификации (аттестации) твердых СО, включая суспензии и осадки, необходимо предусмотреть исследование однородности внутри экземпляров для определения минимальной представительной пробы.

Для определения оптимального числа проб и числа параллельных измерений при исследовании однородности рекомендуются статистически обоснованные методы, в которых обычно учитывается невозможность обнаружения какой-либо неоднородности, например, из-за неопределенности измерений. Кроме того, число экземпляров зависит от размера партии, поскольку число проб, отобранных из партии, должно считаться представительным для всей партии. Это требование должно быть сопоставлено с неопределенностью измерений, являющейся (в условиях повторяемости) функцией стандартного отклонения повторяемости измерений. Число необхо-

димых дополнительных проб зависит преимущественно от исследования межэкземплярной однородности.

Таким образом, одной из составляющих, которые определяют точность и достоверность результатов испытаний или/и калибровки является прослеживаемость измерений до единиц СИ. Однако существуют случаи, особенно при аналитических измерениях, когда соответствующей измеряемой величине единицы СИ не существует. В этой связи СО должны иметь установленные метрологические характеристики:

- аттестованное значение;
- границу погрешности и/или расширенную неопределенность аттестованного значения СО.

Кроме того, выдвигаются соответствующие требования, связанные с областью применения СО, к однородности и стабильности по отношению к одному или нескольким определенным свойствам образцов материалов (веществ). Это позволяет использовать их в измерительном процессе, направленном на обеспечение прослеживаемости.

Отличительной особенностью при исследовании твердых материалов СО, включая суспензии и осадки, является необходимость оценивать также и внутриэкземплярные однородности.

Обобщенная модель аттестованного значения СО x_{CRM} имеет вид:

$$x_{CRM} = x_{char} + \delta_{bb} + \delta_{lts} + \delta_{sts} \quad (1)$$

где x_{char} – установленное значение аттестуемой характеристики экземпляра материала; δ_{bb} – погрешность, обусловленная рассеянием между экземплярами; δ_{lts} – погрешность от долгосрочной нестабильности; δ_{sts} – погрешность от краткосрочной нестабильности (обычно при транспортировке).

Модель единичного результата измерения параметра i -го экземпляра совокупности СО, воспроизводящего характерные свойства вещества, имеет вид:

$$x_{ij} = \mu + A_i + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

где μ – математическое ожидание характерного свойства вещества; A_i – отклонение воспроизводимого значения в i -м экземпляре СО от μ , характеризующее неоднородность между экземплярами стандартных образцов, полученных из одного и того же материала (вещества); ε_{ij} – реализация случайной погрешности измерения; j – текущий результат из выборки в n измерений [4].

Как видно из выражения (2), непосредственная оценка характеристики однородности СО невозможна, поскольку в этом случае отклонение A_i от математического ожидания μ смешивается со случайной составляющей погрешности измерения.

В соответствии с выражением (2) рассеивание получаемых результатов при исследовании i -го экземпляра составит:

$$\sigma_{(x_i)}^2 = \sigma_A^2 + \sigma_\varepsilon^2. \quad (3)$$

При исследовании совокупности СО в условиях повторяемости [5] можно считать, что $\sigma_{(\varepsilon_i)}^2 = \sigma_r^2$. Это рассеивание обусловлено только влиянием случайной величины. Тогда информацию о неоднородности СО будет нести дисперсия среднего результатов измерений характеристик n стандартных образцов:

$$\sigma^2(\bar{x}) = \sigma_A^2 + \sigma_r^2 / n. \quad (4)$$

Число проб, необходимых для определения однородности между экземплярами СО, обычно находится в пределах 10...30, но не менее 10.

Если субстанция, из которой изготавливается СО, является гомогенной, то число экземпляров (образцов), которые отбираются для исследования, практически не ограничено. Для раздельного оценивания влияния случайной погрешности измерения и неоднородности СО используется классический однофакторный дисперсионный анализ, структурная организация которого приведена на рисунке.

Случайным образом отобрано n экземпляров СО, характерные свойства каждого из которых были измерены m раз. Исходным является массив данных x_{ij} ($j = \overline{1, m}$) из $(n \times m)$ элементов, которые, как уже отмечалось, из-за влияния случайных величин и неоднородности СО будут рассеяны по отношению к центру:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{n \cdot m} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij}. \quad (5)$$

Аналитически это рассеивание записывается следующим образом:

$$SS = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x_{ij} - \bar{\bar{x}})^2,$$

что может быть представлено в виде двух составляющих:

$$SS = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})^2, \quad (6)$$

где $\bar{x}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_{ij}$ – среднее результатов измерения характерного свойства i -го экземпляра СО.

Первое слагаемое в правой части выражения (6) определяется только влиянием случайной величины (случайной погрешности измерений), а второе – обусловлено и неоднородностью между экземплярами СО, и случайной погрешностью измерения.

Обозначим первое слагаемое Q_1 , а второе – Q_2 . Тогда отношения Q_1 к числу степеней свободы $\nu_{within} = n(m-1)$ и Q_2 к числу степеней свободы $\nu_{among} = (n-1)$ дадут оценки соответствующих дисперсий:

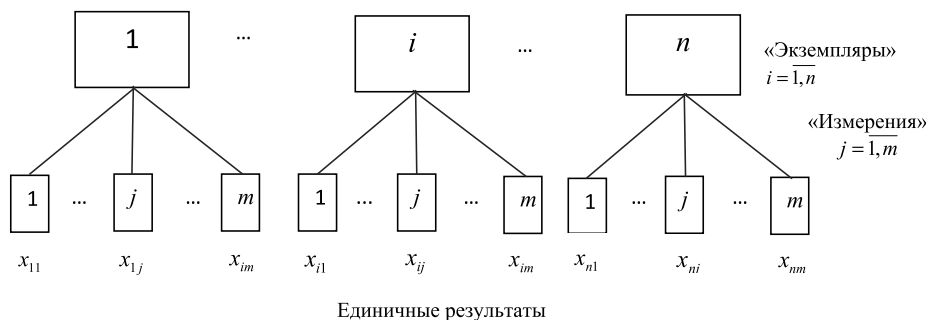
- внутриэкземплярного рассеивания MS_{within} ,
- между средними значениями результатов измерений характерных свойств СО в исследуемой совокупности MS_{among} .

Исходя из выражения (4), получим оценку дисперсии между экземплярами СО как

$$S_A^2 = (MS_{among} - MS_{within}) / n. \quad (7)$$

В рассматриваемом случае стандартное отклонение $S_{bb} = S_A$ представляет собой неопределенность u_{bb} воспроизведения совокупностью стандартных образцов аттестованного значения характерных свойств материала (вещества). Аттестованное значение характерного свойства определяется на основании выражения (5).

На практике встречаются случаи, когда нецелесообразно или есть ограничения (например, экономического характера) использования методики измерения с недостаточной повторяемостью. При этом оценка неопределенности воспроизведения характерных свойств СО u'_{bb} будет отличаться от значения S_{bb} рассеивания между СО. В этих случаях допускается использование альтернативного подхода к оценке неопределенности, который позволяет максимально оценить влияние повторяемости S_r методики измерения. Для этой цели в [4] предлагается использовать выражение



Структурная организация однофакторного эксперимента
Structural organization of single-factor experiment

$$u'_{bb} = \sqrt{MS_{within} / n} \cdot \sqrt{2 / \nu_{MS_{within}}},$$

где $\nu_{MS_{within}}$ – число степеней свободы повторяемости, установленной в методике измерений.

В идеальном случае СО должен быть охарактеризован в отношении степени неоднородности для каждой аттестуемой характеристики. Для СО, аттестуемых на относительно большое число параметров, оценка степени неоднородности для всех характеристик может быть нецелесообразной. На практике степень однородности таких СО может быть оценена только для определенных характеристик.

Исследование стабильности

Исследование стабильности проводится с целью определения остаточной степени нестабильности исходного материала СО после его приготовления или подтверждения стабильности образца. Даже «стабильные» материалы могут продемонстрировать нестабильность для одного или нескольких значений параметров. Стабильность материала аттестованного СО различают в условиях:

- ♦ хранения (долговременная стабильность);
- ♦ транспортирования (кратковременная стабильность).

Исследование стабильности требует большого числа экземпляров СО. Например, исследование долговременной стабильности, как правило, продолжается (24 – 36) месяцев и включает в себя по 5 – 6 экспериментов. Существуют два основных плана эксперимента для проведения исследований стабильности – классический и изохронный.

При классическом исследовании стабильности характеристики отдельных проб, изготовленных в одно и то же время (то есть в виде партии) при одинаковых условиях, измеряют через определенные промежутки времени. В этом случае измерения проводят в условиях внутрилабораторной воспроизводимости, что приводит к относительно высокой неопределенности, поскольку имеет место нестабильность измерительной системы.

Изохронное исследование стабильности предполагает выполнение исследований в одно и то же время, а не в течение всего исследования стабильности, как это имеет место при классическом подходе. Такое исследование позволяет проводить измерения в условиях повторяемости, то есть с использованием одной градуировки в течение одной серии измерений. Изохронный подход уменьшает разброс точек во времени, улучшая таким образом «разрешение» исследования стабильности. Как следствие, изохронное исследование обычно приводит к меньшей

неопределенности, чем классическое, в силу того, что повторяемость меньше, чем внутрилабораторная воспроизводимость измерений. Преимущество этого вида плана заключается в возможности определения условий, при которых не происходит ухудшения свойств или происходит не с такой скоростью, как при условиях, выбранных для хранения. Изохронный план предназначен специально для аттестации партии, поскольку его нельзя использовать при аттестации отдельного экземпляра. Оба плана эксперимента подходят для исследования долговременной и кратковременной стабильности.

Долговременная стабильность касается остаточной нестабильности значений параметров СО при заданных условиях хранения. Поэтому важно определить эти условия и исследовать стабильность материала в них. Исходная температура должна быть выбрана таким образом, чтобы практически исключить нестабильность материала, обусловленную этой температурой. Многие биологические и природные СО проявляют некоторую степень нестабильности, несмотря на установление оптимальных условий хранения.

Кратковременная стабильность зависит от условий транспортирования и не должна превышать нестабильность хранения этого образца. Кратковременная стабильность поэтому рассматривается как составляющая неопределенности только в тех случаях, когда транспортирование СО влияет на стабильность материала больше, чем условия хранения. Исследование кратковременной стабильности обычно проводят при разных температурах, для того чтобы изучить влияние различных температур на параметры материала. Температура образцов может изменяться во время транспортирования от минус 50 до плюс 70 °С в зависимости от вида упаковки и способа транспортирования. На основе изученных влияний можно определить условия транспортирования.

Для исследования кратковременной стабильности проводят 3 – 5 отдельных экспериментов в течение двух недель [4]. При определении стабильности СО предпочтительно работать в условиях повторяемости, в противном случае стандартная неопределенность, обусловленная нестабильностью, будет увеличена из-за влияния условий промежуточной прецизионности [6].

При незначительной нестабильности подходящей моделью является линейная аппроксимация. Для других моделей оценка проводится аналогично с использованием F -критерия при испытаниях тренда на значимость.

Исследование стабильности включает следующие составляющие неопределенности:

- * повторяемость измерений;
- * нестабильность материала;
- * нестабильность измерительной системы (в классическом плане эксперимента);
- * факторы воспроизводимости (например, оператор, оборудование), включая градуировку (в классическом плане эксперимента);
- * межэкземплярная однородность.

Из этого перечня видно, что там, где возможно, следует использовать изохронный, а не классический план эксперимента, поскольку он уменьшает число составляющих, которые необходимо рассмотреть. В типичном изохронном исследовании стабильности остаются только три составляющих неопределенности, которые можно разделить с помощью полного двухфакторного анализа дисперсии.

В большинстве случаев затруднительно сформировать физическую или химическую модель, описывающую механизм нестабильности исходного материала стандартного образца. Поэтому в качестве эмпирической модели принимают прямолинейную зависимость:

$$Y = b_0 + b_1 X, \quad (8)$$

где b_0 – значение параметра СО при его аттестации, ($t = 0$); b_1 – коэффициент, показывающий изменение этого параметра во времени (при хранении).

По результатам исследований определяются оценки коэффициентов уравнения линейной регрессии. Исходя из корреляционной зависимости [7], оценка коэффициента b_1 рассчитывается следующим образом:

$$\hat{b}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}, \quad (9)$$

где n – число точек на временной оси (интервал между исследованиями/точками должен быть одинаковым); $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ – среднее значение параметра за время исследования; $\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$ – значение, соответствующее среднему временному интервалу исследования.

Отрезок, отсекаемый прямой линией регрессии на оси ординат, находится из выражения (8) при известных значениях \bar{y} и \bar{t} :

$$\hat{b}_0 = \bar{y} - \hat{b}_1 \bar{t}.$$

Рассеяние экспериментальных данных y_i по отношению к значениям, вычисляемым на основании линии регрессии, определяется из выражения:

$$S^2 = \sum_{i=1}^n \left[y_i - (\hat{b}_0 + \hat{b}_1 \bar{t}) \right]^2 / (n-2).$$

Располагая значениями \hat{b}_1 и S^2 можно, используя коэффициент Стьюдента, определить статистическую значимость оценки \hat{b}_1 . Для этого выдвигается нулевая гипотеза $H_0: b_1 = 0$ и рассчитывается коэффициент Стьюдента для уровня статистической значимости $\alpha = 0,05$ и числа степеней свободы $\nu = n - 2$:

$$t_p = |\hat{b}_1| / S,$$

значение которого сравнивается с $t_{кр(0,05, n-2)}$. Если $t_p < t_{кр(0,05, n-2)}$, то с вероятностью 0,95 можно утверждать, что рассеяние значений y_i обусловлено влиянием случайной величины, и нестабильностью материала можно пренебречь. В противном случае неопределенность, обусловленную нестабильностью, необходимо учитывать в суммарной неопределенности аттестованного значения СО, используя полученную регрессионную зависимость, подставляя в нее дискретные значения t , для которых оценивается неопределенность.

Основная проблема исследований стабильности заключается в том, что теоретически они объясняют прошлое значение стабильности. Некоторые виды ухудшения параметров и другие причины нестабильности развиваются очень медленно и постепенно, но во многих случаях происходят и резкие изменения в параметрах, практически прекращающие в какой-то момент срок годности СО. Все эти механизмы непредсказуемы, и поэтому необходим мониторинг стабильности. Мониторинг обычно проводят с использованием классического плана эксперимента. Это связано с тем, что изохронный план предоставляет данные только в конце исследования стабильности, в то время как важно иметь информацию в течение срока годности СО.

Если исследование стабильности проходит при разных температурах, то часто оценка, полученная для исходной температуры, будет наилучшей, поскольку для этой температуры допускается, что материал первоначально стабилен. Если при какой-либо температуре материал становится нестабильным, то изменения в этом материале могут повлиять на полученную оценку S_{bb} .

Исследования стабильности выполняют не только для оценки неопределенности измерений, связанной с нестабильностью материала, но также для обеспечения надлежащих условий хранения и транспортирования. При этом предполагается, что однородность и стабильность материала независимы друг от друга. Часто это справедливо, но бывают случаи значительной неоднородности между экзем-

плярами. К тому же стабільність матеріала буде також відличатися від екземпляра до екземпляру, поскільки вона (наряду з іншими факторами) залежить від його складу. Присутність визначеного дестабілізуючого компонента в матеріалі впливає на однорідність всієї партії і може стати причиною для кореляції між однорідністю і нестабільністю. Таку можливість необхідно врахувати, для чого необхідно проводити додаткові дослідження.


ВИВОДИ

Неоднорідність матеріала, з якого виготовляються СО, передбачає розсіювання між-

ду значеннями характерних властивостей, вироблених окремими екземплярами, тобто до невизначеності приписаного значення. Застосування однокритеріального дисперсійного аналізу дозволяє, виходячи з моделі значення, виробленого одним екземпляром СО, оцінити цю складову невизначеності.

Другою переважаючою складовою є довготривала нестабільність характеристик СО. Знаходження коефіцієнтів рівняння регресії в часовій області дозволяє врахувати зміну характеристик СО в часі і оцінити сумарну стандартну невизначеність для будь-якого моменту дослідження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій: (ISO/IEC 17025:2001, IDT): ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. – [Чинний від 2006-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України (Zagalnyi vimogi do kompetentnosti viprobuvalnykh ta kalibruvalnykh laboratoriy: (ISO/IEC 17025:2001, IDT): DSTU ISO/IEC 17025:2006. – [Chinniy vid 2006-01-01]. – K.: Derzhspozhivstandart Ukraini), 2006. – 32 с./s. – (Національний стандарт України) (Natsionalnyi standart Ukraini).
2. Стандартні зразки. Зміст сертифікатів і етикеток: (ISO Guide 31:2000, IDT): ДСТУ-Н ISO Guide 31:2008. – [Чинний від 2010-01-01]. – (Державний стандарт України) (Standartni zrazki. Zmist sertifikativ i etiketok: (ISO Guide 31:2000, IDT): DSTU-N ISO Guide 31:2008. – [Chinniy vid 2010-01-01]. – (Derzhavnyi standart Ukraini)).
3. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов. Основные положения: ГОСТ 8.315-91. – [Чинний від 1998-07-01]. – (Міждержавний стандарт) (Standartnaye obraztsy sostava i svoystv veshchestv i materialov. Osnovnyye polozheniya: GOST 8.315-91. – [Chinniy vid 1998-07-01]. – (Mizhderzhavnyi standart)).
4. Атестація стандартних зразків. Загальні та статистичні принципи: (ISO Guide 35:1989, IDT): ДСТУ-Н ISO/IEC Guide 35:2006 – (Державний стандарт України) (Atestatsiya standartnih zrazkiv. Zagalnyi ta statistichni printsipi: (ISO Guide 35:1989, IDT): DSTU-N ISO/IEC Guide 35:2006 – (Derzhavnyi standart Ukraini)).
5. Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 2. Основний метод визначення повторюваності та відтворюваності стандартного методу вимірювань: (ISO/IEC 5725-2:1994, IDT): ДСТУ ГОСТ ISO 5725-2:2005. – [Чинний від 2006-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України (Tochnisty (pravilnyisty i pretsizyynyisty) metodiv ta rezulytativ vimiryuvannya. Chastina 2. Osnovniy metod viznachennya povtoryuvanosti ta vidtvoryuvanosti standartnogo metodu vimiryuvannya: (ISO/IEC 5725-2:1994, IDT): DSTU GOST ISO 5725-2:2005. – [Chinniy vid 2006-07-01]. – K.: Derzhspozhivstandart Ukraini), 2006. – 48 с./s. – (Національний стандарт України) (Natsionalnyi standart Ukraini).
6. Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 3. Проміжні показники прецизійності стандартного методу вимірювання: (ISO/IEC 5725-3:1994, IDT): ДСТУ ГОСТ ISO 5725-3:2005. – [Чинний від 2006-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України (Tochnisty (pravilnyisty i pretsizyynyisty) metodiv ta rezulytativ vimiryuvannya. Chastina 3. Promizhni pokazniki pretsizynosti standartnogo metodu vimiryuvannya: (ISO/IEC 5725-3:1994, IDT): DSTU GOST ISO 5725-3:2005. – [Chinniy vid 2006-07-01]. – K.: Derzhspozhivstandart Ukraini), 2006. – 29 с./s. – (Національний стандарт України) (Natsionalnyi standart Ukraini).
7. Володарський Є.Т. Статистичне опрацювання даних: [навч. посіб.] /Є.Т. Володарський, Л.О.Кошева. – К.: Книжкове видавництво НАУ (Volodarskyiy Є.Т. Statistichne opratsuvannya danih: [navch. posib.] /Є.Т. Volodarskyiy, L.O.Kosheva. – K.: Knizhkove vidavnistvo NAU), 2008. – 308 с./s. 

Отримано / received: 08.01.2016.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н. В.Б. Большаковым (Україна).
D. Sc. (Techn.) V.B. Bolshakov, Ukraine, recommended this article to be published

УДК 53.088.23

A HUMAN AS A RESEARCH OBJECT FOR METROLOGY OF NONLINEAR DYNAMIC SYSTEMS

**ЛЮДИНА ЯК ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЇ
НЕЛІНІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ**

Yu. Machekhin, Doctor of Technical Science, Professor,
Head of Photonics and Laser Engineering Department,
Yu. Kurskoy, Candidate of Technical Science,
Associate Professor,
H. Prisch, Assistant,
Kharkov National University of Radioelectronics,

Ю. Мачехін, доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри фотоніки та лазерної інженерії,
Ю. Курський, кандидат технічних наук, доцент кафедри,
О. Присич, асистент кафедри,
Харківський національний університет
радіоелектроніки

The article presents the results of practical using of the approaches and tools of Metrology of nonlinear dynamic systems (Nonlinear Metrology). They were used for measurement and analysis of dynamic variables of a human body with a regular physical activity. As the analysis tools the intervals of dynamic variables values, measurement portrait, fractal dimension and Shannon entropy are used. The analysis of measurements results demonstrates that the dynamics of measured value is close to deterministic way. This is a characteristic trait of an open system with a self-organization function. The study results can be used for development of athletes training programs.

Наведено результати застосування підходів та інструментів метрології нелінійних динамічних систем для вимірювання та аналізу результатів вимірювання динамічних змінних людини, яка займається регулярними фізичними вправами. Як інструмент аналізу використано: інтервали значень динамічних змінних, портрет вимірювання, фрактальна розмірність і ентропія Шеннона. Аналіз результатів вимірювання показав, що динаміка вимірюваних величин близька до детермінованої, що характерно для відкритих систем з функцією самоорганізації. Результати дослідження можуть бути використані для складання та корекції програм фізичної підготовки спортсменів.

Keywords: Metrology of Nonlinear Dynamic Systems, Measurement Model, Fractal Dimension, Shannon Entropy.

Ключові слова: метрологія нелінійних динамічних систем, модель вимірювання, фрактальна розмірність, ентропія Шеннона.

THE INTRODUCTION

The main tasks of Metrology of nonlinear dynamical systems (Nonlinear Metrology) are the measurement and analysis of variables that values change in time by a complex non-linear law [1]. These values are dynamic variables (DV). They characterize the number of different real open nonlinear dynamic system (NDS). Nonlinear Metrology combines all theoretical and practical aspects of DV measurements regardless of application field. Development and implementation of the principles, models and tools of Nonlinear Metrology are important for successful implementation of such tasks as a measurement and study of climate, ocean and biological systems states. It can help to identify the previously unknown patterns.

The Nonlinear Metrology tools can be important for measurement of human physical condition when it's making an individual program of a patient treatment or an athlete training. In spite of the high social importance of this issue the measurement of human body parameters as DVs of NDs until recently, according to the available publications in the field of theoretical and applied metrology, hadn't been considered. At the



Yu. Machekhin



Yu. Kurskoy



E. Prisch

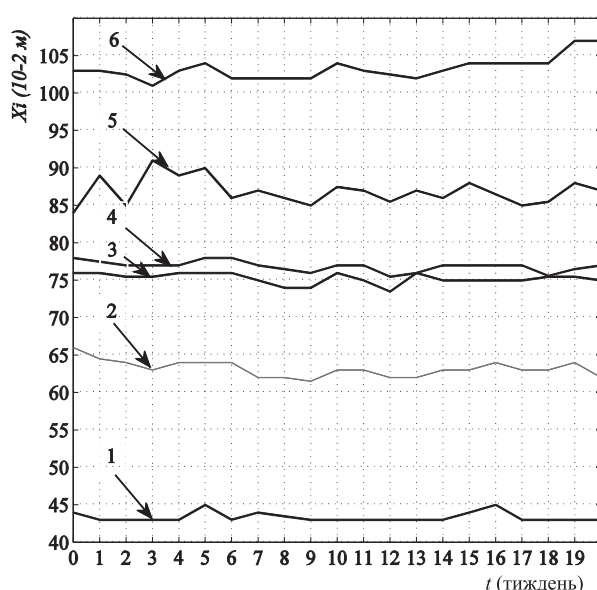
same time an idea about an increase a scope of a metrological science is growing in the research community. They talk about this during the XXVI National scientific symposium with international participation "Metrology and Metrology assurance 2016" [2, 3].

The approach to a person like a complex, open system with the function of self-organization was described in some classic works [4, 5]. The measurement of human body characteristics in the stable and excited states, tracing their dynamics from the birth moment and throughout human life will allow us to provide the effective individual programs or a treatment or a sports training. In this case we don't talk about a treatment only but we talk about a person health management too. We can solve a complex metrological problem — the correct measurement of the organism characteristics, analysis and interpretation of the measurement results as the DVs of NDS. The human health measurement model, that base on the Nonlinear Metrology principles, is proposed in the papers [6, 7]. The main elements of the model are: the intervals of DVs values, the fractal, entropy, and time scales.

The task of this work is an application the human health measurement model for measurement and analysis of dynamic variables of a human body with a regular physical activity

The research results

The research object was a young woman of 20 years old who regularly does physical exercises under the guidance and supervision of a coach. The object was under observation for 21 weeks. During the observa-



The measurement portrait,

here 1 — X_1 ; 2 — X_2 ; 3 — X_3 ; 4 — X_4 ; 5 — X_5 ; 6 — X_6 .

tion time once a week the coach measured the volumes of the next parameters: the lower part of a thigh (X_1), upper part of a thigh (X_2), thighs (X_3), lower part of an abdomen (X_4), waist (X_5), upper part of an abdomen (X_6) and mass (X_7). Thus it were made the seven time series of DVs measurement results with a resolution $\Delta t = 7$ days. The results of X_1 — X_6 parameters measurement are given in the measurement portrait (Figure) [8]. The mass measurement portrait (X_7) is not demonstrated here.

From the point of view of Dynamic systems theory our research object is an open NDS with a self-organization function. Her characteristics X_i , $i=1...7$ are DVs that are exposed to external influences, their values are correlated. The DVs' behavior (deterministic, random or chaotic) is a priori unknown. Their values are change in the appropriate intervals $[X_i^{\min}; X_i^{\max}]$. The instrument measurement uncertainty (B-type) for DVs X_i , $i = 1...6$ is equal 0.0025 m, the instrument measurement uncertainty (B-type) for DV X_7 is equal 0.025 kg. The research task was to do an analysis of results using the principles and models of Nonlinear metrology [1] and human health measurement model [6]. The measurement results and analysis results should be as informative as possible.

During an analysis of measurement results we need to get: the DVs measurement results Y_i ; the fractal dimension D and Shannon entropy H_i for time series of X_i measurement results [7]; the measurement portraits for DVs [8].

The DVs measurement results Y_i can be presented in the next form:

$$Y_i \in [y_i^{\min} \pm U_i^{\min}; y_i^{\max} \pm U_i^{\max}], p,$$

here: y_i^{\min}, y_i^{\max} — average values of the measurement results for minimum X_i^{\min} and maximum X_i^{\max} values of X_i ; U_i^{\min}, U_i^{\max} — the expanded measurement uncertainties; p — coverage probability.

In this case we have the one-time measurements so the uncertainties of the measurement are the B-type instrument uncertainties u_{Bi} . The DVs measurement results Y_i if $p = 0.95$ and coverage factor $k=1,65$ can be presented as:

$$Y_i \in [y_i^{\min} \pm U_i(y); y_i^{\max} \pm U_i(y)], p = 0,95,$$

$$U_i(y) = ku_{Bi}, k = 1,65. \quad (1)$$

The DVs measurement results Y_i in the form (1) are presented in the Table.

If the fractal dimensions D_i of measurement results series are know we can classify a dynamic as a random, regular or chaotic process [10]. In the paper [11] the fractal scale for an evaluation of measurement results was proposed. The scale has three characteristic points: $D=1$, $D=1,5$, $D=2$. If $D=1$ the DV has a strictly

The measurement results, $p = 0,95$

ДП	$Y_i \in [y_i^{\min} \pm U_i(y); y_i^{\max} \pm U_i(y)]$	$D_i \pm U_i(D_i)$	$H_i \pm U_i(H_i)$
X_1	$[0,430 \pm 0.0041; 0,450 \pm 0.0041]$ м	$[1,47 \pm 0.026]$	$[0,891 \pm 0,016]$
X_2	$[0,615 \pm 0.0041; 0,660 \pm 0.0041]$ м	$[1,2 \pm 0.020]$	$[1,117 \pm 0,019]$
X_3	$[1,010 \pm 0.0041; 1,070 \pm 0.0041]$ м	$[1,2 \pm 0.025]$	$[1,117 \pm 0,018]$
X_4	$[0,840 \pm 0.0041; 0,910 \pm 0.0041]$ м	$[1,02 \pm 0.019]$	$[2,117 \pm 0,039]$
X_5	$[0,735 \pm 0.0041; 0,760 \pm 0.0041]$ м	$[1,2 \pm 0.026]$	$[1,417 \pm 0,030]$
X_6	$[0,755 \pm 0.0041; 0,780 \pm 0.0041]$ м	$[1,00 \pm 0.012]$	$[1,235 \pm 0,015]$
X_7	$[67 \pm 0.0041; 70 \pm 0.0041]$ кг	$[1,1 \pm 0.025]$	$[0,712 \pm 0,016]$

deterministic dynamic. If $D = 2$ the DV has a strictly deterministic dynamic too, but the scatter of the measured values is very large, that doesn't allow use the statistical methods of measurement results calculation. If $D = 1.5$ the process is random. In this case for result analysis we can use the statistical methods. If $1 < D < 1.5$ the process is represented as a persistent (the measured value keeps a trend of increasing or decreasing) and it's close to a deterministic law. If $1.5 < D < 2$ the process is antipersistent (measured value reverses it's trend) and has a random (noise) spread of values that exceeds the slow changes value.

The fractal dimensions can be calculated using Hearst exponent H_e [12]:

$$D = 2 - H_e \quad (2)$$

The Hearst exponent is determined, using the value R/S (here: R — a swing between the maximum and minimum values of the increment function $y(i, n)$, S — a standard deviation), by next formula:

$$\frac{R}{S} = \left(\frac{n}{2} \right)^{H_e} \quad (3)$$

here: $R(i) = \max_{1 \leq i \leq n} y(i, n) - \min_{1 \leq i \leq n} y(i, n)$, $y(i, n) = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)$.

$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{n=1}^N (y_n - \bar{y}_i)^2}$, \bar{y}_i — the arithmetic mean value.

Hearst exponent is used to solve some medical problems, e.g., in the analysis of speech pathologies and in the study of the variations of the period of cardiac contractions [13].

The formula (3) can be represented as:

$$H_e = \ln \left(\frac{R}{S} \right) / \ln \left(\frac{n}{2} \right)$$

Using the formula (2) we can obtain the fractal dimension of the time series and find a character of the DVs dynamics (table). The standard measurement uncertainty $u_i(y_i)$ and expanded measurement uncertainty $U_i(y_i)$ for fractal dimension shall be presented by the formulas [8]:

$$u_i(y_i) = y_i u_{Bi} \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2}}, U_i(y_i) = k u_i(y_i), k = 1,65. \quad (4)$$

The measurement portrait (figure) contains the measured value dynamics and measurement uncertainties (4).

Shannon entropy H_i of a measurement time series X_i shows which value can be determined with greater certainty and which value is more variable. The entropy of DV X_i is defined with a probability density values $P(X_i)$ by formula [14]:

$$H_i = -P(X_i) \ln P(X_i). \quad (5)$$

The Shannon entropy H_i calculation results (5) are given in the Table. The expanded measurement uncertainty of entropy indirect measurement is determined by the expression (4).

The measurement results analysis allows us to say that all of DVs have deterministic dynamics. The values of the fractal dimension D of all DP are in the interval $1 < D < 1.5$. At the same time for DVs $X_2 \dots X_7$ $D \rightarrow 1$, and for X_1 (the lower part of a thigh) $D \rightarrow 1.5$. So, the X_1 dynamics is close to a random process. The analysis of the Shannon entropy values demonstrate that the DVs X_4 ($H \approx 2$) и X_5 ($H \approx 1,4$) are most variable, and the DVs X_1 ($H \approx 0,9$) и X_7 ($H \approx 0,7$) are least variable.

The research results are proof of the self-organization function of an open NDS. Note that earlier research of the electrical network dynamics gave opposite results [15]. The voltage dynamic was random with the fractal dimension $D \approx 1,5$.

The research results, displayed in the Table and in the measurement portrait (Figure), can be used for a making the DVs values intervals, fractal and entropy scales of the human physical condition. In the future, the value intervals and scales can be applied for making an individual training plan for athletes and selection an intensity and frequency of physical activity.

The Conclusions

The article presents the results of practical using of the approaches and tools of Metrology of nonlinear dynamic systems (Nonlinear Metrology).

They were used for measurement and analysis of dynamic variables of a human body with a regular physical activity.

As the analysis tools the intervals of dynamic variables values, measurement portrait, fractal dimension and Shannon entropy are used.

The analysis of measurements results demonstrates that the dynamics of measured value is close to deterministic way. This is a characteristic trait of an open system with a self-organization function.

The research results can be used for development of athletes training programs.

REFERENCES / СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Machekhin Yu.P., Kurskoy Y.S. Fundamentals of nonlinear metrology. // LAP Lambert Academic Publishing (Мачехин Ю.П., Курской Ю.С. Монография «Основы нелинейной метрологии» Издательство: LAP LAMBERT Academic Publishing. ISBN: 978-3-65957-401-6). — 2014. — 240 p./с.
2. Ю. Бакшеева, К. Сапожникова, Разработка модели измерения — эффективный метод познания. Сборник докладов XXVI Национального научного симпозиума с международным участием «Метрология и метрологическое обеспечение 2016», Созополь (Болгария) 7—11 сентября 2016 с. 299—304.
3. В. Петров Измерения очевидного — для чего они нужны? И кто их боится? Сборник докладов XXVI Национального научного симпозиума с международным участием «Метрология и метрологическое обеспечение 2016», Созополь (Болгария) 7—11 сентября 2016 с. 273—281.
4. Платонов К.И. Слово как физиологический и лечебный фактор. Вопросы теории и практики психотерапии на основе учения И.П. Павлова. / К.И. Платонов — М.: Знание, 1962. — 186 с.
5. Климонтович Ю. Л. Критерии относительной степени упорядоченности открытых систем [Текст] / Ю.Л. Климонтович // Успехи физических наук — 1996. — № 11 (166). — С /Р. 1231—1243.
6. Ю. Мачехин Модель измерения здоровья человека. Метрологический подход [Текст] / Ю. Мачехин, Ю. Курской // Метрологія та прилади (Yu. Machekhin Model' izmereniya zdorov'ya cheloveka. Metrologicheskiy podkhod [Tekst] / Yu. Machekhin, Yu. Kurskoy // Metrologiya ta priladi). — 2014. — № 02. — С/Р. 40—44.
7. Machekhin Yu., Kurskoy Yu. The norm entropy as the reference point of the scale of health measurement / Metrology and instruments. — 2014 — Vol. 06 (50) (Ю. Мачехин Ю. Курской. Норма энтропии как реперная точка шкалы измерения здоровья // Метрологія та прилади. — 2014 — Вып. 06 (50)). — Р./С. 56—60.
8. Yu. Machekhin, Yu. Kurskoy, E. Prisch The measurement portrait of dynamic variables // Метрологія та прилади. — 2016 — Вып. 05 (61). — С. 46—51.
9. РМГ 43-2001. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений». Дата введения 2003-07-01.
10. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории / пер. с английского [Текст] / М.: Постмаркер (Kronover R.M. Fraktaly i khaos v dinamicheskikh sistemakh. Osnovy teorii / per. s angliyskogo [Tekst] / M.: Postmarker), 2000. — 352 с/р.
11. Мачехин Ю. Фрактальная шкала для временных рядов результатов измерений [Текст] / Ю. Мачехин // Измерительная техника (Machekhin Yu. Fraktal'naya shkala dlya vremennykh ryadov rezul'tatov izmereniy [Tekst] / Yu. Machekhin // Izmeritel'naya tekhnika). — 2008. — Вып./Is. 08. — С/Р. 40—43.
12. Федер Е. Фракталы [Текст] / М.: Мир, 1991. — 258 с.
13. Априяткина М.Л., Бородин А.С., Васильченко М.Н. Анализ показателя Херста для вариаций периода сокращений сердца человека // Известия высших учебных заведений. Физика. — 2010. — Т. 53. — № 9—3. — С. 233—234.
14. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов [Текст] / Е. С. Вентцель; 7-е изд. — М.: Высш. Шк. (Venttsel Ye. S. Teoriya veroyatnostey: Ucheb. dlya vuzov [Tekst] / Ye. S. Venttsel'; 7-ye izd. — M.: Vyssh. Shk.), 2001. — 575 с/р.
15. Курской Ю.С. Фрактальный анализ результатов электрических измерений // Энергетика, энергосбережение и энергоаудит. — 2014 — Вып. 01 (119). — С. 52—57. ■

Отримано / received: 21.12.2016.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Є.М. Одаренком (Україна).
Prof. E.M. Odarenko, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.

УДК 531.76:681.78

АЛГОРИТМІЧНІ ОСНОВИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ МЕТАЛЬНОГО ЕЛЕМЕНТА В КАНАЛІ СТВОЛА

О. Крюков, доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник,

В. Мудрик, кандидат технічних наук, викладач кафедри,

Національна академія Національної гвардії України, м. Харків

Запропоновано структурно-алгоритмічну схему засобу вимірювання швидкості руху метального елемента в каналі ствола, яка визначає порядок та особливості перетворення вимірювальної інформації. Наведено узагальнений алгоритм опрацювання вимірювальної інформації та рекомендації з його реалізації.

The article presents the structural scheme (fig. 1) of velocity measuring instrument for the throwing element in the firearm bore. On the bases of such structural scheme the structural-algorithmic scheme (fig. 2) was built. The structural-algorithmic scheme determines the order and features of the measuring information conversion concerning the velocity of the throwing element in the bore. This scheme allows us to carry out the investigations of

measuring instrument by its structure and by the content of the algorithms of the measuring information. The resulting structural-algorithmic scheme is the basis for the generalized algorithm of processing of the measuring information development (fig. 3). Given generalized algorithm is a combination of logical parts which transmit the content of the conversion of measuring information without binding to specific apparatus devices or constructive solutions. It allows to carry out the modelling of the processing of experimental input signal at different values of element parameters of measuring instrument, to correct the content of separate stages of processing of the measuring information and it can be used for creating of the measuring instrument of velocity of the throwing element in the bore with the given characteristics.

Ключові слова: засіб вимірювання, швидкість руху, метальний елемент, канал ствола, структурно-алгоритмічна схема, алгоритм, вимірювальна інформація.

Keywords: measuring instrument, velocity, throwing element, bore, structural-algorithmic scheme, algorithm, measurement information.

Вирішення завдань внутрішньої балістики потребує отримання уточнених даних стосовно балістичних елементів пострілу – залежності зміни тиску порохових газів та швидкості руху метального елемента (МЕ) як функції часу його руху в каналі ствола стрілецької зброї. Перспективним шляхом отримання достовірної інформації щодо балістичних елементів пострілу є реалізація вимірювання миттєвих значень швидкості руху $V(t)$ МЕ каналом ствола під час пострілу. При цьому доцільно будувати засіб вимірювання (ЗВ) миттєвих значень швидкості руху МЕ за подвійною диференційною схемою лазерної доплерівської анемометрії [1], що забезпечує формування вимірювального сигналу, миттєві значення частоти якого визначають шукану криву $V(t)$ [2, 3]. Для виділення корисної інформації необхідно проведення спектрального аналізу фрагментів вимірювального сигналу із застосуванням швидкого перетворення Фур'є [4].

Для побудови ЗВ миттєвих значень швидкості руху МЕ, в основу якого покладено подвійну диференційну схему лазерної доплерівської анемометрії та спектральний аналіз вимірювального сигналу [3], доцільно мати деталізовані алгоритмічні основи опрацювання вимірювальної інформації, зокрема, розробити структурно-алгоритмічну схему та, на її основі, алгоритм опрацювання вимірювальної інформації. Такий підхід дозволить змоделювати та ретельно дослідити процес опрацювання вихідного сигналу ЗВ, врахувати деякі складові інструментальної похибки [5] та,



О. Крюков



В. Мудрик

врешті, спростити й наблизити до практики технічну реалізацію ЗВ.

Відомі ЗВ швидкості руху МЕ за використаними технічними рішеннями суттєво відрізняються від лазерного доплерівського ЗВ, оскільки базуються на інших методах, передбачають використання електромагнітних хвиль у радіодіапазоні, а також мають відмінності за умов проведення вимірювань [6 – 9]. Тому в наявних літературних джерелах відсутні алгоритмічні основи опрацювання вимірювальної інформації в лазерних доплерівських ЗВ швидкості руху МЕ.

Мета статті – розроблення структурно-алгоритмічної схеми ЗВ миттєвих значень швидкості руху МЕ в каналах стволів та алгоритму перетворення вимірювальної інформації.

ВІКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Структурно-алгоритмічна схема ЗВ визначає порядок та особливості перетворення вимірювальної інформації стосовно швидкості руху МЕ (опрацювання, проміжне зберігання, корекція, визначення параметрів кривої тощо). В її основу доцільно покласти структуру ЗВ, яка подається за розімкненою схемою (рис. 1). Така будова дозволяє спростити технічну реалізацію ЗВ і процедуру перетворення вимірювальної інформації.

До складу структурної схеми ЗВ (рис. 1) входять:

- оптична частина (складається з лазера, коліматора, світлоподільної призми, відбивача, що спря-

мовують лазерні промені під заданими кутами на фотоприймач [1]);

- фотоприймач та узгоджувальний пристрій (перетворюють оптичне випромінювання в електричний сигнал із заданими параметрами);

- аналого-цифровий перетворювач (АЦП) (перетворює вихідний сигнал узгоджувального пристрою на послідовність миттєвих значень напруги через задані проміжки часу);

- обчислювальний пристрій (сукупність апаратного та програмного забезпечення для введення, опрацювання за певним алгоритмом і зберігання вимірювальної інформації);

- пристрій відображення інформації (подає результати опрацювання вимірювальної інформації в зручному для користувача виді).

На основі наведеної структурної схеми з метою відображення змісту перетворень вимірювальної інформації, які відбуваються в її елементах, подамо фізичні й інформаційні зв'язки між ними у виді структурно-алгоритмічної схеми ЗВ (рис. 2). Відобразимо взаємодію елементів, що реалізуються фізично, і віртуальних ланок (блоків), які є фрагментами програмно-апаратних засобів, із зазначенням перетворень, у відповідності до яких відбувається опрацювання вимірювальної інформації.

Разом із зазначеними вище елементами структурної схеми ЗВ в обчислювальному пристрої виокремлено блоки формування масиву миттєвих значень напруги, попередньої фільтрації сигналу, виділення області сигналу зі значимими даними, формування часових інтервалів, швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), визначення частоти домінуючої гармоніки, формування кривої швидкості, а також блок опрацювання та підготовки даних для зберігання і візуалізації.

Оптична частина формує вхідний сигнал фотоприймача, у спектрі якого міститься складова

$$F(t) = \frac{2fV(t)}{c}(\cos \alpha - \cos \beta), \quad (1)$$

миттєва частота $F(t)$ якої пропорційна швидкості руху $V(t)$ МЕ. Фотоприймач перетворює цей сигнал на фотострум, який створює на вхідному опорі узгоджувального пристрою частотно-модульований сигнал напругою

$$U(t) = U_m \sin((2\pi F(t))). \quad (2)$$

Узгоджувальний пристрій виконує функцію узгодження вихідного опору фотоприймача і вхідного опору АЦП, а також здійснює масштабування напруги фотоструму до меж діапазону перетворення АЦП:

$$U_k(t) = k \cdot U(t). \quad (3)$$

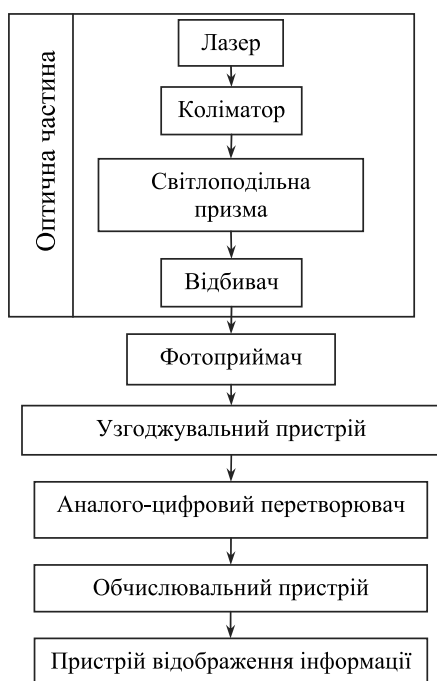


Рис. 1. Структурна схема ЗВ

Fig. 1. The structural scheme of measuring instrument

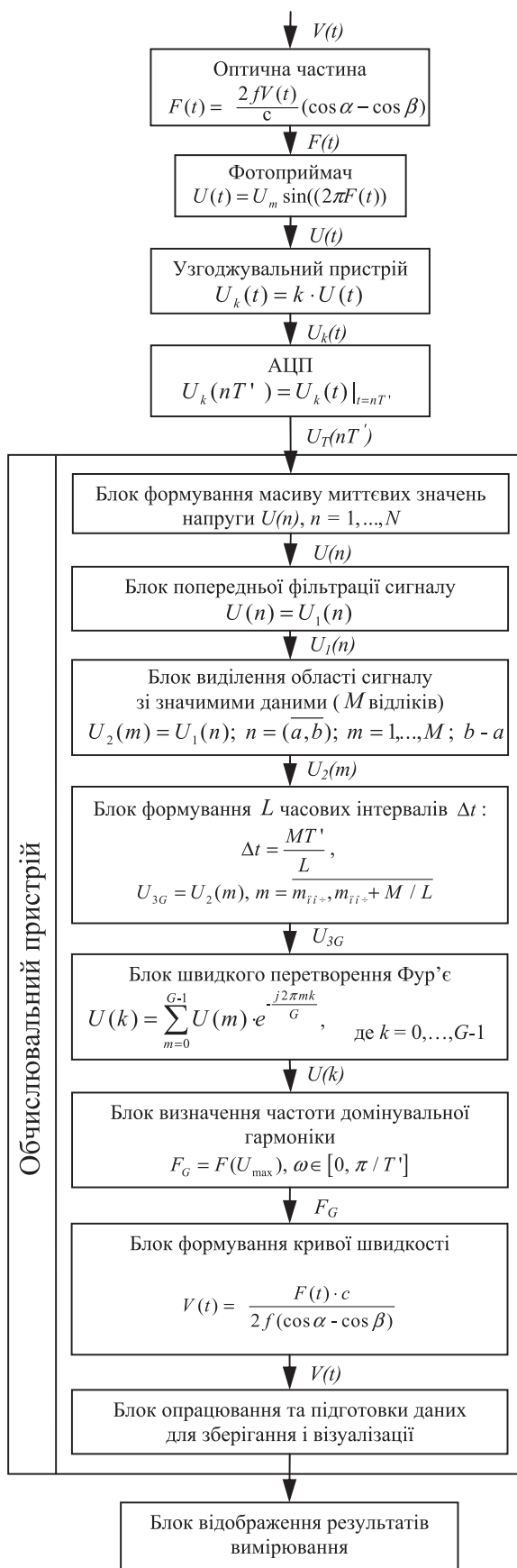


Рис. 2. Структурно-алгоритмічна схема ЗВ

Fig. 2. The structural-algorithmic scheme of measuring instrument

Аналого-цифровий перетворювач формує коди миттєвих значень напруги у дискретні моменти часу:

$$U_k(nT') = U_k(t)|_{t=nT'} \quad (4)$$

Блок формування масиву миттєвих значень напруги на кожному n -му такті перетворення зчитує з АЦП код миттєвого значення напруги $U_k(nT')$ та заносить його до чарунки $U(n)$ одновимірного масиву.

У блоці попередньої фільтрації до сигналу $U(n)$ застосовується смуговий режекторний цифровий фільтр, який видаляє шум, зумовлений завадами (наприклад, мережами електроживлення).

Блок виділення області сигналу зі значимими даними $U_2(m)$ видаляє фрагменти сигналу $U_1(n)$ (на його початку та в кінці), які не містять корисної вимірювальної інформації щодо швидкості руху МБ.

Блок формування часових інтервалів виокремлює G інтервалів відліків, які є фрагментами сигналу в L довільних точках часу:

$$U_{3G} = U_2(m), m = m_{\text{поч}}, m_{\text{поч}} + M / L. \quad (5)$$

Блок ШПФ реалізує відповідний алгоритм, що застосовується для кожного з L фрагментів сигналу для проведення їх спектрального аналізу:

$$U(k) = \sum_{m=0}^{G-1} U(m) \cdot e^{-\frac{j2\pi mk}{G}}. \quad (6)$$

Блок визначення частоти домінувальної гармоніки F_G для кожного з L фрагментів сигналу програмно визначає частоту $F(U_{\max})$ гармонічної складової, амплітуда якої має перевагу над амплітудами інших гармонічних складових у тій області спектра, в якій розташований вимірювальний сигнал.

У блоці формування кривої швидкості програмно реалізовано співвідношення (1), розв'язане відносно змінної $V(t)$.

Блок опрацювання та підготовки даних для зберігання і візуалізації є сукупністю підпрограм для розрахунків параметрів кривої швидкості, зберігання даних та взаємодії зі складовими операційної системи з метою візуалізації отриманої інформації у зручному для користувача виді за допомогою засобів виведення інформації або для її експорту на сторонні носії інформації.

Запропонована структурно-алгоритмічна схема є основою для розроблення узагальненого алгоритму опрацювання вимірювальної інформації (рис. 3).

До вихідних даних (параметрів оптичної схеми ЗВ та характеристик зразка вогнепальної зброї) відносяться:

- діаметр каналу ствола d_c ;
- довжина каналу ствола l_c ;
- діаметр лазерного променя d_l ;
- частота лазерного випромінювання f ;

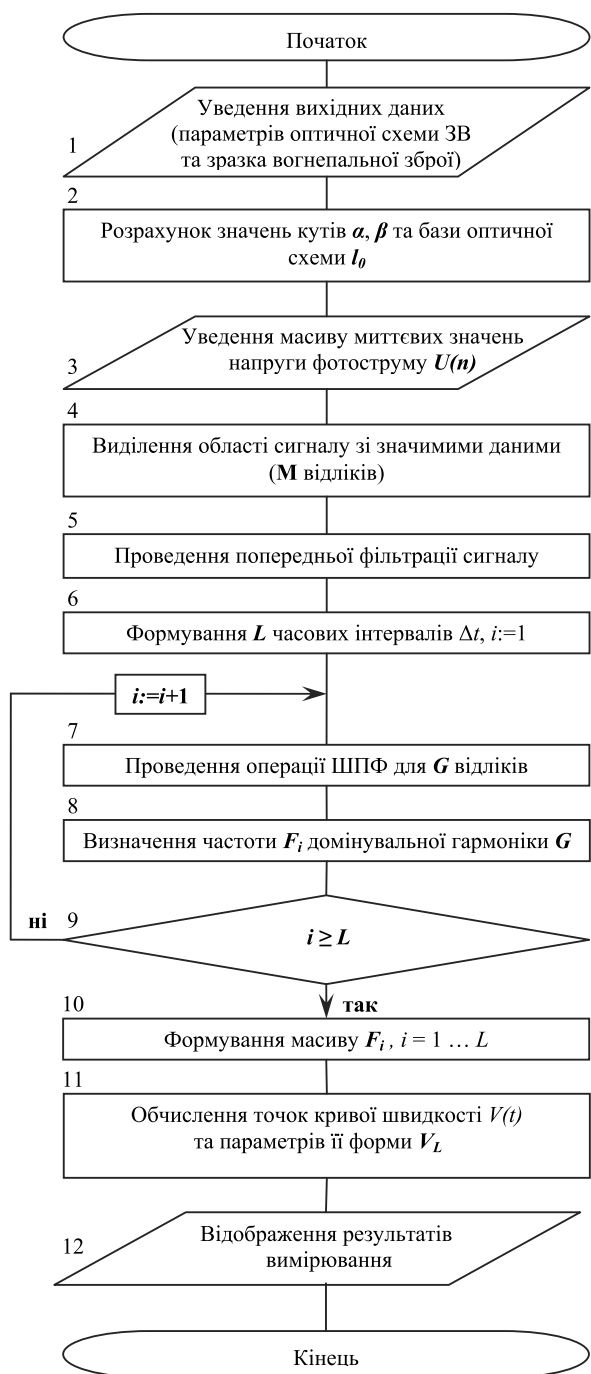


Рис. 3. Узагальнений алгоритм опрацювання вимірювальної інформації

Fig. 3. The generalized algorithm of the measuring information processing

- довжина грані світлоподільної призми l_n ;
- довжина грані відбивача l_b ;
- безпечна відстань l_0 (відстань між зовнішнім габаритом світлоподільної призми та бічною поверхнею МЕ у найближчій до призми точці траєкторії його руху).

За цими даними розраховуються кути β і α зондування поверхні МЕ лазерними променями, а також база оптичної схеми l_0 (відстань від зовнішньої грані світлоподільної призми до дульного зрізу каналу ствола) [3]:

$$\beta = \arctg\left(\frac{d_c - b}{l_c}\right), \quad (7)$$

де b – відстань між лазерним променем та каналом ствола у площині дульного зрізу (тобто проміжок, який унеможливує переривання лазерного променя вібраціями ствола під час пострілу),

$$l_0 = \frac{d_c + l_0 + l_n + l_b}{\tg\beta} - l_c, \quad (8)$$

$$\alpha = \arctg\left(\frac{d_c - \frac{b}{2} + l_0 + \frac{l_n}{2}}{l_0 + l_c}\right). \quad (9)$$

До параметрів V_L форми кривої швидкості відносяться такі її характеристики, кількісні значення яких можуть бути покладені в основу експрес-діагностики стану каналу ствола або боєприпасів [10] (наприклад, середня швидкість V_c , дульна швидкість V_d , координати точки зміни знаку другої похідної кривої швидкості t_m , V_m , кінцеві швидкості для різних періодів пострілу тощо). Ці параметри визначаються за відомими алгоритмами функціонального аналізу [11].

Запропонований узагальнений алгоритм опрацювання вимірювальної інформації передає зміст перетворення вимірювальної інформації без прив'язки до конкретних апаратних засобів або конструктивних рішень. Цей алгоритм дозволяє проводити моделювання процесу опрацювання вихідного сигналу ЗВ за різних значень параметрів елементів його схеми і умов проведення вимірювань та здійснювати відповідне їх коригування.

ВИСНОВКИ


Запропоновано структурно-алгоритмічну схему ЗВ швидкості руху МЕ в каналах стволів та узагальнений алгоритм опрацювання вимірювальної інформації, які дозволяють проводити дослідження ЗВ за його структурою і за змістом перетворення вимірювальної інформації. Ці результати можуть бути застосовані під час моделювання процесу опрацювання вимірювальної інформації у ЗВ швидкості руху МЕ, а також за розроблення програмного забезпечення обчислювального пристрою такого ЗВ.

Подальші дослідження ЗВ швидкості руху МЕ у каналах стволів доцільно спрямувати на розроблення та удосконалення алгоритмічних основ

підвищення точності визначення миттєвих значень швидкості, зокрема, шляхом моделювання та ви-

ключення складових систематичної похибки вимірювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Крюков, А. М. Дифференциальная лазерная доплеровская анемометрия объектов со световозвращающей поверхностью [Текст] / А. М. Крюков, Г. Н. Доля, В. Г. Мудрик // ХНУРЕ : науч.-техн. журнал. Х.: Прикладная радиоэлектроника (Kriukov, O. M., Dolya, G. N., Mudrik, V. G. (2013). Differenzialnaya lazernaya dopplerovskaya anemometriya ob'ektov so svetovozvrashaushej poverhnostju. HNU of RE: science-techn. Journal. Kharkiv: Prikladnaya radioelectronica). – 2013. – Т. 12, № 3. – С/С. 436–441.
2. Патент: 88172 Україна, МПК G 01 S 17/02 (2006.01) Лазерний доплерівський вимірювач швидкості руху металного елемента в каналі ствола [Текст] / Крюков О. М., Доля Г. М., Мудрик В. Г. – Заявл. 10.06.2013; Опубл 11.03.2014 (Kriukov, O. M., Dolya, G. N., Mudrik, V. G. (2014). Patent 88172 Ukraine, WPK G 01 S 17/02 (2006.01) Lazernuy dopplerivskuy vumiruvach shvudkosti ruhu metalnogo elementu v kanali stvola. Stated. 10.06.2013; Publish 11.03.2014, 8); – 8 c/s.
3. Вимірювання швидкості руху металного елемента в каналі ствола на основі оптичного диференціального доплеровського методу [Текст] / О. М. Крюков, Г. М. Доля, О. І. Біленко, В. Г. Мудрик // ХНУРЕ: наук.-виробн. журнал – Х.: Метрологія та прилади (Kriukov O. M., Dolya G. N., Bilenko O.I., Mudrik V. G. (2013) Measurement of the throwing element speed in the barrel based on differential optical Doppler method. HNU of RE: scienc. Journal. Kharkiv: Metrologiya ta pruladu), 2013. – №. – 4. – С/С. 56 – 60.
4. Лазерний доплерівський засіб вимірювання швидкості руху металного елемента в каналі ствола: будова та опрацювання вимірювальної інформації [Текст] / О. М. Крюков, Г. М. Доля, В. Г. Мудрик, О. А. Надь, О. А. Коваль // ХНУРЕ: наук.-виробн. журнал – Х.: Метрологія та прилади (Kriukov, O. M., Dolya, G. N., Mudrik, V. G., Nadj, O. A., Koval, O. A. (2014). Lazerniy doplerovskiy zasib vumiruvanya shvudkosti ruhu metalnogo elementa v kanali stvola: budova ta obroblennya vumiruvalnoi informacii. HNU of RE: scienc. Journal. Kharkiv: Metrologiya ta pruladu), 2014. – № 1 (45). – С/С. 151 – 154.
5. Крюков, О. М. Оцінювання похибки лазерного доплерівського засобу вимірювання швидкості руху метал-
- них елементів у каналах стволів вогнепальної зброї [Текст] / О. М. Крюков, В. Г. Мудрик, І. О. Чадаєв // ХНУРЕ: наук.-виробн. журнал – Х.: Метрологія та прилади (Kriukov, O. M., Mudrik, V. G., Chadaev I.O. (2016). Otsinyuvannya pokhybky lazernoho doplerivskoho zasobu vymiryuvannya shvydkosti rukhu metalnykh elementiv u kanakh stvoliv vohnepalnoyi zbroyi. HNU of RE: scienc. Journal. Kharkiv: Metrologiya ta pruladu), 2016. – № 1 (57). – С/С. 64 – 69.
6. Михайлов, К. В. Экспериментальная баллистика. Приборы и методы баллистических измерений [Текст] / К. В. Михайлов – София: BTC (Mihajlov, K. V. (1976). Eksperimentalnaya balistica. Priboru i metodu ballisticheskikh izmerenij. Sophiya: VTS), 1976. – 388 c/s.
7. Patent 2691761 США, МКИ G 01 S 13/58. Microwave measuring of projectile speed [Text] / Smith J. N., Oak R., Tenn. – № 6088; claimed. 03.02.1948; published 12.10.1954, НКІ 342/105; 73/167. – 6 p.
8. Patent 4457206 США, МКИ G 01 S 13/58; F 42 C 17/04. Microwave – type projectile communication apparatus for guns [Text] / Toullos P. P., Hartman K. – № 06/269,489; claimed 02.06.1981; published 03.07.1984, НКІ 89/14.5. – 37 p.
9. Patent 0415906 Германия, МКИ G 01 S 13/58; G 01 P 3/66. Method and device for the determination of parameters of motion [Text] / Reinhard, B., Bernhard Z. – № 19900809; claimed 09.08.1990; published 10.02.1993, НКІ G 01 S 13/58 F; G 01 P 3/66 B. – 8 p.
10. Анипко, О. Б. Внутренняя баллистика ствольных систем при применении боеприпасов длительных сроков хранения [Текст]: монография / О. Б. Анипко, Ю. М. Бусяк. – Х.: Акад. ВВ МВС Украины (Anupko, O. B., YU. M. Busyak (2009) Vnutrennyaya ballistyka stvolnykh system pry pryumenenyyu boeprypasov dlytelnykh srokov khranenyua. Akad. of VV MVS Ukrayny: monohrafiya), 2009. – 128 c/s.
11. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов [Текст] / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев – 13 издание исправленное. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит. (Bronshiteyn, Y. N., Semendyaev K. A. (1986) Spravochnik po matematyke dlya ynzhenerov y uchashchychksya vtuzov. Nauka: HL. red. fyz.-mat. lyt: 13 yzdanye uspravlennoe), 1986. – 544 c/s. 

Отримано / received: 11.01.2017.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. О.В. Полярусом (Україна).
Prof. O.V. Polyarus, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.

III ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ У ЦАРИНІ МЕТРОЛОГІЇ «TECHNICAL USING OF MEASUREMENT-2017»



24–29 січня 2017 року відбулася III Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих учених у царині метрології «*Technical Using of Measurement-2017*», організована ІКТА НУ «Львівська політехніка», ДП НДІ «Система» та НТУУ «КПІ ім. Сікорського» під егідою Академії метрології України (АМУ) за спонсорської підтримки ПрАТ «Енергооблік» (м. Харків), ДП «Укрметртестстандарт» (м. Київ) та підприємця І.Г.Самойдюка (м. Енергодар). Конференція проходила у навчально-оздоровчому таборі «Політехнік-2» НУ «Львівська політехніка» (сmt. Славське, Львівська обл.).

У роботі конференції взяли участь 105 науковців із основних метрологічних центрів України (Харкова, Києва, Львова, Одеси, Дніпра, Івано-Франківська, Чернівців), серед яких 15 студентів, 19 аспірантів і 42 молодих учених.

Традиційно із привітальними словами до учасників конференції звернувся Президент АМУ д.т.н., проф. Є.Т. Володарський, який відзначив важливість, необхідність проведення таких конференцій; наголосив на актуальності зустрічей; підтвердив, що їх мета – поглиблювати наукову роботу серед молоді у сфері метрології, надати можливість творчого спілкування молодих науковців з провідними.

На початку конференції для ознайомлення молодих науковців-метрологів з напрацюваннями у про-

цесі вирішення проблеми забезпечення якості освітнього процесу у ВНЗ України з метою їх інтегрування до Європейського простору, а також з особливостями підготовки спеціалістів-метрологів виступили Академіки АМУ професори Н.І. Косач (Національний аерокосмічний університет «ХАІ»), С.П. Яцишин і В.О. Яцук (НУ «Львівська політехніка»).

Протягом роботи конференції виголошено й обговорено 18 доповідей. Потрібно відзначити, що, зважаючи на велику кількість замовлених доповідей і дуже продуктивну закордонну практику, 37 доповідей представлено як стендові. Це надало можливість учасникам конференції більше часу приділити ґрунтовним дискусіям стосовно теорії та практики вимірювань, забезпечення єдності вимірювань і випробувань, автоматизації та приладів, опрацювання результатів, стандартизації та сертифікації у світлі європейської інтеграції тощо, поділитися своїми науковими досягненнями у царині метрології.

У рамках конференції директором Інституту підвищення кваліфікації й перепідготовки спеціалістів з метрології (м. Харків), який є структурним підрозділом АМУ, членом-кореспондентом АМУ, к.т.н. О.Є. Малецькою проведено навчальний науково-практичний семінар на тему «Забезпечення якості вимірювань на основі метрологічного контролю засобів вимірювальної техніки та визначення компетентності лабораторії», по закінченню якого слухачам семінару вручено відповідні Свідоцтва.

Наприкінці конференції відбулися позачергові збори АМУ. На них, зокрема, обрано й рекомендовано кандидатури провідних фахівців-метрологів від України, з числа раніше поданих у відповідних заявках, до роботи в постійно діючих науково-технічних комітетах Міжнародної Федерації з вимірювальної техніки і приладобудування (*International Measurement Confederation – IMECO*).

Віце-президент АМУ,
Заслужений діяч науки і техніки України,
д.т.н. В. Большаков

