

Вимірюйте
усе доступне вимірюванню
й робіть недоступне вимірюванню
доступним.

Галілео Галілей

ISSN 2307-2180

Метрологія



та прилади

№ 1(39), 2013

Науково-виробничий журнал

Журнал зареєстровано:
у Міністерстві юстиції України,
свідцтво серія **КВ № 16295-476ПР**
від 02.02.2010;
у Вищій атестаційній комісії України,
Постанова Президії **БАК**
№ 1-05/2 від 10.03.2010

Засновники:
Харківський національний
університет радіоелектроніки,
ТОВ видавничо-комерційна
фірма «Фавор»

Видається з **2006** року
Передплатний індекс **92386**

Редакційна колегія:

Большаков В. Б., д. т. н., с. н. с.
Величко О. М., д. т. н., проф.
Віткін Л. М., д. т. н., проф.
Володарський Є. Т., д. т. н., проф.
Гінзбург М. Д., д. т. н., проф.
Грищенко Т. Г., д. т. н., с. н. с.
Домницький Р. А.
Захаров І. П., д. т. н., проф.
Зенкін А. С., д. т. н., проф.
Колпак Б. Д., д. т. н., с. н. с.
Коломієць Л. В., д. т. н., проф.
Крюков О. М., д. т. н., проф.
Кузьменко Ю. В.
Маловик К. М., к. т. н., доц.
Мачехін Ю. П., д. т. н., проф.
Мухаровський М. Я., к. т. н.
Назаренко Л. А., д. т. н., проф.
Неєжмаков П. І., к. т. н.
Нелепов А. А.
Петришин І. С., д. т. н., проф.
Рожнов М. С., к. х. н., с. н. с.
Руженцев І. В., д. т. н., проф.
Столярчук П. Г., д. т. н., проф.
Сурду М. М., д. т. н., проф.
Туз Ю. М., д. т. н., проф.
Чалий В. П., к. т. н., с. н. с.
Черепков С. Т., к. т. н., доц.

Редакційна група:

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

Журнал рекомендовано до друку
вченою радою Харківського
національного університету
радіоелектроніки
(протокол №19 від 22.02.2013)

Видавник **ВКФ «Фавор»**

Адреса редакції:
61002, Харків,
вул. Мироносицька, 40; кімн. 3.
Тел.: (057) 752-00-69, 752-00-89
Тел./факс: (057) 700-49-53
E-mail: mp@metrology.kharkov.ua
<http://www.metpriladi.com/>

Підписано до друку 28.02.2013.
Формат 60×84/8.
Друк офсетний. Папір крейдований.
Ум. друк. арк. 8,43. Обл.-вид. арк. 7,13.
Замовлення № 7.

© «Метрологія та прилади», 2013

*Г*либоко символічно, що перші весняні дні, перше сонячне тепло, що зігріває і пробуджує усе живе в природі, так безпосередньо пов'язані зі святом жінок — Міжнародним Днем 8 березня.

В історії людства жінки завжди відігравали вирішальну роль — у найнебезпечніші періоди зберігали існування народів і країн, відновлювали цілі галузі економіки. Чимало таких прикладів є і в історії України. В певних галузях її народного господарства жінки складали і сьогодні складають більшу частину працюючих, у тому числі й на посадах провідних спеціалістів і керівників. Метрологія, зокрема, — серед таких галузей.

І у перших повірочних палатках, і в Українській Головній палаті з мір та вагів, і в сучасних наукових та виробничих метрологічних центрах і лабораторіях переважно жінки-метрологи завжди стояли і стоять на сторожі єдності й точності вимірювань в Україні — однієї з основ її незалежності, технічної й технологічної могутності.

Редакція і редколегія журналу «Метрологія та прилади» сердечно вітають кращу половину метрологів і всієї України з чудовим весняним святом — Днем 8 березня! Бажаємо Вам, дорогі наші жінки, завжди бути щасливими і здоровими, кохати і бути коханими! Радісних посмішок Вам, добробуту і взаєморозуміння Вашим родинам, затишку у Ваших оселях, поваги колег по роботі й подальших професійних успіхів!



МІЖНАРОДНЕ СПІВРОБІТНИЦТВО	INTERNATIONAL COOPERATION
42 засідання МДР 3	The 42nd meeting of ISC
ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ	TRENDS AND PROSPECTS FOR DEVELOPMENT
Гіленко О. Департамент технічного регулювання Мінекономрозвитку: метрологічна діяльність у 2012 році 6	Hilenko O. Department of Technical Regulation of the Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine: metrological activity in 2012
МІЖНАРОДНІ ЗВІРЕННЯ ЕТАЛОНІВ	INTERNATIONAL COMPARAISONS OF MEASUREMENT STANDARDS
Склярів В. Дослідження невизначеності для шкали Роквелла, відтворюваної державним первинним еталоном України 9	Skliarov V. Researching uncertainty for the Rockwell scale reproducing by the State primary standard of Ukraine
МЕТОДИ І МЕТОДИКИ	METHODS AND PROCEDURES
Гребеньков І., Міхаль О. Метод віднімання імпедансів у кондуктометричних біосенсорних перетворювачах 15	Grebenkov I., Mihal O. Subtraction method of impedance in conductometric biosensors converters
Гоц Н., Петриченко Г. Розвиток методу передавання температурної шкали інфрачервоним термометром випромінювання 19	Gots N., Petrychenko G. Developing the method of realization of the temperature scale with radiation infrared thermometer
ВИМІРЮВАННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ	MEASUREMENT AND TESTS
Туз Ю., Кокотенко Б. Вимірювання малих струмів 26	Tuz Yu., Kokotenko B. Low current measurement
ПОХИБКИ ТА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ	ERRORS AND UNCERTAINTY
Гриньов Б., Гурджян Н., Зеленська О., Любинський В., Молчанова Н., Тарасов В. Оцінювання якості результатів вимірювання світлового виходу упакованих сцинтиляторів на основі неорганічних кристалів 31	Grynyov B., Gurdzhian N., Zelenskaya O., Lyubynskiy V., Molchanova N., Tarasov V. Quality assessment of measurement results of light output of housed scintillators based on inorganic crystals
ПОВІРКА ТА КАЛІБРУВАННЯ	VERIFICATION AND CALIBRATION
Народницький Г. Особливості калібрування мір місткості 40	Narodnyskiy G. Calibration feature of capacity measures
Стеценко А., Недзельський С. Обґрунтування збільшення міжповірного інтервалу витратоміра-лічильника ультразвукового УВР-011 43	Stetsenko A., Nedzelskiy S. Justification of increase in an intertesting interval flowmeter counter ultrasonic УВР-011
РЕЄСТРАЦІЯ ТА КОНТРОЛЬ	REGISTRATION AND CONTROL
Неделько А. Система регистрации температурных полей протяженных объектов 45	Nedelko A. Registration system for temperature fields of the extended objects
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ	COMPUTER MODELING
Євтух П., Липницький В. Розроблення нейронної мережі для прогнозування постачання холодної і гарячої води у мережах міста 49	Yevtuh P., Lypnyskiy V. Development of neural network for prediction of supply cold and hot water in the network of the city
ВІЙСЬКОВА МЕТРОЛОГІЯ	MILITARY METROLOGY
Бойко В., Гаврилов А., Рондін Ю. До питання технічного оснащення робочого місця з повірки (атестації) супутникової навігаційної апаратури споживачів у Збройних Силах України 56	Boiko V., Gavrylov A., Rondin Yu. On technical equipment for workplace on verification (certification) of satellite navigation hardware in the Armed Forces of Ukraine
МЕТРОЛОГІЯ У ЗАСОБАХ ЗВ'ЯЗКУ	METROLOGY IN COMMUNICATIONS
Каліцинський Ю. Проблеми метрологічного забезпечення ВІС обліку тривалості телефонних розмов інтернет-телефонії 62	Kalitsinskiy Yu. Issues of metrological maintenance of measurement information systems for accounting the duration of telephone calls in internet telephony
МЕТРОЛОГІЯ У ПОЛІГРАФІЇ	METROLOGY IN POLYGRAPHY
Гулько С., Ющик О., Гавриш Б. Необхідність переходу видавничо-поліграфічної галузі на метричну систему одиниць вимірювань 67	Hunko S., Yushchyk O., Havrysh B. Necessity for the transition of graphic arts industry on the metric system units
ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ	TRAINING EXPERTS
План набору слухачів на 2013 рік 72	State Enterprise for Year 2013
ІНФОРМАЦІЯ	INFORMATION
..... 14, 30, 39, 48	



Як вже повідомлялося в журналі (№6, 2012), у листопаді минулого року відбулася нарада керівників національних органів зі стандартизації, метрології й сертифікації держав-учасниць Угоди «Про проведення погодженої політики у сфері стандартизації, метрології й сертифікації» (42-ге засідання МДР).

Розглянувши матеріали, що надійшли, заслухавши й обговоривши виступи учасників відповідно до порядку денного, нарада ухвалила рішення.

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ

- Взято до відома інформацію стосовно ходу виконання Плану дій МДР на період до 2015 року з реалізації положень Стратегії розвитку МДР у період до 2020 року.

- Взято до відома інформації стосовно виконання внутрішньодержавних процедур, необхідних для вступу Протоколу від 22.11.2007 про внесення змін до Угоди про проведення погодженої політики у сфері стандартизації, метрології й сертифікації від 13.03.1992 та Протоколу від 22.11.2007 про внесення змін до Угоди про звільнення від сплати мит, податків і видачі спеціальних дозволів за провезення нормативних документів (НД), еталонів, засобів вимірювання і стандартних зразків, що провозяться з метою повірки й метрологічної атестації від 10.02.1995.

- Визнано за доцільне доопрацювання проекту Протоколу про внесення змін до Угоди про проведення погодженої політики у сфері стандартизації, метрології й сертифікації від 13.03.1992 з урахуванням пропозицій із удосконалювання роботи МДР, підвищення статусу міждержавних стандартів, інших, пов'язаних із цим, питань.

- Відзначено пропозиції з реалізації статті 11 «Технічні бар'єри у торгівлі» Договору про зону віль-

ної торгівлі у частині прийняття Угоди «Про міждержавні технічні регламенти держав-учасниць СНД»; Угоди між МДР та Євразійською економічною Комісією про співробітництво у сфері технічного регулювання.

- Взято до відома інформацію стосовно проведення конкурсу на здобуття Премії СНД за досягнення у сфері якості продукції й послуг 2013 року.

ТЕХНІЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ

- Взято до відома інформацію та визнано за доцільне продовження робіт з підготовки проекту Угоди про міждержавні технічні регламенти держав-учасниць СНД з метою виконання статті 11 Договору про зону вільної торгівлі, підписаного Радою голів урядів СНД 18.10.2011.

СТАНДАРТИЗАЦІЯ

- Взято до відома інформацію про хід реалізації Програми робіт з міждержавної стандартизації на 2010—2012 роки (ПМС 2010—2012). Відповідно до неї розроблено й прийнято 1110 міждержавних НД і змін до них. Погоджено пропозицію стосовно необхідності розроблення ПМС 2013—2015.

- Взято до відома інформації стосовно ходу реалізації Програм розвитку міждержавних стандартів, що забезпечують їхню гармонізацію з міжнародними стандартами у сфері енергоефективності й енергозаощадження та робіт з міждержавної стандартизації харчової продукції на період до 2015 року.

- Взято до відома інформацію стосовно підготовлених переліків НД, що подають на прийняття за перепискою, й такі, що мають розбіжності. Прийнято рекомендовані НТК МДР міждержавні НД й зміни до них. Взято до відома інформації, що за період після 41-го засідання МДР видано

42 раніше не виданих міждержавних стандарти. За станом на 10.11.2012 залишалися не виданими 8, прийнятих на попередніх засіданнях (включаючи 39-е). Із 745 міждержавних НД, прийнятих на 40, 41-му засіданнях і за перепискою, залишаються невиданими більше 700 міждержавних стандартів.

- Визнано за доцільне створення робочої групи для розроблення плану заходів щодо удосконалення діяльності з міждержавної стандартизації. Запропоновано національним органам утримуватися від прийняття змін і виправлень до міждержавних стандартів в однобічному порядку.

- Взято до відома інформацію стосовно зацікавленості національних органів у розробленні міждержавних НД на основі міжнародних стандартів і рекомендацій СЕФАКТ ЕЭК ООН у сфері електронного обміну даними в управлінні, торгівлі й на транспорті. Визнано за необхідне у ПМС 2013—2015 передбачити розроблення відповідних міждержавних НД, здійснювати розроблення всіх міждержавних стандартів, у тому числі й у сфері будівництва, за єдиними процедурами і прийняття їх МДР.

- Взято до відома інформацію стосовно координації робіт зі здійснення перекладів міжнародних і регіональних стандартів, створення переліку (бази даних) перекладів міжнародних і регіональних стандартів і розміщення його на Інтернет-сайті МДР.

- Взято до відома інформацію стосовно реєстрації МТК 534 «Забезпечення безпеки сільськогосподарської продукції й продовольчої сировини на основі принципів НАССР». Засновано МТК 284 «Трактори й машини сільськогосподарські» на базі МТК 284 «Машини для рослинництва», МТК 322 «Атомна техніка» й МТК 267 «Будівельно-дорожні машини й устаткування». Взято до відома пропозицію РФ стосовно доцільності установи МТК «Нанотехнології».

- Взято до відома інформацію, що доопрацьована Інтегрована автоматизована інформаційна система МДР (АІС МДР) забезпечує виконання функцій планування, розроблення, прийняття й розміщення на видання міждержавних НД. Відзначено актуальність завдання інтеграції АІС МДР із бібліографічними базами даних міждержавних стандартів ІПС «СНД Стандарт», її подальшого удосконалювання.

- Взято до відома інформацію стосовно проведеної актуалізації бібліографічних баз даних ІПС «СНД Стандарт».

МЕТРОЛОГІЯ

- Взято до відома інформацію стосовно результатів розгляду національними органами проекту

міждержавної Угоди «Про взаємне визнання результатів державних випробувань і затвердження типу, метрологічної атестації, перевірки й калібрування засобів вимірювання, а також результатів акредитації лабораторій, що здійснюють державні випробування, метрологічну атестацію, перевірку або калібрування засобів вимірювання».

- Взято до відома інформації стосовно ходу реалізації Програми зі створення й застосування міждержавних стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів на 2011—2015 роки; Програми робіт з розроблення атестованих даних про фізичні константи й властивості речовин і матеріалів за конкретними тематичними напрямками на 2007—2012 роки; Програми «Створення еталонів одиниці довжини нового покоління в діапазоні $10^{-9} \div 10^{-4}$ м на 2010—2012 роки»; Програми розроблення й перегляду основних НД ДСВ; Програми робіт зі створення системи метрологічного забезпечення вимірювань калорійності (енергії згоряння) газового палива у сфері газової калориметрії, а також інших видів палив; Плану розроблення міждержавних НД з удосконалювання обліку та якості взаємопоставляємих енергоносіїв; Плану розроблення міждержавних НД із метрологічного забезпечення радіаційної стерилізації виробів медичного призначення однократного застосування; Плану розроблення НД у сфері метрологічного забезпечення ІВС.

Прийнято рекомендовані НТКМетр проекти у категорії СТД СНД:

- Радіонуклід ^{226}Ra у рівновазі з дочірніми продуктами розпаду ^{222}Rn , ^{218}Po , ^{218}At , ^{218}Rn , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po , ^{210}Tl , ^{210}Pb , ^{210}Bi , ^{210}Po . Енергія, абсолютна ймовірність емісії альфа-, бета-, гама- і характеристичного рентгенівського випромінювань і період напіврозпаду;

- Корозійна стійкість металевих матеріалів і захисних покриттів (наноквазиметалів) у середовищах хлібопекарського виробництва;

- Рівноважні температури плавлення тонких плівок нікелю та міді товщиною 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 нм на поверхнях SiO_2 , Al_2O_3 і аморфного вуглецю;

- Суміші озонобезпечних фреонів R125+R290, R134a+R290, R23+R744, R41+R744. Рівняння стану й таблиці термодинамічних властивостей в інтервалі температур 220—420 К і тиску до 35 МПа;

- Вологе повітря. Вологий азот. Вологий водень. Вологий гелій. Вологий аргон. Вологий метан. Термодинамічні властивості в діапазоні температур 200—400 К, тисків 0,1—10 МПа й відносної вологості 0,2—1,0;

➤ Вуглецю диоксид вологий. Термодинамічні властивості в діапазоні температур 260—400 К, тисків 0,1—10 МПа й відносної вологості 0,2—1,0;

➤ Вода. Коефіцієнт динамічної в'язкості за температур 0—900 °С і тисків, від відповідних розрідженому газу до 1000 МПа;

у категорії СД СНД:

Методика розрахункового визначення теплопровідності пари *n*-алканів (C_1 — C_{12}), води й параводню на лінії насичення.

Схвалено результати роботи ФДУП «ВНИИМС» у 2012 році за темою «Удосконалювання державного первинного спеціального еталона одиниці довжини у сфері вимірювань параметрів шорсткості R_{\max} , R_z і R_a ГЭТ 113-2010».

▪ Прийнято як МСЗ знову розроблені національні стандартні зразки Республіки Білорусь, Російської Федерації й України. Погоджено рекомендовані НТКМетр пропозиції з актуалізації відомостей, включених до реєстру МСЗ та стосовно виключення з реєстру МСЗ 0632:2004 у зв'язку із припиненням виробництва.

▪ Погоджено пропозицію стосовно доцільності створення при НТКМетр робочої групи з питань забезпечення єдності вимірювань у сфері охорони здоров'я, враховуючи актуальність і соціальну важливість цієї проблеми.

ОЦІНЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ

▪ Взято до відома інформацію стосовно виконання «Рішення про заходи щодо сприяння розвитку взаємної торгівлі між державами-учасниками СНД» у частині взаємного визнання сертифікатів відповідності за 9 місяців 2012 року. Виявлені причини необхідності додаткових робіт із проведення оцінювання (підтвердження) відповідності, обумовлені наявністю проблеми під час проведення робіт з визнання сертифікатів відповідності на продукцію, пов'язану, насамперед, з відмінностями в обов'язкових вимогах НД, на відповідність яким проводиться сертифікація, а також неефективним застосуванням Угоди від 16.04.2004 «Про порядок взаємодії під час гігієнічного оцінювання потенційно небезпечної продукції, імпортованої до держав-учасниць СНД».

АКРЕДИТАЦІЯ

▪ Взято до відома аналітичну інформацію стосовно ступеня гармонізації (сумісності) положень, виконання яких є необхідним для визнання робіт у сфері акредитації в державах-учасниках СНД. Визнано необхідність її використання для подальшої роботи за проектом міждержавної Угоди про вза-

ємне визнання акредитації органів зі сертифікації й випробувальних лабораторій (центрів), що виконують роботи з оцінювання (підтвердження) відповідності й планами розвитку національних систем акредитації.

▪ Затверджено Програму розроблення міждержавних стандартів з питань акредитації на основі міжнародних НД. Рекомендовано розробляти у сфері оцінювання відповідності й акредитації ідентичні міждержавні стандарти на базі міжнародних.

▪ Прийнято до виконання Рішення Ради голів урядів СНД від 30.05.2012, згідно з яким МДР доручено здійснити доопрацювання проекту міждержавної Угоди про взаємне визнання результатів робіт з акредитації органів із сертифікації й випробувальних лабораторій (центрів), що виконують роботи з оцінювання (підтвердження) відповідності.

ОРГАНІЗАЦІЙНІ ПИТАННЯ

Запропоновано провести чергові засідання:

• 43-є засідання МДР у другій—третьій декаді травня 2013 року в Уфі, Російська Федерація;

• Нараду керівників національних органів (44-е засідання МДР) у листопаді — грудні 2013 року в Республіці Білорусь;

❖ 45-е засідання НТК зі стандартизації (НТКС) разом з 28-м засіданням РГ з інформаційних технологій у квітні 2013 року в Астані, Республіка Казахстан;


❖ 37-е засідання НТК з метрології (НТКМетр) і 13-е засідання РГ з теоретичної метрології (ТМ) НТКМетр у березні — квітні 2013 року в Республіці Вірменія;

❖ 31-е засідання НТК з оцінювання відповідності (НТКОВ) і 31-е засідання НТК з акредитації (НТКА) у березні — квітні 2013 року в Києві, Україна;

❖ 19-е засідання НТК у сфері методології й організації робіт з нагляду й контролю за дотриманням вимог технічних регламентів, норм і правил (НТКН) у березні — квітні 2013 року в м. Душанбе, Республіка Таджикистан;

❖ 4-е засідання РГ з питань міжлабораторних порівняльних випробувань (МПВ) НТКМетр у вересні — жовтні 2013 року в Мінську, Республіка Білорусь;

❖ 3-є засідання РГ ПВ НТКМетр у грудні 2012 року в Санкт-Петербурзі, Російська Федерація;

❖ 6-е засідання РГ з проблем обігу хімічної продукції (ОХП) і 6-тої Міжнародної Конференції з регулювання безпеки хімічної продукції у вересні 2013 року в Мінську, Республіка Білорусь. 



О. Гіленко, заступник начальника управління з питань метрології —
начальник відділу законодавчого забезпечення метрології,
Департамент технічного регулювання Мінекономрозвитку України, м. Київ

*Представлено результати діяльності
Департаменту технічного регулювання
Мінекономрозвитку України у сфері
метрології за 2012 рік.*

*The report presents the results of activity
of Department of technical regulation
of Mineconomrozytku of Ukraine on
metrology in 2012.*

Найважливішим завданням метрології та метрологічної діяльності є забезпечення єдності вимірювань у державі. В Україні метрологічну діяльність врегульовано Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність» (Закон), спрямованим на захист громадян та національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірень, забезпечення якості та конкурентоспроможності вітчизняної продукції.

Законотворча та нормотворча діяльність

➤ Підготовлено та подано на розгляд Верховної Ради України проект Закону України «Про порядок обчислення часу на території України», зареєстрований у Верховній Раді України 27.02.2012 за № 10125. Відповідно до витягу з протоколу № 95 засідання Кабінету Міністрів України від 14.12.2012 проект Закону, відповідно до ст. 105 Регламенту Верховної Ради України, вважається відкликаним.

➤ Розроблено проект Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність», зареєстрований у Верховній Раді України 20.10.2012 за № 11369. Відповідно до витягу з протоколу № 95 засідання Кабінету Міністрів України від 14.12.2012 проект Закону, відповідно до статті 105 Регламенту Верховної Ради України, вважається відкликаним.

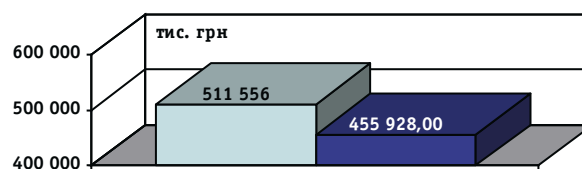
➤ На виконання підпункту 93.2 пункту 93 Національного плану дій на 2012 рік, постановою Кабінету Міністрів України від 29.08.2012 № 805 затверджено «Порядок оплати метрологічних робіт і послуг».

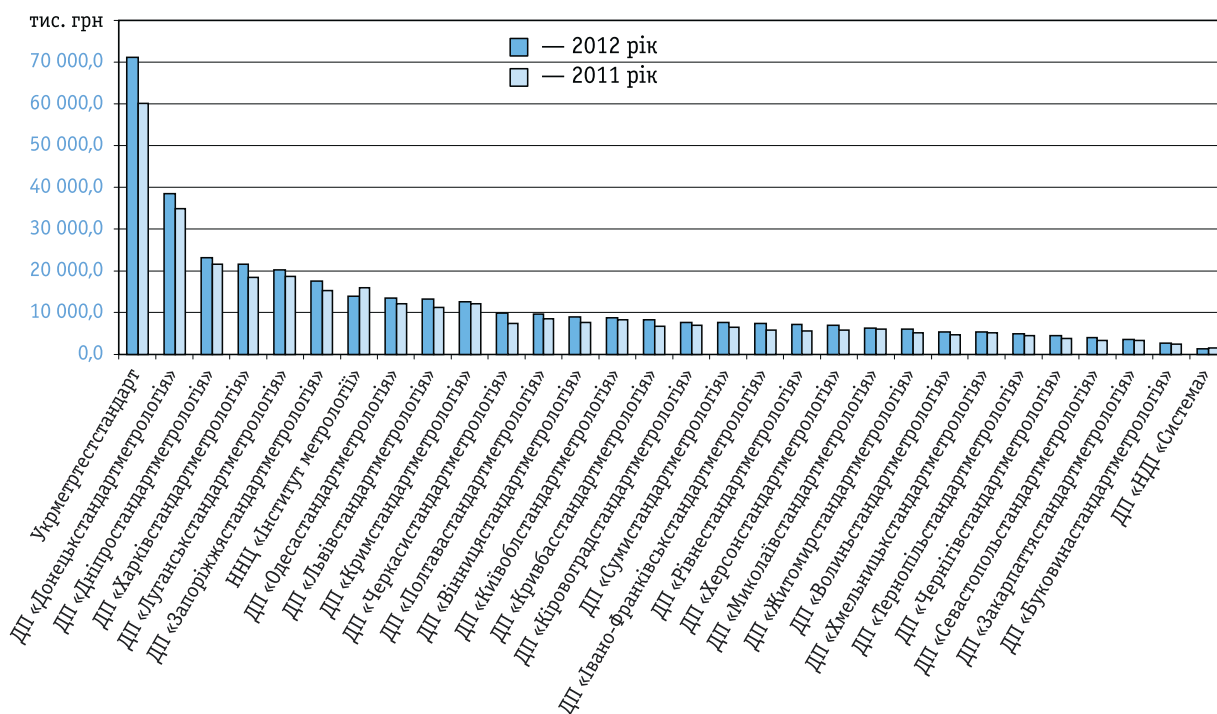
➤ На виконання підпункту 93.2 пункту 93 Національного плану дій на 2012 рік наказом Мінекономрозвитку від 15.06.2012 № 706 затверджено «Методику визначення вартості метрологічних робіт і послуг». Наказ зареєстровано у Міністерстві юстиції України 05.10.2012 за № 1696/22008.

Виробнича діяльність

Загальний обсяг виконаних метрологічних робіт державними підприємствами та установами, що належать до сфери управління Мінекономрозвитку (ДП) за 2012 рік становить — 511 млн. 556 тис. грн., що на 12 % більше порівняно з 2011 роком (455 928,3 тис. грн.).

Загальний обсяг метрологічних робіт становить 65,2% від загального обсягу виконаних робіт, а в деяких





Загальні обсяги виконаних метрологічних робіт підприємствами, що належать до сфери управління Мінекономрозвитку, у 2012 році порівняно з 2011 роком

ДП є значно вищим: ДП «Донецькстандартметрологія» — 81,2 %; ДП «Дніпростандартметрологія» — 79,5 %; ДП «Луганськстандартметрологія» — 79,4 %; ДП «Запоріжжястандартметрологія» — 76,2 %; ДП «Київоблстандартметрологія» — 73,1 %; ДП «Закарпаттястандартметрологія» — 72,9 %.

Протягом 2012 року метрологічними підрозділами метрологічних інститутів та ДП:

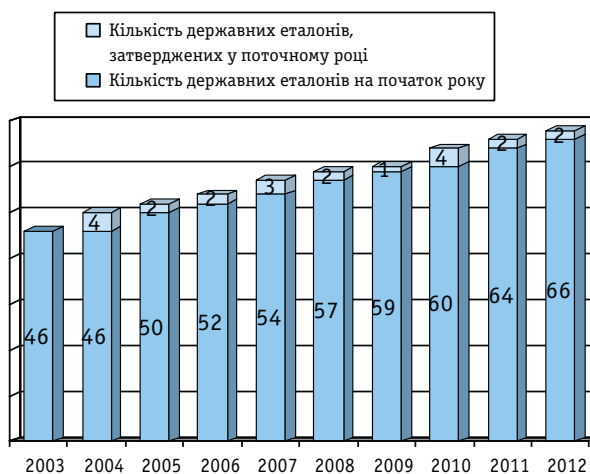
- здійснено повірку 11 935,5 тис. одиниць засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) (2011 рік — 12 320,7 тис. одиниць); метрологічну атестацію 119,4 тис. одиниць ЗВТ (89,5 тис. одиниць ЗВТ); калібрування 36,6 тис. одиниць ЗВТ (49,7 тис. одиниць ЗВТ);
- проведено 70 державних приймальних та 234 контрольних випробування ЗВТ (2011 рік — відповідно 49 та 272);
- освоєно 225 нових видів повірки ЗВТ (2011 рік — 268).
- атестовано 4426 вимірювальних лабораторій та взято участь в атестації 1596 лабораторій (2011 рік — відповідно 4642 та 1564); 281 методика виконання вимірювань та методик повірки ЗВТ (2011 рік — 318).

За позитивними результатами державних приймальних та контрольних випробувань ЗВТ до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки, допущених до застосування в Україні, занесено 342 типи ЗВТ, у тому числі 60 — вітчизняного виробництва та 137 — на підставі міжнародних Угод.

Відповідно до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» за звітний період: розширили галузь уповноваження 5 ДП (2011 рік — 7); уповноважено 40 повірочних лабораторій (2011 рік — 17) на проведення повірки ЗВТ (підприємства «Укрзалізниця», «Укрпошти», «Медтехніка» тощо); атестовано 22 лабораторії (2011 рік — 20) на проведення калібрування ЗВТ.

Наукова діяльність

У 2012 році державними метрологічними центрами виконувалися роботи згідно з планом науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт у сфері метрології й еталонної бази на 2012 рік, затвердженим наказом Мінекономрозвитку від 23.03.2012 № 405, за такими напрямками:



- ❖ виконання та координація робіт з міжнародного співробітництва у сфері метрології;
- ❖ створення наукових та методичних засад функціонування державної метрологічної служби;
- ❖ створення і удосконалення державних первинних та вторинних еталонів одиниць вимірювань;
- ❖ науково-методичне забезпечення єдності вимірювань «Метрологія-1»;
- ❖ забезпечення відтворення та зберігання одиниць вимірювань державними еталонами;
- ❖ створення державних стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів;
- ❖ проведення звірень державних еталонів з національними еталонами інших держав і міжнародними еталонами;
- ❖ визначення стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів;
- ❖ забезпечення функціонування Державної служби єдиного часу і еталонних частот, Державної служби стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів, Державної служби стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів.

Активно проводили наукову діяльність у сфері метрології ННЦ «Інститут метрології», ДП «Укр-

метрестандарт», ДП «НДІ «Система», ДП «Івано-Франківськстандартметрологія».



















ДП проведено 109 конференцій, семінарів та нарад з питань метрології. Протягом звітного періоду опубліковано 146 наукових праць; зареєстровано 4 винаходи (ННЦ «Інститут метрології», ДП «Івано-Франківськстандартметрологія»); написано 111 відгуків, експертних висновків, рецензій на статті, звітів, дисертацій та інших наукових праць; розроблено 11 стандартів та проведено 32 експертизи міждержавних стандартів у сфері метрології.

Пріоритетними напрямами подальшого

розвитку Державної метрологічної служби є:

- ♦ удосконалення нормативно-правової та нормативної бази з метрології шляхом упровадження відповідних міжнародних та європейських документів;
- ♦ удосконалення і подальший розвиток еталонної бази та забезпечення її ефективного функціонування;
- ♦ участь у роботі міжнародних і регіональних метрологічних організацій, подальший розвиток двостороннього співробітництва з національними науковими метрологічними інститутами Європи. ■

КАЛІБРУВАЛЬНІ ТА ВИМІРЮВАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ (РОЗПОДІЛ ОПУБЛІКОВАНИХ У БАЗІ ДАНИХ ВІРМ СМС-РЯДКІВ ЗА ТЕМАТИЧНИМИ ГАЛУЗЯМИ) КРАЇН-ЧЛЕНІВ СОOMET ЗА СТАНОМ НА 01.01.2013

TK контролер:		TK 1.2	TK 1.3	TK 1.4	TK 1.5	TK 1.6	TK 1.7	TK 1.8	TK 1.9	TK 1.10	TK 1.11
направление:		AUV	EM	L	M	F	PR	QM	RI	T	TF
страны	4548	223	943	217	331	72	200	1105	818	456	183
 AM											
 AZ											
 BY	148	8	12	13	2		3	11	41	27	31
 BG	199	30	76	9	24		8	5	7	24	16
 CU	75					12			63		
 DE	1625	76	263	93	160	39	76	525	267	101	25
 GE											
 KP											
 KZ	16			6	6						4
 KG											
 LT	95		33	9	12	8				17	16
 MD											
 RO	264	8	98	20	30		15	6	34	44	9
 RU	1528	72	325	20	59		87	463	329	137	36
 SK	417	6	83	22	37	10	11	74	76	82	16
 TJ											
 UA	181	23	53	25	1	3		21	1	24	30
 UZ											

(За матеріалами COOMET)

УДК 006.91:621.753.38:531

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ДЛЯ ШКАЛИ РОКВЕЛЛА, ВІДТВОРЮВАНОЇ ДЕРЖАВНИМ ПЕРВИННИМ ЕТАЛОНОМ УКРАЇНИ

В. Скляр, кандидат технічних наук, учений секретар,
ННЦ «Інститут метрології», м. Харків

Подано роботи стосовно обчислення бюджету невизначеності для шкали Роквелла Державного первинного еталона України одиниць твердості (ДЕТУ 02-04-99). Складові бюджету невизначеності обчислені для попереднього і загального навантаження, часу їхньої дії, швидкості вантаження, сфероконічного і сферичного інденторів. Робота виконувалася на ДЕТУ 02-04-99 у рамках підготовки еталона до міжнародних звірень, які передбачають опорні рівні 20HRC, 30HRC, 45HRC, 60HRC і 64/65HRC.

This paper presents works on calculation of uncertainty budget for the Rockwell scale of the State primary standard units of hardness of Ukraine (ДЕТУ 02-04-99). Components of uncertainty budget calculated for the preload and the total load, duration of their effects, loading speed, spheroconical and spherical indenters. The work was executed on ДЕТУ 02-04-99 in preparation the measurement standard to international comparison, which provides reference levels 20HRC, 30HRC, 45HRC, 60HRC and 64/65HRC.

Визначення твердості на ДЕТУ 02-04-99 залежить від результатів вимірювань великої кількості різних параметрів, таких як маса навантажень, радіус сферичного, радіус і кут сфероконічного інденторів, глибина проникнення індентора, час прикладання навантажень, незбіжність осі державки індентора з віссю прикладання навантаження. Кожна із цих величин має невизначеність, яка дає внесок до загальної невизначеності вимірювання твердості. У процесі проведення міжнародних звірень кожна із сторін — учасників надає пілотній лабораторії бюджет невизначеності свого національного еталона. Складання бюджету невизначеності за алгоритмом, представленим у [1], дозволяє порівнювати державні (національні) еталони і проводити опрацювання результатів міжнародних звірень з метою підтвердження заявленого рядка СМС (calibration and measurement capabilities)) щодо калібрувальних і вимірювальних можливостей країни на сайті JCRB (Joint Committee of the Regional Metrology Organizations and the BIPM) — Об'єднаного Комітету Міжнародного бюро з мір і вагів (BIPM) та Регіональних метрологічних організацій (РМО).



ВИЗНАЧЕННЯ ДОСЛІДЖУВАНИХ ПАРАМЕТРІВ

Згідно з [2] алгоритм вимірювання твердості на еталоні й використання мір твердості для передавання одиниці твердості мають відповідати стандартам ISO 6508-1, 2, 3:2005 [3–5]. Ураховуючи нову методологію обчислення невизначеності (використання коефіцієнтів чутливості) для еталонів твердості, запишемо рівняння твердості у неявному виді:

$$HR = f(F_0, F, \alpha_m, R_a, (R_p), h, V_{fis}, T_p, T_{df}, d), \quad (1)$$

де F_0 — попереднє навантаження; F — загальне навантаження; α_m — кут сфероконічного індентора (для шкал HRA, HRC); R_a — радіус наконечника сфероконічного індентора (для шкал HRA, HRC); R_p — радіус сферичного індентора (для шкали HRB); h — глибина індентування; V_{fis} — швидкість індентування за загального навантаження; T_p — час дії попереднього навантаження; T_{df} — час дії загального навантаження; d — незбігання державки індентора з віссю прикладення навантаження.

Відношення змін вимірюваних значень твердості ΔH і кожного із параметрів Δx_i складових невизначеності визначається як коефіцієнт чутливості c_i :

$$c_i = \Delta H / \Delta x_i. \quad (2)$$

Коефіцієнт чутливості є величиною, що міститься у межах допусків режимів роботи еталона.

Коефіцієнти чутливості для глибини індентування можна визначити із рівнянь вимірювання для шкали Роквелла з урахуванням різних типів інденторів за формулами [6]:

$$\text{для шкал HRA і HRC } G_{1,2} = 100 - h/2, \quad (3)$$

$$\text{для шкали HRB } G_3 = 130 - h/2, \quad (4)$$

де h — глибина проникнення індентора у міру під дією повного навантаження, мкм.

Обчислимо їх, узявши частинні похідні з рівнянь (3), (4):

$$\Delta G_i / \Delta h = -0,5, \quad i = 1 - 3.$$

Інші коефіцієнти чутливості еталона можна визначити лише експериментально.

Проведення вимірювань і представлення результатів

Завдання визначення коефіцієнтів чутливості зводиться до вимірювання твердості еталонних мір 1-го розряду за різних варіацій складових бюджету невизначеності для кожного із діапазонів твердості, відтворюваного еталонном. Відповідно до Державної повірочної схеми ДСТУ 3869-99 визначено піддіапазони шкали Роквелла (табл. 1).

Для кожного із 5-ти піддіапазонів використовувалися по дві міри твердості зі значеннями твердості, які містилися у межах діапазону. Документ [4] (ДСТУ ISO 6508-2:2005) регламентує:

Таблиця 1. Піддіапазони шкали Роквелла

1	Шкала Роквелла	80 — 86 HRA
2		80 — 100 HRB
3		20 — 30 HRC
4		40 — 50 HRC
5		60 — 70 HRC

- допустиме відхилення попереднього навантаження F_0 (до прикладення і після зняття додаткового навантаження F) має складати $\pm 2\%$;

- допустиме відхилення сумарного випробувального навантаження має складати $\pm 1\%$, кожне окреме значення F міститься у межах цього допустимого відхилення.

Отже, відхилення F_0 для шкали Роквелла не перевищують 200 г. Відхилення F складає від 600 до 1500 г за максимального навантаження 150 кг.

Згідно з [4] сфероконічний індентор Роквелла має мати прилеглий кут $(120 \pm 0,35)^\circ$, радіус сфери при вершині $(0,2 \pm 0,005)$ мм. Сферичний індентор для піддіапазону HRB має мати радіус $(1,5875 \pm 0,0035)$ мм.

Під час дослідження алмазних сфероконічних інденторів Роквелла [7] отримано такі значення кутів і діаметрів (табл. 2).

Відповідно до [3] час дії попереднього навантаження не має перевищувати 3 с ($T_p \leq 3$ с), час дії загального навантаження T_{df} має складати від (4 ± 2) с. Також важливим є дотримання швидкості індентування у разі прикладання додатку загального навантаження — $0,02 \text{ мм/с} < V_{fis} < 0,04 \text{ мм/с}$.

У процесі проведення кожного експерименту змінювався один із параметрів (складова бюджету невизначеності), інші ж приймалися як постійні. Вимірювання кожної складової бюджету невизначеності проводилося п'ятьма впровадженнями індентора за усією площею міри твердості. На кожній із мір твердості, які відповідають шкалі з використанням сталеві кульки (HRB), проводилося 30 вимірювань (по 5 кожної з 6-ти складових бюджету невизначеності). На кожній із мір твердості,

Таблиця 2. Значення кутів і діаметрів

Номер індентора	Кут конуса, °	Радіус наконечника, мм
945	119,637	0,2103
1048	119,428	0,1924
2111	120,247	0,1965
3524	120,358	0,2096

які відповідають шкалам з використанням сфероконачного індентора (*HRA*, *HRC*), проводилося також 30 вимірень (по 5 кожного з 6-ти складових бюджету невизначеності), оскільки параметри сфероконачного індентора (кут і радіус) вимірюються одночасно. За кожним піддіапазоном, для кожної складової бюджету невизначеності за отриманими 5-ма точками будуємо криву вимірювань. Методом найменших квадратів лінійно апроксимуємо отримані точки на графіку, визначаємо рівняння отриманої прямої й коефіцієнт чутливості (тангенс кута нахилу прямої) для певної складової бюджету невизначеності у досліджуваному піддіапазоні.

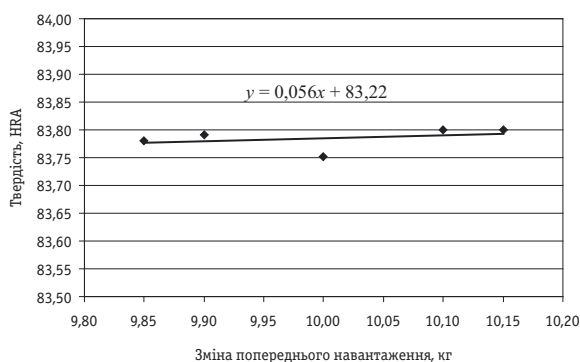


Рис. 1. Визначення впливу попереднього навантаження

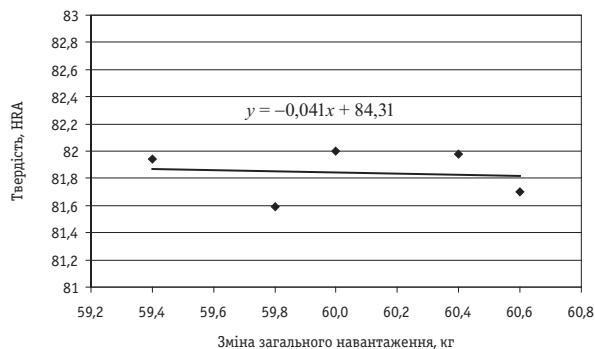


Рис. 2. Визначення впливу загального навантаження

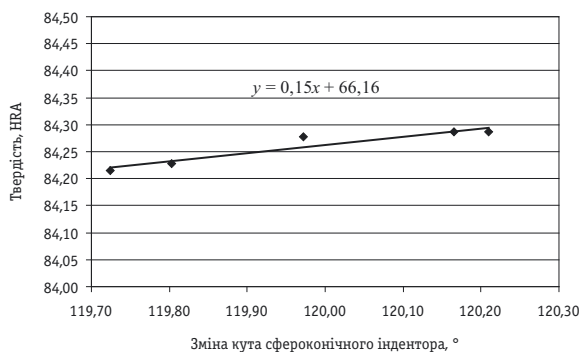


Рис. 3. Визначення впливу кута сфероконачного індентора

На рис. 1—6 представлено графіки проведених експериментів із визначення коефіцієнтів чутливості для піддіапазону 80—86 HRA.

Аналогічні графіки проведених експериментів побудовано для визначення коефіцієнтів чутливості для піддіапазонів 80—100 HRB, 20—30 HRC, 40—50 HRC, 60—70 HRC.

У табл. 3 представлено коефіцієнти чутливості для шкали Роквелла з використанням сфероконачного індентора і сферичного індентора для зазначених піддіапазонів.

На основі певних коефіцієнтів чутливості складається бюджет невизначеності за кожним піддіапазоном. Згідно з [2] проводиться обчислення

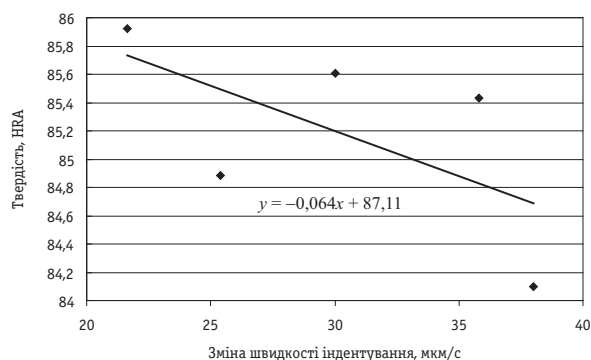


Рис. 4. Визначення впливу швидкості індування

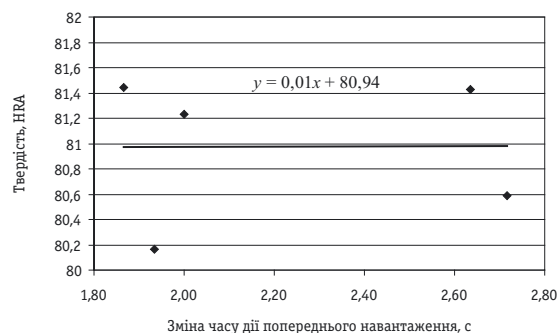


Рис. 5. Визначення впливу часу дії попереднього навантаження

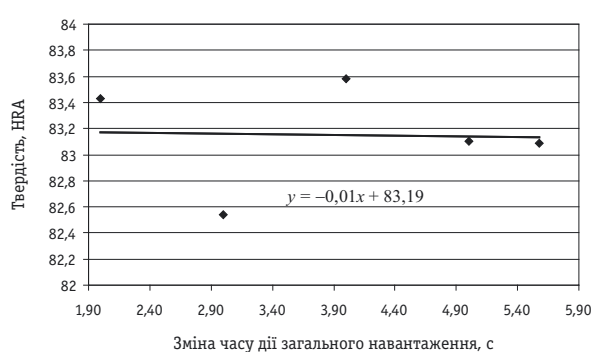


Рис. 6. Визначення впливу часу дії загального навантаження

Таблиця 3. Коефіцієнти чутливості для шкали Роквелла

Параметр, од. вим.	Описання параметра	Символ коеф. чутливості	Коефіцієнт чутливості				
			80—86 HRA	80—100 HRB	20—30 HRC	40—50 HRC	60—70 HRC
F_0 , Н	Попереднє навантаження	$\frac{\Delta HR}{\Delta F_0}$	0,056	0,07	0,11	0,15	– 0,17
F , Н	Загальне навантаження	$\frac{\Delta HR}{\Delta F}$	– 0,041	– 0,1	– 0,03	– 0,15	– 0,15
R_{α} , мм	Радіус сфероконічного індентора	$\frac{\Delta HR}{\Delta R_{\beta}}$	0,15	—	– 0,14	– 0,17	0,19
R_{β} , мм	Радіус сферичного індентора	$\frac{\Delta HR}{\Delta R_{\beta}}$	—	– 0,1	—	—	—
α , °	Кут сфероконічного індентора	$\frac{\Delta HR}{\Delta \alpha}$	0,15	—	– 0,14	0,17	0,19
V_{fis} , мкм/3	Швидкість індентування за загального навантаження	$\frac{\Delta HR}{\Delta V_{fis}}$	– 0,064	– 0,2	– 0,014	– 0,04	– 0,05
T_p , с	Час дії попереднього навантаження	$\frac{\Delta HR}{\Delta T_p}$	– 0,01	0,1	0,01	0,03	0,03
T_{df} , с	Час дії загального навантаження	$\frac{\Delta HR}{\Delta T_{df}}$	– 0,01	0,1	0,01	0,03	0,03

сумарної стандартної та розширеної невизначеностей. Як приклад представимо у табл. 4—6 бюджет невизначеностей для шкал 80—86 HRA, 80—100 HRB, 40—50 HRC, відповідно.

Обчислені значення розширеної невизначеності порівнюються зі значеннями розширеної не-

значеності країн-учасників міжнародних звірень. Для кожного піддіапазону твердості будуються графіки, що відображають вимірені кожним із учасників звірень значення твердості з розширеною невизначеністю. За результатами графічного представлення результатів робиться висновок стосовно

Таблиця 4. Бюджет невизначеності для шкали 80—86 HRA

Параметр, од. вим.	Відмінність від номінального значення, Δx_i	Стандартна невизначеність $u(x_i) = \frac{\Delta x_i}{\sqrt{3}}$	Коефіцієнт чутливості, $c_i = \frac{\Delta H}{\Delta x_i}$	Відхилення значення твердості, $\Delta H_i = \Delta x_i \cdot c_i$, HRC	Внесок невизначеності, $u_i(H) = c_i \cdot u(x_i)$, HRC
F_0 , Н	0,2	0,115	0,056	0,011	0,006
F , Н	1,5	0,886	– 0,041	– 0,061	– 0,036
α_m , °	0,1	0,058	0,150	0,015	0,009
R_{α} , мм	1,0	0,577	0,150	0,150	0,087
l , мкм	0,1	0,058	0,500	0,050	0,029
V_{fis} , мкмс	0,7	0,404	– 0,064	– 0,048	– 0,026
T_p , с	0,2	0,115	– 0,010	– 0,002	0,001
T_{df} , с	0,2	0,115	– 0,010	– 0,002	0,003
d , мкм	0,3	0,173	0,500	0,150	0,087
Стандартна невизначеність $u(H) = \sqrt{\sum_i u_i^2(H)}$, HRC					0,134
Розширена невизначеність $U_p = k \cdot u(H)$, HRC					0,267

Таблиця 5. Бюджет невизначеності для шкали 80 — 100 HRC

Параметр, од. вим.	Відмінність від номінального значення, Δx_i	Стандартна невизначеність, $u(x_i) = \frac{\Delta x_i}{\sqrt{3}}$	Коефіцієнт чутливості $c_i = \frac{\Delta H}{\Delta x_i}$	Відхилення значення твердості $\Delta H_i = \Delta x_i \times c_i, HRC$	Внесок невизначеності, $u_i(H) = c_i \times u(x_i), HRC$
$F_0, Н$	0,2	0,115	0,07	0,014	0,008
$F, Н$	1,5	0,886	-0,10	-0,150	-0,087
$R_{\beta}, мм$	1,0	0,577	-0,10	-0,100	-0,058
$l, мкм$	0,1	0,058	0,50	0,050	0,029
$V_{fis}, мкм/с$	0,7	0,404	-0,20	-0,140	-0,081
$T_p, с$	0,2	0,115	0,10	0,020	0,012
$T_{df}, с$	0,2	0,115	0,10	0,020	0,012
$d, мкм$	0,3	0,173	0,50	0,150	0,087
Стандартна невизначеність $u(H) = \sqrt{\sum_i u_i^2(H)}, HRC$					0,161
Розширена невизначеність $U_p = k \cdot u(H), HRC$					0,323

Таблиця 6. Бюджет невизначеності для шкали 40 — 50 HRC

Параметр, од. вим.	Відмінність від номінального значення, Δx_i	Стандартна невизначеність $u(x_i) = \frac{\Delta x_i}{\sqrt{3}}$	Коефіцієнт чутливості $c_i = \frac{\Delta H}{\Delta x_i}$	Відхилення значення твердості, $\Delta H_i = \Delta x_i \times c_i, HRC$	Вклад невизначеності, $u_i(H) = c_i \times u(x_i), HRC$
$F_0, Н$	0,2	0,115	0,15	0,030	0,017
$F, Н$	1,5	0,886	- 0,15	- 0,225	- 0,130
$\alpha_m, ^\circ$	0,1	0,058	0,17	0,017	0,010
$R_{\alpha}, мм$	1,0	0,577	0,17	0,170	0,098
$l, мкм$	0,1	0,058	0,50	0,050	0,029
$V_{fis}, мкм/с$	0,7	0,404	- 0,04	- 0,028	- 0,016
$T_p, с$	0,2	0,115	0,03	0,006	0,003
$T_{df}, с$	0,2	0,115	0,03	0,006	0,003
$d, мкм$	0,3	0,173	0,50	0,150	0,087
Стандартна невизначеність $u(H) = \sqrt{\sum_i u_i^2(H)}, HRC$		0,188			
Розширена невизначеність $U_p = k \cdot u(H), HRC$		0,377			

підтвердження або непідтвердження заявлених значень невизначеності для кожного учасника за кожним із піддіапазонів твердості.

ВИСНОВОК

Визначені під час створення ДЕУ 02-04-99 межі невиключеної систематичної похибки (НСП) Θ і визначення середнього квадратичного відхилення (СКВ) результату вимірен S урахувували

експериментальні результати лише навантажень 10, 60, 100, 150 кгс для шкали Роквелла [8]. Нова методологія складання бюджету невизначеності для країн-учасниць міжнародних звірень дозволяє представити усі складові бюджету невизначеності для кожної зі шкал твердості окремо. Значення розширених невизначеностей для кожного діапазону і піддіапазону уточнено і відповідають значенням розширеної невизначеності

національних еталонів країн-членів COOMET (Cooperation in Metrology European Countries), APMP (Asian Pacific Metrology Program) і CCM (Consultative Committee for Mass and Related Quantities).

Підтвердження рядком СМС за шкалою твердості Роквелла дозволить Україні надавати метрологічні послуги за цим видом вимірювань зарубіжним клієнтам, поставляти відповідну продукцію, що пройшла калібрування на ДЕТУ 02-04-99.

Як перспективні напрями досліджень можна означити складання бюджету невизначеності для шкали Супер-Роквелла, дослідження відхилення значень бюджету невизначеності за збільшення інтервалів, часу прикладання попереднього і загального навантажень, задання швидкості інденування у діапазоні від 2 до 120 мкм/с. Заслугує на увагу дослідження існуючого парку інденторів з метою проведення міжнародних звірень з використанням і мір твердості, й інденторів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений». ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» // Санкт-Петербург, 2001. — 20 с.
2. Calibration guide EURAMET/cg-16/v.01 «Guidelines on the estimation of uncertainty in hardness measurements (originally EA-10/16)».
3. ISO 6508-1: Metallic Materials – Rockwell hardness test (scale A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T) – Part 1: Test method. — Geneva, International Organization for Standardization, 2005.
4. ISO 6508-2: Metallic Materials — Rockwell hardness test (scale A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T) — Part 2: Verification and calibration of the testing machine. — Geneva, International Organization for Standardization, 2005.
5. ISO 6508-3: Metallic Materials — Rockwell hardness test (scale A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T) – Part 3: calibration of reference blocks. — Geneva, International Organization for Standardization, 2005.
6. Low S.R. Rockwell Hardness Measurement of Metallic Materials. — NIST, Special publication 960-5, 2001. — 116 p.
7. Довженко Я. С. Экспериментальные исследования влияния геометрии индендера при измерении твердости / Я.С. Довженко, К.П. Неежмаков, В.В. Скляров // Український метрологічний журнал (УМЖ). — 2012. — № 3. — С. 43—47.
8. Сидоренко Г.С. Государственные первичные эталоны единиц твердости по шкалам Бринелля и Виккерса, Роквелла и Супер-Роквелла / Г.С. Сидоренко, В.Б. Большаков, Я.С. Довженко и др. // УМЖ. — 1999. — № 2. — С. 51—55. ■

ПІДТВЕРДЖЕНО КОМПЕТЕНТНІСТЬ ОРГАНУ З ОЦІНЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Одним із перших найважливіших процесів реформування системи технічного регулювання в Україні є перехід від обов'язкової сертифікації до оцінення відповідності продукції (послуг) вимогам технічних регламентів, гармонізованих з європейськими директивами. Нині продукція, яка підпадає під дію технічних регламентів, оцінюється з використанням так званого «модульного підходу» за участі органів з оцінення відповідності, до яких належить й ДП «Харківстандартметрологія».

Підприємство одним з перших в Україні призначено на виконання таких робіт. Наразі, на виконання Закону України «Про стандарти, технічні регламенти й процедури оцінювання відповід-

ності», Орган з оцінення відповідності продукції ДП «Харківстандартметрологія» підтвердив свою компетентність і відповідність вимогам чотирьох технічних регламентів щодо засобів індивідуального захисту, мийних засобів, медичних виробів, будівельних виробів, будинків і споруд згідно з ДСТУ EN 45011-2001 й акредитований Національним агентством з акредитації України.

На сьогодні в Україні прийнято 42 технічні регламенти. З упровадженням технічних регламентів на конкретну продукцію вона вилучається із переліку продукції, що підлягає обов'язковій сертифікації в Україні. ■

(За матеріалами ДП «Харківстандартметрологія»)

УДК 621.317.332.1:621.3.087.92

МЕТОД ВІДНІМАННЯ ІМПЕДАНСІВ У КОНДУКТОМЕТРИЧНИХ БІОСЕНСОРНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ

І. Гребеньков, аспірант,

О. Міхаль, кандидат технічних наук, науковий співробітник,
Інститут електродинаміки НАН України, м. Київ

Представлено метод віднімання імпедансів для неінформативних параметрів компенсаційних біосенсорних перетворювачів, що забезпечує подавлення неінформативних компонентів вимірювання вихідного сигналу схеми за допомогою двох регуляторів.

The study presents a method of subtracting impedances for compensation biosensor converter's non-informative parameters. This method provides suppress non-informative components of measuring circuit's output signal by means of two regulators.

Вимірювання концентрації досліджуваних речовин із застосуванням кондуктометричних біосенсорів (КБС) відбувається у буферному середовищі, що є розчином електроліту, тобто провідником з іонним типом провідності. У цей розчин додається досліджувана речовина, яка проникає у селективну мембрану і зумовлює зміну концентрації іонів. За відомих типів іонів та їхніх рухливостей основним параметром, що характеризує концентрацію, є питома електрична провідність. За допомогою чутливого елемента, що є системою електродів, відбувається перетворення вхідної фізичної величини — питомої електричної провідності на вихідну — електричну провідність. Отже, інформативним параметром КБС є приріст провідності. Однак наявність гальванічного контакту електродів з буферним розчином і деякі властивості останнього ускладнюють процес виділення корисного сигналу. Це, перш за все:

а) значна (на два порядки відрізняється від значення інформативного параметра) фонові провідність буферного розчину, яка не дозволяє повністю використовувати динамічний діапазон;

б) суттєва (2 %/°C) крутизна температурної залежності провідності буферного розчину;

в) приелектродні процеси на межі електрод / електроліт, представлені низкою неінформативних параметрів з нестабільними характеристиками.

Для подавлення неінформативних складових і забезпечення необхідної стабільності вимірювань використовують диференціальний датчик, у якому приріст провідності вимірюється відносно іншого кондуктометричного датчика (КД) з мембраною, що не має селективних властивостей.



І. Гребеньков



О. Міхаль

У процесі попередніх експериментальних досліджень [1] встановлено, що двоелементною моделлю, яка найбільш адекватно відображає частотні властивості КД, є послідовна ємнісна еквівалентна схема заміщення. Тангенс фазового кута на частотах (20—30) кГц є близьким до одиниці. Для послідовної схеми заміщення зручніше використовувати модель у формі імпеданса (Z), а не адмітанса (Y). Позначимо імпеданс вміщених у буферний розчин датчиків із селективною і неселективною мембранами відповідно

$$Z_{01} = R_1 - jX_1 \quad (1)$$

$$Z_{02} = R_2 - jX_2 \quad (2)$$

де R_1 і R_2 — активні, а X_1 і X_2 — реактивні складові імпедансів.

Припустимо, що інформативним, корисним параметром КБС є приріст R_x активної складової у послідовній схемі заміщення. Тобто

$$Z_1 = Z_{01} + R_x. \quad (3)$$

На робочих частотах (20—30) кГц між модулем повного імпеданса і параметрами диференціального датчика встановлено також такі кількісні співвідношення [1]:

$$\begin{aligned} (0,15 - 0,25) \times |Z_{01}| &= |R_1 - R_2|, \\ (0,15 - 0,25) \times |Z_{01}| &= |X_1 - X_2|, \\ (0,01 - 0,02) \times |Z_{01}| &= R_x. \end{aligned} \quad (4)$$

Один із найбільш поширених методів перетворення засновано на використанні напіврівноваженого чотириплічного моста, у плечі якого включено датчики зі селективною і неселективною мембранами [1, 2]. Для реалізації методу слугує інформаційно-вимірювальна система, що містить окремі вимірювальні прилади: генератор звукових частот, диференціальний підсилювач з високим коефіцієнтом подавлення синфазної складової й селективний вольтметр з відповідними виходами для передавання даних до самописця або ПК. Очевидно, таке рішення на сьогодні є достатньо складним і, відповідно, достатньо дорогим. Крім того, як випливає з [1], вимірювальний ланцюжок напіврівноваженого чотириплічного моста має змінну чутливість, яка за певних співвідношень між робочою частотою і параметрами диференціального КД прямує до нуля.

Два інших методи представлено у [3]. Запропонований у них принцип перетворення засновано на формуванні комплексної напруги, амплітуда і фаза якої за допомогою двох регулювань змінюється у такий спосіб, щоб мінімізувати різниці параметри диференціального КД ΔR і ΔX .

Першим способом задовільна компенсація неінформативних параметрів диференціального КД здійснюється лише за однакових тангенсів фазового ку-

та його датчиків.

У дійсності, через неідентичності приелектродних процесів на КД біосенсора, різниці у товщинах і електричних характеристиках активної та пасивної мембран умова рівності фаз імпедансів датчиків у реальних датчиках не виконується. На практиці розбіжність тангенсів фазового кута може досягати (15—20)%.

Слід зазначити, що виконувати перетворення безпосередньо над імпедансами практично неможливо. Як правило, КД включаються в електричний ланцюжок з генераторами струму, напруги, операційними підсилювачами. Отже, перетворення сигналів здійснюється над активними величинами — струмами або напругами. У цьому випадку для аналізування існуючих методів слід розглядати комплексну площину W -активних величин (рис. 1). Тоді у відомому методі [3] в результаті першого регулювання фаза напруги, прикладеної до першого датчика, буде такою, що вектор $W(Z_1)$ струму, який протікає через імпеданс Z_1 , збігатиметься з дійсною віссю. Напруга, прикладена до першого датчика після інверсії, прикладається до другого датчика. Однак, через нерівності фаз між імпедансами першого і другого датчиків, вектор $W(Z_2)$ (рис. 1) не є строго протилежним вектору $W(Z_1)$. Тому під час другого регулювання, у результаті якого змінюється модуль вектора $W(Z_2)$, можна мінімізувати різницею вектор нерівноваги за модулем або усунути активну складову. Однак, реактивна складова за цього методу компенсації повністю не усувається (рис. 1). Очевидно, що відповідно до співвідношення (1), реактивна складова може на порядок перевищувати величину корисного сигналу, що є недоліком відомого методу.

З аналогічного аналізування другого способу, представленого у [3], випливає, що у результаті двох регулювань компенсується реактивна складова імпеданса кожного КД біосенсора окремо. Вектори Z_1 і Z_2 (рис. 1) стають протилежними за фазою і різними за амплітудою. У результаті активна складова різницевого сигналу залишається, і для її компенсації використову-

ється третій канал регулювання. Очевидно, що кожне додаткове регулювання призводить до апаратного ускладнення і збільшення часу вимірювання. При цьому недоліки методу, обумов-

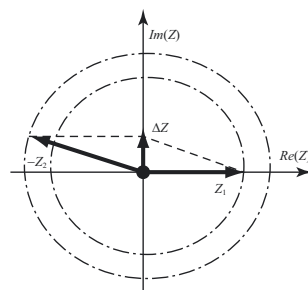


Рис. 1

лені нелінійністю коефіцієнта перетворення вимірювального ланцюжка, залежністю чутливості перетворення від неінформативних параметрів КД, залишаються.

У цій роботі *пропонується новий метод*, за допомогою якого за два регулювання здійснюється повна компенсація неінформативних параметрів диференціального КД за будь-яких тангенсах фазового кута датчиків.

НОВИЙ МЕТОД КОМПЕНСАЦІЇ ТА ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЯ

У початковому стані за визначенням маємо диференціальний датчик, імпеданси якого представлено двома векторами (1) і (2). Тоді за додавання до буферного розчину досліджуваної речовини імпеданс датчика зі селективною мембраною зміниться (3), а з неселективною — залишиться попереднім $Z_2 = Z_{02}$. Новий метод засновано на проведенні додаткового аналогового перетворення, коефіцієнт перетворення якого визначається різницею двох векторних величин — імпедансів диференціального КД. На рис. 2 представлено векторну діаграму, яка пояснює принцип роботи нового методу. Віднімаючи два вектори з довільними модулями і фазами, отримаємо різницевий вектор $W(\Delta Z)$, фаза якого у комплексній площині може набувати будь-який кут ($0—360^\circ$). Квадрант і радіус кола, в якому міститься різницевий вектор, залежатиме відповідно від знака і величини співвідношень (1). Очевидно, різницевий вектор є на порядок меншим за кожного із вихідних векторів. Отже, нижчими є вимоги до ланцюжків подальшої компенсації.

Завдання нового методу — стабілізувати чутливість перетворення. Однією із найпростіших умов, що забезпечують цю якість, є лінійність коефіцієнта перетворення вимірювального ланцюжка щодо інформативного параметра R_x . Якщо уявити імпеданс селективного КД у виді послідовної схеми заміщення (3), найбільш просто цю умову можна реалізувати шляхом включення до вимірювального ланцюжка перетворювача, що виконує функцію віднімання імпедансів (ВІ) двох кондуктометричних датчиків біосенсора.

$$W = aZ_1 - bZ_2 = aR_x + \Delta R + j\Delta X.$$

Дійсно, із наведеного рівняння випливає, що чутливість $S = \partial W / \partial R_x = a$, де a — параметр ланцюжка і постійна величина.

На виході ВІ будуть присутніми як корисний сигнал, так і сигнал, пропорційний різниці складових імпеданса у буферному розчині $\Delta R = aR_1 - bR_2$ та $\Delta X = aX_1 - bX_2$. Із наших досліджень [1] ви-

пливає, що цей сигнал є на порядок меншим за Z_1 або Z_2 , але все ж істотно більшим від корисного сигналу. Щоб оптимальним чином використовувати динамічний діапазон і не втратити чутливості, пропонується урівнювати вихід-

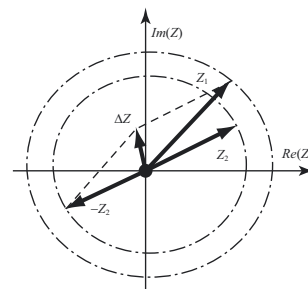


Рис. 2

ний сигнал ВІ за двома складовими. Нижче (рис. 3) представлено структурну схему вимірювального ланцюжка [4], що реалізує запропонований метод.

Генератор напруги синусоїдальної форми (Г) підключається до гілки об'єкта, що складається з від'ємника імпеданса (ВІ) й аналогового інвертора (І), та компенсаційної гілки, що складається з квадратурного фазообертача (КФ), що забезпечує ортогональність компенсаційних сигналів, і двох дільників напруги (ДН1 і ДН2), керованих відповідними впливами N_c та N_{KB} . Інвертор І забезпечує віднімання сигналів об'єктової та компенсаційної гілок, що надходять на входи суматора (С). Вихідний сигнал останнього оцифровується за допомогою аналогово-цифрового перетворювача (АЦП).

На рис. 4. наведено функціональну схему вимірювального ланцюжка. За допомогою операційних підсилювачів (ОП) А1 та А3 датчики включаються у режимі заданого струму. Отже, напруга на виході операційних підсилювачів буде пропорційною опорам датчиків:

$$U_{\text{вих.А1}} = U_r \cdot (-Z_1 / R_1), \quad (5)$$

$$U_{\text{вих.А3}} = U_r \cdot (-Z_2 / R_1). \quad (6)$$

Напругу на виході диференціального підсилювача, реалізованого на ОП А2, з коефіцієнтом посилення n , можна записати у такий спосіб:

$$U_{\text{вих.А2}} = U_r \cdot ((Z_1 - Z_2) / R_1) \cdot n \quad (7)$$

або з урахуванням (1) та (2):

$$\begin{aligned} U_{\text{вих.А2}} &= U_r \cdot ((R_1 - jX_1 - R_2 - jX_2) / R_1) \cdot n = \\ &= U_r \cdot ((\Delta R - j\Delta X) / R_1) \cdot n. \end{aligned} \quad (8)$$

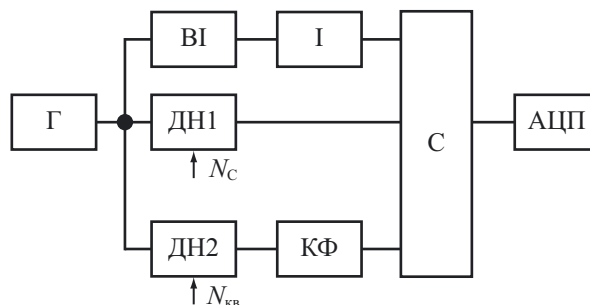


Рис. 3

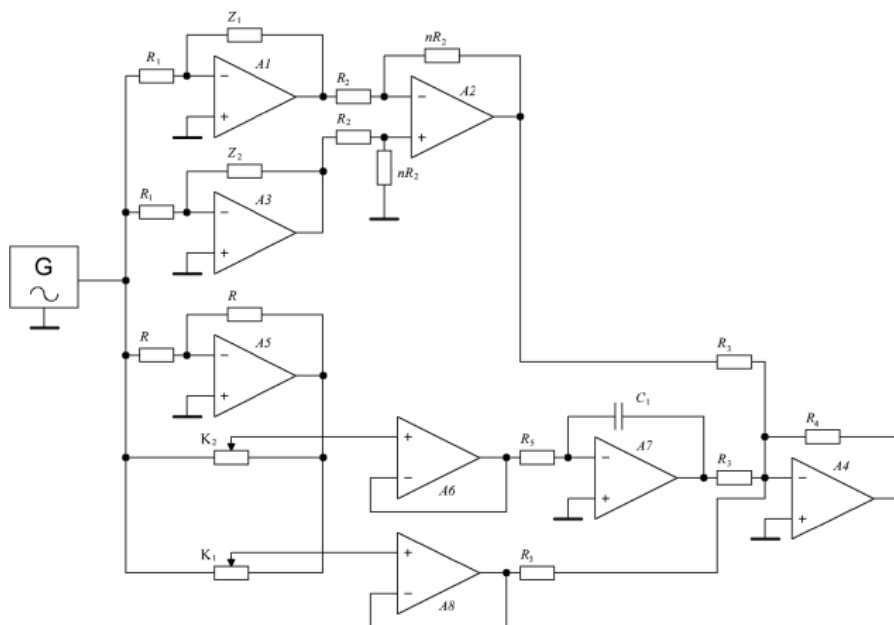


Рис. 4

Отже, перетворювач на ОП А1 — А3 виконує функцію від'ємника двох імпедансів (ВІ). Очевидно, вихідний сигнал від'ємника містить неінформативні складові диференціального датчика. Для їх компенсації слугують гілки урівноваження за активною складовою (дільник К1, повторювач напруги ОП А8) і реактивною (дільник К2, повторювач напруги ОП А6 та інтегратор А7). Повний вираз для вихідної напруги усього перетворювача виглядатиме так:

$$U_{\text{вих.А4}} = U_r \cdot ((\Delta R - j\Delta X)/R_1 \cdot n + K_1) \times R_4/R_3 + K_2 \cdot (U_r/(R_5 \cdot j\omega C_1)) \cdot R_4/R_3. \quad (9)$$

Процес вимірювання відбувається у два етапи. Спочатку КБС опускається у буферний розчин. При цьому $R_x = 0$. Вихідний сигнал ВІ, пропорційний $\Delta Z = \Delta R - j\Delta X$, урівноважується компенсаційною гілкою. Коефіцієнти передавання K_1 і K_2 мають підбиратися у такий спосіб, щоб забезпечувалося виконання умов рівноваги:

$$K_1 = -(\Delta R/R_1) \cdot n, \quad (10)$$

$$K_2 = (\Delta X/R_1) \cdot n. \quad (11)$$

Отже, за відсутності досліджуваної речовини, запропонована схема забезпечує повну компенсацію неінформативних параметрів за допомогою двох регулювань.

На другому етапі до буферного розчину додається досліджувана речовина. Вихідний сигнал ВІ, згідно з рівнянням, буде пропорційним як інформативним, так і неінформативним складовим КД. Однак на виході суматора ОП А4 сигнал буде пропорційним лише інформативній складовій R_x .

$$U_{\text{вих.А4}} = U_r \cdot (R_x/R_1) \cdot n \cdot (R_4/R_3). \quad (12)$$

Очевидно, вихідний сигнал не містить складових, залежних від неінформативних параметрів датчиків. Вибором параметрів ланцюжка R_1 , R_3 , R_4 і n можна відповідно нормувати вихідний сигнал перетворювача у достатньо широкому діапазоні значень.

ВИСНОВКИ

Новий метод і схема, запропонована для його реалізації, порівняно з існуючими рішеннями мають:

- покращені метрологічні характеристики, а саме, максимальну роздільну здатність і постійну чутливість;
- можливість повної компенсації неінформативних складових за використання лише двох регулювань;
- просте та зручне нормування за представлення об'єкта вимірювання послідовною схемою заміщення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мельник В. Г., Василенко А. Д., Медведенко М. П., Михаль А. А., Солдаткін А. А. Исследование информативных параметров дифференциальных кондуктометрических биосенсоров // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск «Проблеми сучасної електротехніки». — 2006. — Ч. 3. — С. 119 — 124.
2. Дзядевич С. В., Солдаткін О. П. Наукові та технологічні засади створення мініатюрних електрохімічних біосенсорів. — К.: Наукова думка, 2006. — 256 с.
3. Мельник В. Г., Рубанчук М. П., Михаль А. А. Измерительные цепи для кондуктометрических преобразователей с дифференциальными двухэлектродными датчиками // Технічна електродинаміка. — 2008. — № 2. — С. 69 — 76.
4. Михаль А. А. Особенности построения измерительной цепи для кондуктометрических биосенсорных преобразователей // Праці Інституту електродинаміки НАНУ. 36. наук. праць. — Київ. — 2007. — № 2 (14). — С. 137—138. ■

УДК 536.5.081:536.521.2



Н. Гоц, кандидат технічних наук, доцент кафедри метрології, стандартизації та сертифікації, Національний університет «Львівська політехніка»,

Г. Петриченко, директор, ТОВ НВФ «Харків-Прилад»

Запропоновано використання методу передавання температурної шкали термометрам випромінення з використанням еталонного термометра випромінення та регульованого абсолютно чорного тіла (АЧТ) як еталона-переносника шкали. Для реалізації цього методу в калібрувальних та повірочних лабораторіях сформовано основні аспекти методик атестації АЧТ та опрацювання результатів вимірювання у процесі повірки шляхом оцінювання невизначеності.

The article considers the use of the method of realisation of the temperature scale for radiation thermometer using a standard radiation thermometer a blackbody as a reference-carrier scale. To implement this method of calibration and calibration laboratories, formed the main aspects of methodology certification blackbody and processing methods of measurement results with calibrated by estimation uncertainty.

Сучасний розвиток термометрії випромінення визначається високими технічними можливостями приймачів випромінення, розробленням нових методів вимірювання температури за випроміненням, широкими можливостями комп'ютерної та мікропроцесорної техніки. Це дало можливість розширити температурний та спектральний діапазони вимірювання температури, підвищити швидкодію та технічні можливості термометрів випромінення, призвело до появи широкого асортименту різних модифікацій термометрів випромінення провідних світових фірм «Raytek», «Land», «Fluke» тощо. При цьому розвинулася термометрія випромінення в інфрачервоній області спектра від 1 до 14 мкм, яка знайшла широке застосування в метеорології, тепловаченні, дистанційному керуванні, контролі промислових процесів, захисті довкілля для вимірювання температур у діапазоні від -50 до 1000 °C. Разом з тим, розвиток ракетно-космічної техніки, дослідження з розроблення нових матеріалів і сплавів для космічної, авіаційної й військової техніки, технології вирощування кристалів для сучасних лазерів і мікроелектронної апаратури потребують більш точних вимірювань температури на рівні десятих часток градуса в діапазоні температур $1500 \div 3000$ °C.

Все це призвело до необхідності удосконалення метрологічного забезпечення термометрії випромінення, оскільки існуючі методи і засоби вже не відповідають

*Н. Гоц**Г. Петриченко*

вимогам сучасного розвитку зазначеного виду вимірювань. Це й зумовлює необхідність удосконалення методів передавання температурної шкали різними видами термометрів випромінювання, розроблення нових методик її реалізації. Внаслідок значного розвитку термометрів випромінювання, які працюють у температурному діапазоні від 0 до 1500 °C, актуальним є розроблення схеми передавання їм температурної шкали, яка базується на основі фундаментальних законів фізики, незалежно від властивостей використовуваних для її реалізації засобів вимірювання та формування загальних вимог до засобів передавання термодинамічної температури робочим термометрам випромінювання.

Міжнародна температурна шкала (МТШ-90) [1] визначає температуру між потрійною точкою рівноважного водню (13,8033 K) і точкою тверднення срібла (961,78 °C) за допомогою еталонного платинового термоперетворювача опору, який калібрується у реперних точках і використовує точно визначені інтерполяційні процедури. Отже, пряма реалізація МТШ-90 для термометрів випромінювання у цьому температурному діапазоні ґрунтується на каліброваних еталонних термоперетворювачах опору згідно з рис. 1.

Для термометрії випромінювання еталонний платиновий термоперетворювач опору є чутливим елементом, який вимірює температуру АЧТ. При цьому випромінювач — АЧТ, температура якого контролюється платиновим термометром опору, слугує еталонним джерелом для калібрування термометрів випромінювання. Саме така схема, що ґрунтується на випромінювачах типу АЧТ з еталонними платиновими термоперетворювачами опору, існує для передавання температурної шкали термометрам випромінювання,

які працюють у температурному діапазоні нижче 961,78 °C.

Але такий підхід не може забезпечити підвищені вимоги до точності вимірювань температури за випромінюванням, оскільки точність побудови температурної шкали значною мірою залежить від властивостей платинового термометра опору (варіації властивостей різних термометрів опору, окислення платини, зміна концентрації вакансій кристалічної ґратки, каталітичного ефекту на поверхні термоелектронів тощо) та виду інтерполяційного рівняння, яке є емпіричним за своєю природою.

Відповідно до Положення стосовно МТШ-90 у сфері високих температур шкала будується оптичними методами шляхом екстраполяції за допомогою рівняння Планка та передається термометрам випромінювання згідно зі схемою (рис. 2).

За цим методом температурна шкала будується на довжині хвилі 0,65 мкм. Поява великої кількості різних видів термометрів випромінювання, зокрема таких, що працюють в інфрачервоному діапазоні від 1 до 14 мкм, ставить проблему калібрування вказаних пірометрів. Температурні лампи, які зазвичай використовують для калібрування оптичних пірометрів на класичній довжині хвилі 0,65 мкм, не підходять для калібрування інфрачервоних термометрів випромінювання, оскільки не пропускають випромінювання вище 2 мкм.

Аби уникнути вищезазначених проблем Міжнародне бюро з мір та вагів визначило такі основні напрями розвитку температурної шкали [2]:

- ініціалізація створення нової міжнародної температурної шкали на основі фундаментальних природних законів;

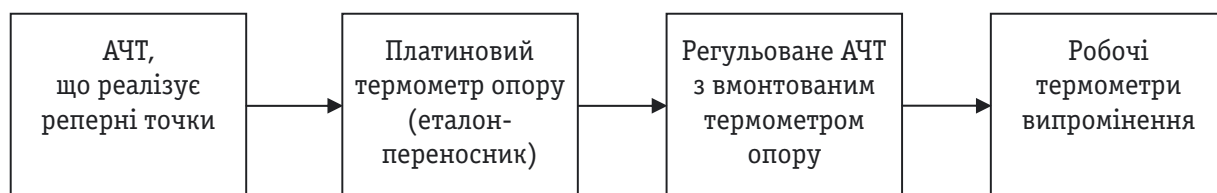


Рис. 1. Загальна схема передавання температурної шкали термометрам випромінювання у діапазоні від -50 до 961,78 °C

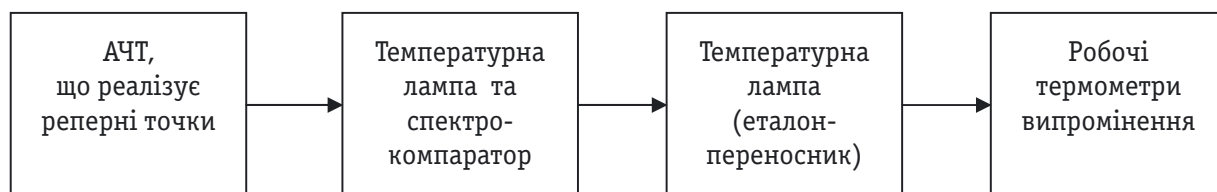


Рис. 2. Загальна схема передавання температурної шкали термометрам випромінювання у діапазоні від 961,78 до 2500 °C

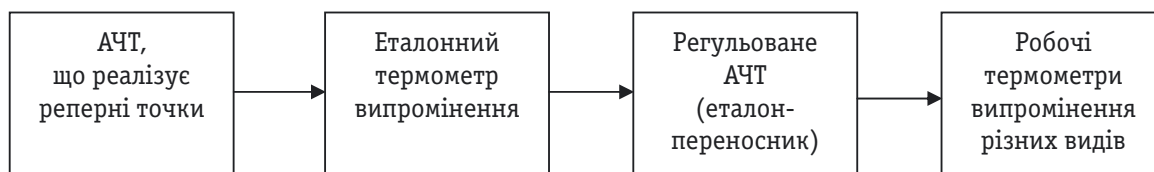


Рис. 3. Загальна схема передавання температурної шкали термометрам випромінення на основі фундаментального закону Планка з використанням регульованого АЧТ як еталона-переносника

- відмова від практичних шкал і відтворення термодинамічної температурної шкали за допомогою первинних термометрів;

- дослідження можливостей використання нових математичних методів для створення точніших інтерполяційних функцій.

Для реалізації температурної шкали та передавання її термометрам випромінення запропоновано багатоточковий метод передавання температурної шкали на основі інтерполяції [3]. Базується він на п'яти реперних точках тверднення металів — Zn , Sb , Al , Ag , Cu — та використанні інтерполяційних рівнянь, які дозволяють відтворити всю множину температур температурної шкали у діапазоні від 419,527 до 1084,62 °C. Згідно з цим методом термометром випромінення візують еталонні АЧТ за декількох (від трьох до п'яти) реперних точок тверднення металів. За отриманими вихідними сигналами будують інтерполяційне рівняння, що дозволяє реалізувати принципи первинної термометрії та позбутися залежності температурної шкали від властивостей платинового термометра опору.

Для реалізації такого методу останнім часом у всіх провідних метрологічних центрах розвивається метод, що полягає у побудові радіаційної температурної шкали, симетричної і до контактної температурної шкали, в якому використовуються випромінювачі типу АЧТ на реперних точках МТШ-90, проміжні температури між реперними точками визначаються інтерполяцією за допомогою термометра випромінення як компаратора. Звичайно, це означає, що еталонний радіаційний термометр калібрується абсолютним чином без звірення його з імерсійним термометром. Отже, для передавання одиниці термодинамічної температури робочим термометрам випромінення як еталон-переносник доцільно використовувати випромінювач типу АЧТ, відкалібрований на основі температурних реперних точок.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Нижче розглянуто метод передавання температурної шкали термометрам випромінення, який полягає у калібруванні еталонного термометра випромінення у декількох реперних точках, реалізованих у виді АЧТ з подальшою інтерполяцією зна-

чень температури між реперними точками та передавання температурної шкали робочим термометрам випромінення безпосередньо від регульованого АЧТ (еталона-переносника), відкаліброваного з використанням еталонного термометра випромінення (рис. 3).

Еталонний термометр випромінення візує випромінювач — АЧТ, що випромінює за температури реперної точки. На основі значень вихідних сигналів еталонного термометра випромінення для 3 ÷ 5 значень температури формується інтерполяційна залежність, яка пов'язує значення температурної шкали та вихідного сигналу еталонного термометра випромінення. Далі з використанням еталонного термометра випромінення калібрується регульоване АЧТ (РАЧТ). РАЧТ у подальшому використовується як еталон-переносник температурної шкали робочим термометрам випромінення. Необхідно зауважити, що за цього методу реалізації температурної шкали відпадає необхідність урахування неізо-термічності внутрішнього простору РАЧТ, введення поправки на невідповідність значення коефіцієнта випромінення АЧТ одиниці та виключається залежність побудови температурної шкали від властивостей платинового термометра опору.

Отже, побудова температурної шкали на основі законів та засобів термометрії випромінення може відбуватися симетрично побудові шкали на основі платинового термометра опору. Звичайно, при цьому на сьогодні первинною залишається шкала, заснована на термометричних властивостях платини.

У таблиці розглянуто основні складові бюджету невизначеності за різних методів передавання температурної шкали термометрам випромінення. Невизначеність побудови шкали можна суттєво зменшити, якщо замість імерсійного термометра використовується еталонний термометр випромінення, а носієм шкали стає РАЧТ. При цьому із загального бюджету невизначеності виключатимуться складові, спричинені впливом платинових термометрів опору, температурної лампи, спектрокомпаратора. Бюджет невизначеності методу передавання температурної шкали із використанням РАЧТ, як носія температурної шкали, визначатиметься такими основними

Основні складові бюджету невизначеності засобів вимірювання, що використовуються за різних методів передавання температурної шкали термометрам випромінення

№	Чинники невизн.	Фактори, що спричиняють складову невизначеності	Познач.	Тип	Зак. розп.
1	Реалізація реперної точки	Наявність домішок металу в ампулі	u_1	В	Норм.
		Відхилення тиску газу в ампулі від стандартного	u_2	В	Норм.
		Гідростатичний тиск розплаву металу	u_3	В	Норм.
		Теплообмін за рахунок внутрішнього відбивання від стінок кварцового корпусу	u_4	В	Норм.
		Ідентифікація плато	u_5	В	Норм.
		Нерівномірність нагрівання ампули внаслідок нерівномірності температури в печі	u_5	В	Норм.
		Зміна швидкості фазового переходу	u_6	В	Норм.
		Відведення тепла за стержнем термометра	u_7	В	Норм.
		Нагрівання термометра струмом	u_8	В	Норм.
2	Випромінювач типу АЧТ	Форма порожнини АЧТ	u_9	А	Норм.
		Температура калібрування	u_{10}	В	Норм.
		Параметри отвору	u_{11}	А	Норм.
		Домішки	u_{12}	В	Норм.
		Коефіцієнт випромінення, ізотермічність	u_{13}	В	Норм.
		Внутрішнє відбивання випромінення	u_{14}	В	Норм.
		Конвекція	u_{15}	В	Норм.
		Однорідність внутрішньої поверхні	u_{16}	В	Норм.
		Параметри довкілля	u_{17}	В	Норм.
3	Температурна лампа	Температура цоколя лампи	u_{18}	В	Норм.
		Неточність визначення монохроматичної довжини хвилі	u_{19}	В	Норм.
		Нелінійність залежностей між яскравістю вольфрамового дроту лампи, струмом, що протікає за дротом та температурою	u_{20}	В	Норм.
		Дрейф сигналу між вимірюваннями лампи та АЧТ	u_{21}	В	Норм.
		Розсіювання та поляризація випромінення	u_{22}	В	Норм.
		Позасмугове пропускання монохроматора	u_{23}	В	Норм.
		Дрейф, нестабільність лампи	u_{24}	В	Норм.
4	Еталонний термометр випромінення	Калібрування	u_{25}	В	Прям.
		Нелінійність функції перетворення		В	Норм.
		Температура довкілля	u_{26}	В	Прям.
		Спектральна чутливість	u_{27}	В	Норм.
		Стабільність	u_{28}	А	Норм.
		Нестабільність робочого спектрального діапазону	u_{29}	В	Норм.
5	Платиновий термометр опору	Шуми	u_{30}	А	Норм.
		Варіації властивостей різних термометрів опору	u_{31}	В	Норм.
		Ефект окислення платини — утворення і розклад двомірних та тримірних оксидів	u_{32}	В	Норм.
		Зміна концентрації вакансій кристалічної ґратки	u_{33}	В	Норм.
		Напруження та деформації чутливого елемента	u_{34}	В	Норм.
		Довготривалий дрейф опору	u_{35}	В	Норм.
6	Термометр випромінення, що повіряється	Калібрування	u_{36}	В	Прям.
		Нелінійність функції перетворення	u_{37}	В	Норм.
		Температура довкілля	u_{38}	В	Прям.
		Спектральна чутливість	u_{39}	В	Норм.
		Стабільність	u_{40}	А	Норм.
		Нестабільність робочого спектрального діапазону	u_{41}	В	Норм.
		Шуми	u_{42}	А	Норм.
7	Інші фактори	Поглинання випромінення проміжним середовищем	u_{43}	В	Норм.
		Вплив фонового випромінення	u_{44}	В	Норм.

чинниками: властивостями відтворення реперної точки, АЧТ, що реалізує реперну точку, еталонним термометром випромінення, РАЧТ та робочим інфрачервоним термометром випромінення.

Для реалізації запропонованого методу передавання температурної шкали інфрачервоним термометрам випромінення у калібрувальних та повірочних лабораторіях необхідне застосування методик атестації регульованого АЧТ та повірки термометрів випромінення, які б відповідали сучасним метрологічним вимогам.

У процесі розроблення методики атестації АЧТ мають ураховуватися такі питання. Згідно з рекомендаціями Міжнародної організації законодавчої метрології OIML/TC11/SC3/N4 під час атестації мають оцінюватися геометричні параметри порожнини АЧТ [4]. При цьому невизначеність вимірювання розмірів випромінювальної порожнини не має перевищувати 5 %. Також мають визначатися час розігрівання АЧТ, температурний дрейф, час переходу АЧТ з одного стаціонарного режиму на інший та його температурна нестабільність. При цьому невизначеність пірометра-компаратора, який використовується у процесах вимірювання температури, нестабільності й температурної роздільної здатності, має бути меншою від 1/3 невизначеності АЧТ. У разі оцінювання температурної поправки для АЧТ невизначеність пірометра-компаратора має бути меншою від 1/3 невизначеності АЧТ. Для реалізації запропонованого методу передавання температурної шкали інфрачервоним термометрам випромінення необхідне розроблення нормативного документа на методику атестації РАЧТ на основі даних рекомендацій OIML/TC11/SC3/N4.

Важливим аспектом є повірка термометра випромінення та, зокрема, питання оцінювання точності результатів його повірки. Розглянемо останнє докладніше. Згідно з сучасними міжнародними вимогами та стандартом ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 [5], який встановлює загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій, вони у своїй діяльності для характеристики точності результатів мають застосовувати оцінювання невизначеності та статистичні методи аналізування даних результатів випробування та калібрування. Внаслідок організаційної та методичної складності переходу від оцінювання похибки до оцінювання невизначеності у 2009 році Міждержавною радою зі стандартизації, метрології та сертифікації затверджено рекомендації РМГ 91-2009 [6], розроблені на основі International Document OIML D8, в яких зазначена необхідність оцінювання невизначеності результатів повірки.

Згідно з вимогами міжнародної стандартизації методика повірки має складатися з таких розділів: сфера застосування; нормативні посилання; терміни та визначення; загальні положення; операції повірки; засоби повірки; умови повірки та вимоги до кваліфікації повірників; вимоги безпеки; підготовка до повірки; проведення повірки та опрацювання результатів повірки; аналіз бюджету невизначеності методики повірки; розрахунок розширеної невизначеності повірки термометрів випромінення згідно з різними схемами повірки; оформлення результатів повірки; додатки; бібліографія.

З метою визначення придатності термометра випромінення до застосування аналіз точності результатів повірки із застосуванням оцінювання невизначеності пропонується провести у такій послідовності.

Проводиться експериментальне оцінювання абсолютної похибки вимірювання температури під час повірки термометра випромінення в умовах конкретної повірочної (калібрувальної) лабораторії та встановлення доцільності подальшого оцінювання точності вимірювання температури певним термометром випромінення. Контроль абсолютної похибки вимірювання температури у процесі повірки проводиться не менше, ніж у п'яти заданих температурних точках, що повіряються (ТТП), — фіксованих значеннях температури, що відтворюються АЧТ. Точки обираються рівномірно розташованими за усім досліджуваним температурним діапазоном та включають початкове та кінцеве значення діапазону. Після досягнення стабільного стану проводять вимірювання температури випромінювача еталонним термометром випромінення та термометром випромінення, що повіряється. Серія вимірювань у кожній точці має складатися із не менше, ніж із 10 вимірювань ($i = 1—10$).

Абсолютна похибка вимірювання температури ΔT_{ij} під час повірки таким термометром випромінення для кожної ТТП, що має значення T_{rj} у даній серії вимірювань, визначається за формулою:

$$\Delta T_{ij} = T_{ij} - T_{rj}, \quad (1)$$

де i — номер вимірювання у серії вимірювань, $i = 1—3$; j — номер температурної точки, в якій відбувається повірка термометра випромінення, $j = 1—5$; T_{ij} — результат вимірювання температури у серії вимірювань відповідної температурної точки.

Подальше дослідження точності термометра випромінення є доцільним за умови виконання співвідношення для кожної серії вимірювань у кожній температурній точці:

$$-\Delta T_{ocj} \leq \Delta T_{ij} \leq \Delta T_{ocj}, \quad (2)$$

де ΔT_{ocj} — граничне значення основної похибки температури випромінення для певної температурної точки.

Але попадання вимірених у процесі повірки значень температури в інтервал $T_{rj} \pm \Delta T_{ocj}$ не є достатнім, оскільки при цьому може скластися ситуація, коли можуть виникнути помилки першого або другого роду, — прилад з незадовільною точністю може бути визнаним придатним до застосування або навпаки — прилад, придатний до застосування, визнають незадовільним.

Тому доцільно оцінити невизначеність вимірювання температури під час повірки термометра випромінювання, що дасть можливість урахувати вплив різних чинників на результати повірки [7].

У випадку проведення серії вимірювань температури у певній температурній точці доцільно оцінити невизначеність типу А. Значення невизначеності типу А вимірювання температури у кожній температурній точці, відповідає середньоквадратичному відхиленню (СКВ) результатів вимірювання. СКВ фактично характеризує розкид значень, приписуваних вимірюваній величині на основі використовуваної інформації, тобто невизначеність вимірювання. Невизначеність типу А розраховують для кожної з п'яти температурних точок T_j за формулою:

$$u(T_j) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (T_{ij} - \bar{T}_j)^2}. \quad (3)$$

Згідно з аналізом існуючих матеріалів повірок термометрів випромінювання, можна встановити, що за умови виконання співвідношення:

$$u_A(T_j) \leq 0,2\Delta T_{ocj} \quad (4)$$

доцільно проводити подальше дослідження точності вимірювання температури у процесі повірки термометра випромінювання.

Але слід відзначити, що критерії (3) та (5) не враховують вплив на точність повірки конкретної моделі термометра випромінювання різних випадкових факторів у певних умовах з використанням відповідних методів та засобів — джерел невизначеності. Вплив таких факторів доцільно дослідити на основі побудови бюджету невизначеності.

Наступним кроком є формування бюджету різних джерел невизначеності та оцінювання сумарної стандартної невизначеності, що вноситься окремими складовими бюджету. Згідно з ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 під час оцінювання невизначеності калібрування чи повірки всі джерела та складові невизначеності, суттєві в певній ситуації, мають бути прийняті до уваги за допомогою відповідних методів аналізування. У разі аналізування джерелами невизначеності під час повірки можуть бути: використовувані вихідні еталони та зразкові речовини, використовувані методи та устаткування, довкіл-

ля, властивості та стан ЗВТ, що повіряються, та допоміжних. За побудови бюджету невизначеності повірки робочих термометрів випромінювання пропонується такий підхід: випадкові величини, що оцінюються за невизначеністю типу А статистичним методом, мають нормальний закон розподілу; а випадкові величини, що оцінюються за невизначеністю типу В методом аналізування характеристик засобів повірки, мають нормальний або рівномірний закон розподілу залежно від даних, зазначених у свідоцтві про повірку.

Як вихідні дані стосовно значень невизначеності типу В u_B для розглянутих складових бюджету невизначеності можуть бути використані:

- дані попередніх вимірювань величин, що входять до рівняння вимірювання;
- дані щодо властивостей відповідних приладів та матеріалів, які базуються на дослідженнях або загальній інформації;
- дані повірки, калібрування, відомості виробника щодо властивостей засобу вимірювання.

За умови представлення цих даних у виді меж відхилення значення величини від її оцінки для формалізації неповноти знання стосовно значень величин, стандартну невизначеність типу В визначають за різними законами розподілу за формулами, представленими у [8].

Сумарну стандартну невизначеність повірки термометра випромінювання розраховують для кожної температури повірки. На основі сформованого бюджету невизначеності (таблиця), можна розрахувати сумарну стандартну невизначеність $u_{Bqj}(T)$ окремого джерела невизначеності q (за умови відсутності кореляції між складовими p) для кожної температурної точки:

$$u_{Bqj}(T) = \sqrt{\sum_{m=1}^p C_{pj}^2 u_{pj}^2}, \quad (5)$$

де p — кількість складових, що спричиняють невизначеність окремого джерела невизначеності; q — кількість джерел невизначеності; C_{pj} — коефіцієнти чутливості; u_{pj} — складові сумарної стандартної невизначеності окремого джерела невизначеності.

У повірочній (калібрувальній) лабораторії мають бути дані стосовно значень сумарної стандартної невизначеності основних джерел невизначеності, наявних у ній засобів та методів, що використовуються у процесі повірки термометрів випромінювання.

Сумарна стандартна невизначеність повірки термометра випромінювання для кожної температурної точки повірки визначається на основі даних

стосовно невизначеності окремих джерел невизначеності, що використовуються за певної схеми повірки, за виразом:

$$u_{cj}(T) = \sqrt{\sum_{g=1}^q C_{qj}^2 u_{qj}^2}, \quad (6)$$

де C_{qj} — коефіцієнти чутливості; u_{qj} — складові сумарної стандартної невизначеності джерел невизначеності.

Сумарна розширена невизначеність повірки термометра випромінювання в окремій температурній точці розраховується за формулою:

$$U_j = k \cdot u_{cj}(T), \quad (7)$$

де k — коефіцієнт охоплення.

Співвідношення, що визначає узгодженість між допустимою похибкою та невизначеністю вимірювання температури під час повірки термометра випромінювання, можна сформулювати у такий спосіб: відхилення від еталонних значень температури з урахуванням розширеної невизначеності результату вимірювання не мають перевищувати значення допустимої похибки $\Delta_{\text{доп}}$ згідно з [9]:

$$-\Delta_{\text{доп}} \leq (\bar{T}_i - T_{rj}) + U_j \leq \Delta_{\text{доп}}. \quad (8)$$

Вона дозволяє оцінити вплив на точність вимірювання температури у процесі повірки випадкових факторів різних джерел і складових невизначеності та встановлює необхідні межі.

Важливим елементом методики повірки термометра випромінювання мають бути критерії взаємного співвідношення між основною і допустимими похибками термометра випромінювання та невизначеністю результатів вимірювання температури під час повірки. Із розглянутих співвідношень (2), (4), (8) кожне окремо не визначає можливості придатності термометра випромінювання до застосування, оскільки характеризує різні властивості точності вимірювання температури за випромінюванням у процесі повірки. Тому вважаємо, що рішення за результатом повірки можна прийняти за сукупністю даних критеріїв, представлених системою нерівностей:

$$\begin{cases} u(T_j) \leq 0,2\Delta T_{oc}, \\ -\Delta_{\text{доп}} \leq (T_i - T_{rj}) + U_j \leq \Delta_{\text{доп}}. \end{cases} \quad (9)$$


Отже, термометр випромінювання можна визначити придатним до використання за результатами повірки на основі виконання у кожній температурній точці сукупності критеріїв, представлених системою нерівностей (9). Цю методику оцінення невизначеності доцільно включити до нового стандарту на методику повірки робочих термометрів випро-

мінювання, який має стати необхідним інструментом у разі проведення уповноваження та атестації відповідно до повірочних та калібрувальних лабораторій, оцінювання їх метрологічних можливостей та включення метрологічних повірочних центрів України до міжнародної бази даних вимірювальних, випробувальних та калібрувальних лабораторій.

ВИСНОВКИ

Запропоновано метод передавання температурної шкали термометрам випромінювання, що базується на принципах первинної термометрії, який дозволяє реалізувати температурну шкалу на основі фундаментального закону Планка, незалежно від властивостей засобів вимірювання, таких як термометри опору та температурні лампи. Визначено основні аспекти методик атестації АЧТ та опрацювання невизначеності результатів повірки для формування нормативних документів, необхідних для застосування запропонованого методу в повірочних і калібрувальних лабораторіях, які відповідають міжнародним метрологічним вимогам.

ЛІТЕРАТУРА

1. Preston-Thomas H. The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90) // *Metrologia*. — 1990. — 27 (1). — 3—10 p.
2. www.bipm.org.
3. Sakuma F., Kobayashi M. «Interpolation equations of scales of radiation thermometers» // *Proceedings of TEMPMEKO*. — 1996. — Sixth International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science, edited by P Marcarino, Levrotto & Bella, Torino. — 1997. — P. 305—310.
4. OIML/TC11/SC3/N4. International Recommendation. Blackbody Radiators For Calibration Of Radiation Thermometers. Calibration and Verification Procedure.
5. ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.
6. РМГ 91-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Совместное использование понятия «погрешность измерения» и «неопределенность измерения». Общие принципы.
7. ISO/IEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995).
8. РМГ-43-2001. Государственная система обеспечения единства измерений. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений».
9. ДСТУ 3170-95 (ГОСТ 28243-96). Пірометри. Загальні технічні вимоги. 



Ю. Туз, доктор технічних наук, професор, директор,
НДІ автоматизації експериментальних досліджень,

Б. Кокотенко, аспірант,

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Проведено класифікацію джерел малих струмів, виконано порівняння характеристик приладів для їх вимірювання та аналіз похибок. Надано рекомендації щодо розроблення пікоамперметра для дослідження властивостей напівпровідникових матеріалів та тестування параметрів інтегральних мікросхем.

This paper deals with low current sources classification, comparison of common low current meters and analysis of their errors. The picoammeter design is suggested to research properties of semiconductor materials and IC's characteristics testing.

Вимірювачі малих струмів стають одним з найнеобхідніших видів вимірювальної техніки для дослідження фізичних та біохімічних процесів у нанорозмірному діапазоні. Завдання вимірювання малих струмів виникає під час оцінювання зворотних струмів *p-n*-переходів польових транзисторів, струмів фотодіодів, вихідних струмів фотопомножувачів [1], тестуванні параметрів інтегральних мікросхем, визначенні характеристик нанотрубок [2], а також дослідження провідності клітинних мембран, впливу медикаментів на динаміку іонних каналів [3] та визначення послідовностей ДНК (табл. 1). Це завдання, для якого вибір найбільш придатних приладів та методів вимірювання має вирішальне значення для досягнення необхідної точності результатів.

Найбільш поширеним інструментом у промисловості та сфері послуг є цифровий мультиметр, який зазвичай надає можливості для вимірювання струму, напруги, опору і температури. Однак цифрові мультиметри загального призначення не підходять для вимірювання дуже малих струмів через надмірне вхідне зміщення, недостатню роздільну здатність за струмом та велике вхідне падіння напруги.

Більшість вимірювачів малих струмів виконано з використанням електрометрів та пікоамперметрів. Електрометр — високочутливий мультиметр, що може вимірювати малі струми, високі опори, напруги з високим вхідним імпедансом та заряди. Пікоамперметр — прилад для вимірювання лише малих струмів та, за наявності вбудованого джерела напруги, також високих опорів.



Ю. Туз



Б. Кокотенко

Таблиця 1. Класифікація вимірювань малих струмів за об'єктами дослідження

Сфера застосування вимірювачів малих струмів	Рівні генерованих струмів, А	Швидкість протікання процесів
Параметри інтегральних мікросхем	від 10^{-8} до 10^{-1}	до 10 ГГц і вища
Властивості напівпровідникових матеріалів	від 10^{-10} до 10^{-3}	до 10 ГГц і вища
Вирощування нанотрубок	від 10^{-11} до 10^{-5}	до 100 Гц
Сканувальна тунельна мікроскопія	від 10^{-12} до 10^{-9}	до 50 Гц
Струми втрат у конденсаторах та індуктивностях	від 10^{-12} до 10^{-7}	до 1 ГГц
Властивості ізоляторів	від 10^{-13} до 10^{-6}	від 0,1 Гц до 1,5 кГц
Біохімічний аналіз, визначення ДНК послідовностей	від 10^{-13} до 10^{-9}	до 10 кГц і вища
Іонізаційні камери, плазмові датчики	від 10^{-15} до 10^{-6}	до 1 МГц

Таблиця 2. Характеристики приладів для вимірювання малих струмів

Вимірювач	Діапазони вимірювання	Максимальна чутливість	Смуга частот / Швидкодія	Похибка для найнижчого діапазону
Цифровий мультиметр Fluke 289	від 500 мкА до 10 А	0,01 мкА	до 100 кГц (RMS)	$\pm (0,15 \% + 2)$ DC $\pm (0,7 \% + 2)$ AC
Еталонний мультиметр Fluke 8508A	від 200 мкА до 20 А	10 пА DC 100 пА AC	до 100 кГц (RMS)	± 12 ppm DC ± 200 ppm AC
Пікоамперметр HP/Agilent 4140B	від 1 пА до 10 мА	1 фА	від 20 мс до 2,6 с (час встановлення)	$\pm (5 \% + 8 \text{ фА})$
Пікоамперметр A2-4	від 10 пА до 10 мА	10 фА	від 20 мкс до 20 мс (час встановлення)	$\pm (0,5 \% + 25 \text{ фА})$
Пікоамперметр KEITHLEY 6487	від 2 нА до 20 мА	10 фА	до 1000 вибірок / с	$\pm (0,3 \% + 400 \text{ фА})$
Електрометр KEITHLEY 6517B/E	від 20 пА до 20 мА	0,1 фА	до 425 вибірок / с	$\pm (1 \% + 30 \text{ фА})$
Струмівий підсилювач KEITHLEY 428-PROG	від 5 нА до 5 мА	1,2 фА	від 2 до 250 мкс (час наростання)	$\pm (2,7 \% + 1,6 \text{ фА})$

У табл. 2 наведено порівняння основних метрологічних характеристик приладів, що дозволяють виконувати вимірювання малих струмів. Видно, що лідерами є вимірювачі фірми Keithly Instruments [4], що поєднують високу чутливість та порівняно високу швидкодію.

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ МАЛИХ СТРУМІВ

Існують два базових методи вимірювання струмів:

- шунта (використовується практично усіма цифровими мультиметрами та старими електрометрами);

- амперметра зі зворотним зв'язком (використовується пікоамперметрами та новими електрометрами) [5].

Якщо вхід електрометричного вольтметра зашунтувати резистором, отримає-

мо шунтовий амперметр (рис. 1а). Чутливість такої схеми визначається значенням R_{SHUNT} та величиною підсилення електрометра. Однак використання великого значення R_{SHUNT} є небажаним, оскільки це збільшує падіння напруги на ньому, а також збільшує сталу часу, погіршуючи швидкодію вимірювача. Використання електрометра за його найбільшої чутливості також є небажаним, оскільки при цьому збільшується вплив шуму та дрейфу нуля на вимірювання. В амперметрі зі зворотним зв'язком (рис. 1б) вхідний струм тече на вхід підсилювача та через

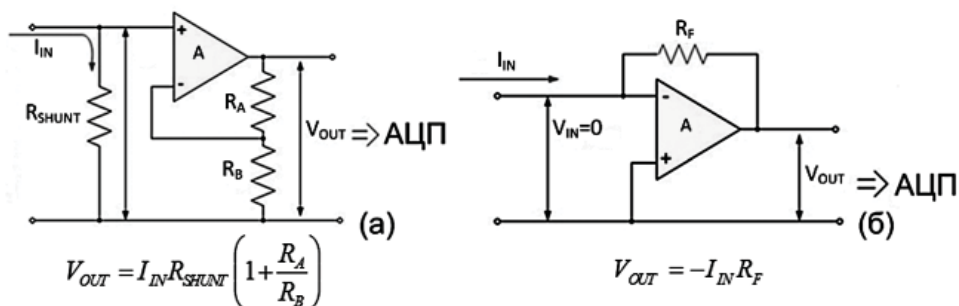


Рис. 1. Шунтовий амперметр (а) та амперметр зі зворотним зв'язком (б)

резистор зворотного зв'язку R_f , який і визначає чутливість схеми. Її головною перевагою є практично нульове падіння напруги.

АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ ПОХИБОК ВІМІРЮВАННЯ МАЛИХ СТРУМІВ

Чутливість вимірювачів за низьких рівнів струму, в основному, обмежена внутрішніми та зовнішніми шумами [6], що зумовлюються:

- тепловим шумом Джонсона;
- трибоелектричним ефектом;
- п'єзоелектричним ефектом;
- діелектричним поглинанням;
- електрохімічним ефектом;
- електромагнітними завадами;
- струмом зміщення вхідного каскада вимірювача.

Перш за все, потрібно враховувати *тепловий шум Джонсона*, що зумовлюється як опором об'єкта дослідження, так і внутрішніми опорами вимірювача (опором шунта або резистора зворотного зв'язку). Шум Джонсона, що може бути виражений у виді як струму, так і напруги, є по суті шумом напруги живлення, поділений на опір:

$$I_J = \frac{V_J}{R} = \sqrt{\frac{4kTB}{R}},$$

де k — стала Больцмана ($1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж / К),

T — абсолютна температура джерела (К),

B — полоса шуму (Гц),

R — опір (Ом).

І температура, і смуга частот впливають на шум Джонсона. Для зменшення шуму підсилювачів та схем часто застосовується криогенне охолодження, але це збільшує вартість та складність системи. Смугою частот шуму можна зменшити фільтрацією, але це обумовить погіршення швидкості вимірювання.

Окрім власного теплового шуму об'єкта дослідження, існують кілька додаткових джерел шуму. Одним із них є частина самої системи вимірювання: коаксіальні кабелі, що використовуються для з'єднання об'єкта дослідження та контрольно-вимірювальних приладів між собою. Типові коаксіальні кабелі можуть генерувати до десятків наноампер струму в результаті *трибоелектричного ефекту* (тертя зовнішнього екрана об ізоляцію). Для зменшення шуму від цього ефекту необхідно використовувати спеціальні кабелі з внутрішнім ізолятором із поліетилену, що під зовнішнім екраном покритий графітом. Також для зведення впливу до мінімуму необхідно використовувати кабелі мінімальної довжини та ізолювати тестову установку від вібрацій.

П'єзоелектричний ефект є ще одним джерелом похибки вимірювання малих струмів. Використання у вимірювачах діелектричних матеріалів, схильних до п'єзоелектричного ефекту (наприклад, політетрафторетилену), може викликати значні шуми. Тому для зменшення впливу цього ефекту потрібно розробляти усі системи тестування малих струмів з використанням ізоляційних матеріалів з мінімальними п'єзоелектричними властивостями (наприклад, керамічні ізолятори), а також мінімізувати механічні напруження та вібрації.

Ізолятори можуть також погіршити точність вимірювань слабких струмів за рахунок *діелектричного поглинання*. Це явище відбувається, коли достатньо висока напруга на ізоляторі викликає поляризацію позитивних і негативних зарядів. Тому для мінімізації ефекту необхідно застосовувати низькі рівні напруг для виконання вимірювань низьких струмів.

Ізолятори можуть також сприяти зниженню точності вимірювання слабких струмів у зв'язку із *електрохімічним ефектом*, обумовленим забрудненнями від солі, вологи, жиру і навіть відбитків пальців на поверхні діелектрика. Найчастіше цей ефект зумовлюється залишками флюсу під час пайки друкованих плат тестової системи і може спричиняти шуми порядку наноампер. Тому дуже важливо ретельно очищати плати від бруду чистим ватним тампоном, змоченим у розчиннику (наприклад, спирті). Також для мінімізації похибки вимірювання від забруднення оператор має носити рукавички у процесі роботи з ізоляторами або просто не торкатися їх.

Рис. 2 підсумовує наближені величини різних ефектів генерування струму.

На вимірювання малих струмів дуже впливають зовнішні *електромагнітні поля*. Тому для збереження точності такого вимірювання, будь-який вимірювальний прилад або система мають бути належним чином екрановані.



Рис. 2. Типові величини струмів, що зумовлюють похибки вимірювання

Під час вимірювання малих струмів також важливо враховувати *струм зміщення*, обумовлений стіканням струмів через ізолятори та струмом зміщення вхідного каскада вимірювача. Більшість виробників приладів вказують вхідний струм зміщення в документації, і цей невеликий струм має прийматися до уваги у процесі виконання вимірювання. У зв'язку з вхідним струмом зміщення будь-який струм, вимірений за допомогою тестового приладу (I_M), насправді є сумою струмів від джерела (I_S) і зміщення (I_{OFFSET}):

$$I_M = I_S + I_{OFFSET}$$

ПРОЕКТУВАННЯ ВИМІРЮВАЧІВ МАЛИХ СТРУМІВ

У процесі проектування вимірювачів малих струмів особливу увагу слід приділити виконанню схеми вхідного каскада. Найважливішим є вибір операційного підсилювача. Виробники інтегральних мікросхем для завдань такого типу пропонують спеціальні операційні підсилювачі з низьким вхідним струмом зміщення (табл. 3).

Для забезпечення точності вимірювання на рівні струму зміщення операційного підсилювача необхідно використовувати плату з найкращими ізоляційними властивостями (наприклад, фторопласт або кераміку). Для мінімізації стікання струмів виводи схеми необхідно оточувати захисними кільцями (рис. 3). Оскільки між двома точками з однаковим потенціалом струм не протікає, для максимального ефекту кільця потрібно поміщати з обох боків монтажної плати і під'єднувати до виводів з таким же потенціалом, як і входи операційного підсилювача.

Ще кращий ефект дає виконання плати навісним монтажем. При цьому входи операційного підсилю-

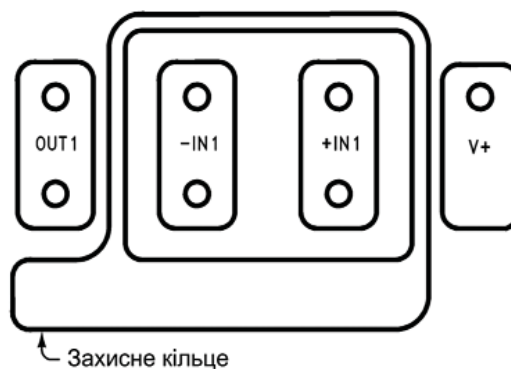


Рис. 3. Використання захисних кілець

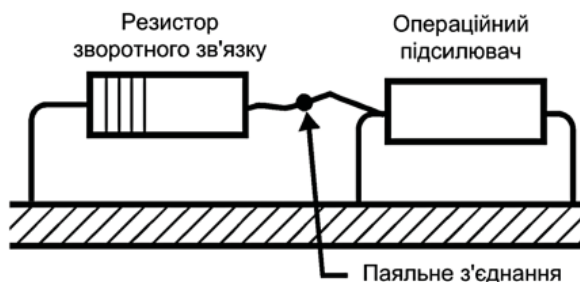


Рис. 4. Виконання плати навісним монтажем

вача вигнуті (рис. 4) і висять у повітрі, що є чудовим ізолятором. Однак таке виконання може бути складним, особливо у разі використання операційних підсилювачів у корпусі, меншому від DIP.

Ураховуючи наведені вище рекомендації, спроектовано та зібрано пікоамперметр (рис. 5) на базі схеми зі зворотним зв'язком. Для вхідного підсилювача використано мікросхему LMC6482. Плату підсилювача виконано на фторопласті навісним монтажем з використанням прецизійних вивідних резисторів C2-29. Для перетворення аналогового сигналу з виходу підсилювача у код та передавання на ПК використано мікроконтролер MSP430AFE253 з вбудованим 24-бітним сігма-дельта АЦП. Для мінімізації впливу зовнішніх електромагнітних завад

Таблиця 3. Порівняння операційних підсилювачів з низьким струмом зміщення

Операційний підсилювач	Вхідний струм зміщення, фА	Рівень шуму ($f = 1$ кГц), фА/ $\sqrt{\text{Гц}}$	Полоса пропускання
AD549	60	0.22	1 МГц
LMC6482	20	30	1 МГц
INA116	3	0,1	800 кГц
OPA2320	900	0,6	20 МГц
LMP7721	20	10	17 МГц
MAX44260	500	1,2	15 МГц
MAX9945	50	1	3 МГц



Рис. 5. Зовнішній вид пікоамперметра для дослідження малих струмів напівпровідникових елементів

вимірювач виконано в металевому корпусі. Прилад має автономне живлення та гальванічно розв'язану лінію комунікації з ПК. Пікоамперметр відкалібровано у ДП «Укрметртестстандарт» з використанням калібратора малих струмів та великих опорів ЕК1-6. Роздільна здатність отриманого приладу складає $5 \frac{1}{2}$ розрядів з максимальною чутливістю 1 пА, що для завдань вимірювання малих струмів є хорошим результатом. Розроблений прилад знайшов застосування у вимірюванні зворотних струмів напівпровідникових елементів, а також дослідженні струмів інтегральних мікросхем з наднизьким енергоспоживанням.

ВИСНОВКИ

На основі теоретичних досліджень наведено класифікацію джерел малих струмів та розглянуто метрологічні характеристики засобів для їх вимірювання. Проаналізовано джерела похибок, що впливають на результат вимірювання, та методи їх усунення. Як альтернативу існуючим вимірювачам малих струмів надано поради для розроблення пікоамперметра зі зворотним зв'язком, що дозволяє отримати роздільну здатність до 6 десяткових розрядів та чутливість на рівні 1 пА. Запропонований вимірювач дозволяє вирішувати завдання вимірювання зворотних струмів напівпровідникових елементів, а також дослідження характеристик інтегральних мікросхем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Грибанов Ю. И. Измерение слабых токов, зарядов и больших сопротивлений. — М. — Л., Госэнергоиздат, 1962. — 80 с.
2. P. J. de Pablo, C. Gómez-Navarro, M. T. Martínez, A. M. Benito, W. K. Maser. Performing current versus voltage measurements of single-walled carbon nanotubes using scanning force microscopy (Виконання вимірювань струму в порівнянні з напругою для одношарових вуглецевих нанотрубок з використанням сканувального силового мікроскопа), Appl. Phys. Lett. — American Institute of Physics. — 2002. — PP. 1462—1464.
3. Dongsoo Kim, Wei Tang, Brian Goldstein, Pujitha Weerakoon, Hazael Montanaro, Berin Martini, and Eugenio Culurciello. Performance Comparison of Low Current Measurement Systems for Biomedical Applications (Порівняння швидкодії систем вимірювання малих струмів для біомедичних застосувань). — IEEE International Symposium Circuits and Systems (ISCAS). — 2010. — PP. 3469—3472.
4. Режим доступу: <http://www.keithley.com>.
5. Joseph F. Keithley. Low Level Measurements Handbook (Довідник з низькорівневих вимірювань). — Sixth edition, Keithley Instruments. — Cleveland, 2007. — 240 p.
6. Jonathan L. Tucker. Optimizing Low-Current Measurement and Instruments (Оптимізація вимірювань малих струмів та приладів). — Keithley Instruments. — Cleveland. — 2011. — 10 p. ■

МІЖНАРОДНИЙ АУДИТ ФОРУМУ ЯКОСТІ COOMET

У грудні 2012 року в ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» групою аудиторів та експертів Словацького метрологічного інституту, ВНИИОФИ та ВНИИФТРИ (Росія) проведено міжнародний аудит Форуму якості COOMET.

ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» є одним із 4-х Національних метрологічних інститутів (НМІ) України, що є підписантами Угоди MRA «Про визнання вимірювальних та калібрувальних можливостей».

Результатом роботи аудиторів стало підтвердження належного рівня виконання робіт з вимірювання та калібрування засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) об'єму та об'ємної витрати газу, які відображено у базі даних Міжнародного Бюро з мір та вагів (BIPM) у Парижі; технічної компетентності фахівців лабораторії, їхньої здатності повною мірою забезпечити вимоги замовника щодо якості проведення метрологічних робіт у цій сфері. Відзначено,

що за останні роки НМІ істотно підвищив свої технічні можливості.

За результатами роботи міжнародного аудиту на черговому засіданні форуму якості COOMET у березні 2013 року ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» отримає повторно свідоцтво стосовно визнання системи управління якістю підприємства на відповідність вимогам ДСТУ ISO/IEC 17025 «Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій».

Це надасть йому можливість продовжувати роботи з калібрування ЗВТ об'єму і об'ємної витрати газу, в тому числі еталонних, для інших країн та видавати сертифікати калібрування міжнародного зразка з логотипом BIPM (CIPM MRA). ■

(За матеріалами
ДП «Івано-Франківськстандартметрологія»)

УДК 53.088:548-535

ОЦІНЕННЯ ЯКОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ СВІТЛОВОГО ВИХОДУ УПАКОВАНИХ СЦИНТИЛЯТОРІВ НА ОСНОВІ НЕОРГАНІЧНИХ КРИСТАЛІВ

Б. Гриньов, академік НАН України, головний науковий співробітник, голова ТК 99,
Н. Гурджян, інженер 1-ї категорії,
О. Зеленська, провідний інженер,
В. Любинський, завідувач відділу метрології, заступник голови ТК 99,
Н. Молчанова, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
В. Тарасов, доктор фізико-математичних наук, завідувач відділу сцинтиляційної радіометрії та радіохімічних методів дослідження,
Інститут сцинтиляційних матеріалів (ІСМА) НАН України, м. Харків

На прикладі вимірювання технічного світлового виходу упакованих сцинтиляторів на основі неорганічних кристалів різних габаритних розмірів: CsI(Tl), CWO, BGO, — розглянуто два підходи для оцінювання якості результатів вимірювання (на основі розрахунків похибки та невизначеності вимірювання). Вивчено можливість застосування таких підходів для сцинтиляторів з технічним світловим виходом в інтервалі від 3000 до 35000 фотон/MeV. Представлено порівняльний аналіз цих підходів та висновки стосовно використання невизначеності під час міжнародних порівнянь результатів вимірювання, логічно несуперечливого спільного застосування понять «концепції похибки» та «концепції невизначеності».

Two methods were considered in this article for estimation of light output measurement results quality for housed scintillators based on inorganic crystals: CsI(Tl), CWO, BGO of different dimensions. These methods are based on the calculation of error or uncertainty of the measurements. The possibility of using these methods for scintillators with light output in the range from 3000 photons/MeV to 35000 photons/MeV was learned. The authors carried out a comparative analysis of these methods. Conclusions regarding the use of uncertainty in international comparisons of measurement results, and logically consistent sharing of ideas «concept of error» and «concept of uncertainty» were made.

ВСТУП

У 2008 році Україна стала офіційним членом Світової Організації Торгівлі (СОТ). Однією із вимог вступу було удосконалення системи стандартизації, гармонізація стандартів, інших нормативних

документів (НД), враховуючи сферу метрології, калібрування засобів вимірювання, акредитації лабораторій та сертифікації продукції.

Останнім часом у метрології, як теоретичній, так і практичній, сталися істотні зміни, пов'язані, у пер-

шу чергу, з уведенням поняття «невизначеність» для оцінення якості результатів і засобів вимірювання.

Однак вітчизняні НД орієнтовані на використання традиційного і усталеного підходу, заснованого на поняттях «похибка» і «характеристики похибки», практично не використовуючи поняття «невизначеність вимірювань». Згодом це може призвести до порушення єдиного підходу до належного розуміння, правильного використання, а також оцінення якості результатів вимірювання у різних галузях науки і техніки.

Основна частина

Зупинимось на основних поняттях сучасної метрології — «концепції похибки» та «концепції невизначеності».

У «концепції похибки» точність результату вимірювання характеризується похибкою вимірювання, що є відхиленням результату вимірювання від істинного (дійсного) значення вимірюваної величини [1]. Однак похибка не може бути точно відомою, оскільки істинне значення завжди є невідомим. Після того, як усі передбачувані складові похибки результату вимірювання розраховано і до нього внесено відповідні поправки, все ще залишається сумнів, наскільки точно результат вимірювань є близьким до значення вимірюваної величини.

Протягом багатьох років кількісною мірою цього сумніву слугувало поняття «похибка вимірювань» як універсальна характеристика оцінення якості вимірювань, що дозволяє повністю охарактеризувати результат вимірювань і можливості його практичного застосування [2]. Суть процесу вимірювань полягає у порівнянні вимірюваної величини з мірою. При цьому у практичній метрології використовують два прийоми оцінювання якості вимірювань, дві різні процедури [2]:

- *пряме порівняння вимірюваної величини з мірою* (тобто з умовно істинним або дійсним значенням), відтвореної за допомогою еталона, робочого або стандартного зразка;
- *оцінювання шляхом розрахунку*, заснованого на апріорному знанні деяких характеристик методу, досліджуваного об'єкта, засобів і умов вимірювань.

У сформованій практиці у сфері метрології те й інше називають похибкою вимірювань. Уведення «концепції невизначеності» дозволяє розділити різні прийоми оцінювання якості вимірювань [3].

У «концепції невизначеності» точність результату вимірювання характеризується його невизначеністю. Фактично, концепцію побудовано на постулаті: результат вимірювання — випадкова величина.

Основним документом міжнародного рівня, який реалізує «концепцію невизначеності», є міжнародна рекомендація GUM [4], розроблена у 1993 році. Російською мовою зазначена рекомендація з'явилася у 1999 році [5].

В Україні практичні рекомендації щодо застосування [5] представлено у настанові [6], в якій викладено методологію застосування поняття «невизначеності» для оцінювання якості вимірювань, як міри довіри до результатів вимірювань. У ній формально встановлено загальні правила оцінювання і вираження невизначеності для використання службами технічного регулювання, метрології, стандартизації, калібрування та акредитації лабораторій [7].

У передмові до російського видання настанови [8] подано роз'яснення: термін «невизначеність вимірювання» є еквівалентом добре відомого терміна «характеристика похибки вимірювання». Згідно з «Міжнародним словником основних і загальних термінів у сфері метрології» [9] невизначеність вимірювань — це параметр, пов'язаний з результатом вимірювання, що характеризує розкид значень, які могли б бути обгрунтовано приписані вимірюваній величині.

Форма представлення знань стосовно невизначеності — це параметр функції розподілу результату вимірювання як випадкової величини. Якщо за такий параметр вибрано середньоквадратичне відхилення (СКВ), його називають стандартною невизначеністю, якщо — довірчий інтервал, то — розширеною невизначеністю. Невизначеність вимірювань як параметр характеризує розсіювання множини можливих значень величин, а не похибку конкретного результату вимірювання [10].

Поняття невизначеності уводиться для однакового і спрощеного оцінювання достовірності вимірювання, оскільки її визначення здійснюється на основі отримуваних результатів вимірювання, відомих умов вимірювань і характеристик застосовуваної апаратури, а не на відомому істинному значенні вимірюваної величини.

Отже, оцінювання невизначеності вимірювання — це оцінювання похибки вимірювання без застосування відповідної міри, отримане шляхом розрахунку, заснованого на аналізуванні математичної моделі вимірювання певної величини.

Слід також зазначити, що у GUM [4] відсутні протиставлення похибки і невизначеності, однак зазначено, що невизначеність вимірювання можна сприймати як міру можливої похибки, оскільки похибка не може бути відомою точно. І саме через те, що похибка не може бути відомою точно, виникає

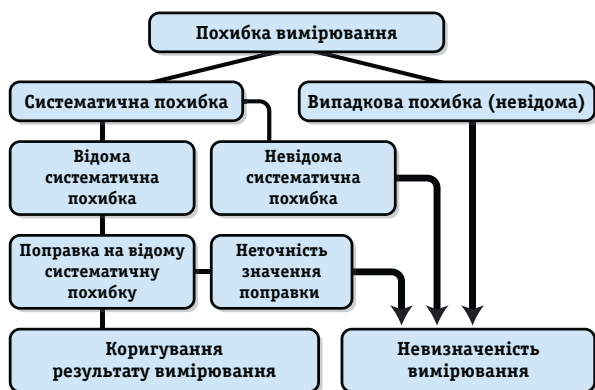


Рис. 1. Схема формування невизначеності вимірювання [11]

невизначеність вимірювання (рис. 1). GUM [4] фактично пропонує чітко розмежувати поняття похибки, як моделі вимірювання, наближеної до дійсності, і невизначеності вимірювання, як міри можливої неточності результату вимірювання, що показує, якою у цих умовах може бути похибка, а не якою вона є насправді [11].

Методи обчислення невизначеності, як і методи оцінювання похибки, засновані на одних і тих же методах математичної статистики. Отримані оцінення стандартної та розширеної невизначеності, наведені у настанові [6], практично збігаються з оціненнями характеристик на основі розрахунку похибки (СКВ і довірчих меж похибки), зазначених у НД з метрології, якщо до уваги беруться одні й ті ж самі джерела похибок (невизначеностей). Для обох підходів подібними є й послідовності дій у процесах оцінювання характеристик похибки та обчислення невизначеності вимірювань [6].

Певна методологічна відмінність є у статистичних підходах до визначення коефіцієнта охоплення $k_{ох}$, відповідного коефіцієнту k^1 , який традиційно використовується у вітчизняній НД під час визначення меж довірчого інтервалу. Ця відмінність несуттєво позначається на результатах оцінення характеристик похибки (невизначеності) вимірювання у практичних вимірювальних задачах [5]. У ряді випадків оцінення похибки та невизначеності збігаються.

За зіставлення оцінень характеристик похибки і невизначеності результатів вимірювань рекомендується використовувати таку схему (рис. 2)² [6].

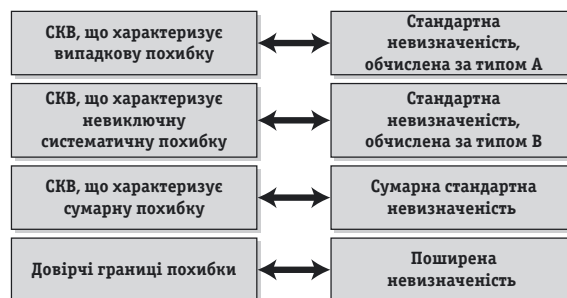


Рис. 2. Схема зіставлення характеристик похибки та невизначеності [6]

На сьогодні використання GUM [4] стає обов'язковим для вимірювань, що проводяться у процесі міжнародних звірень вихідних національних еталонів, і надання калібрувальних послуг зарубіжним організаціям. При цьому ряд рекомендацій стосовно вираження невизначеності у виміренні вже увійшов до деяких НД України. Так, наприклад, процедура акредитації випробувальних і калібрувальних лабораторій включає перевірку на відповідність її вимогам, викладеним у ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 [12]. Відповідно до зазначеного стандарту [12], «випробувальні лабораторії мають проводити оцінення простежуваності та невизначеності вимірювань у процесі випробувань». Іншими словами, лабораторії, які підтверджують свою компетентність у проведенні випробувань і вимірювань, мають уміти розраховувати невизначеність своїх результатів.

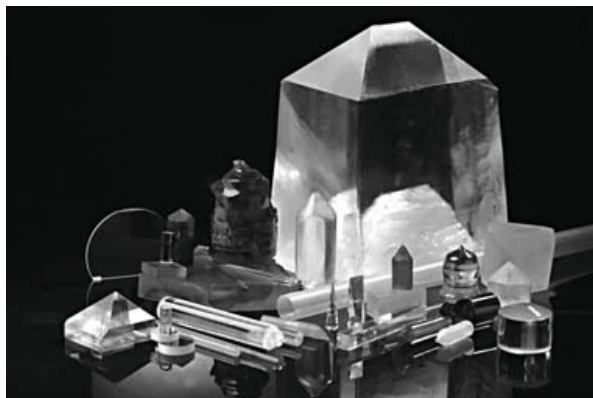
Як показує досвід, лабораторії часто мають труднощі у представленні результатів з оціненням їхньої невизначеності, вагаються провести аналогію між похибкою результатів та їхньою невизначеністю.

У ІСМА НАН України протягом тривалого часу проводяться вимірювання основних характеристик упакованих сцинтиляторів і оцінюється якість результатів вимірювань на основі розрахунку похибки. У зв'язку з необхідністю обчислення невизначеності вимірювань автори роботи на практичному прикладі порівняли методики обчислення похибки і невизначеності вимірювань. За приклад взято розрахунок технічного світлового виходу упакованих сцинтиляторів на основі неорганічних кристалів.

У випробувальній лабораторії інституту виконуються заходи з контролю якості вимірювань технічного світлового виходу: щорічна повірка засобів вимірювань; контролюється стабільність основних параметрів робочого зразка. Раніше всі операції здійснювали відповідно до ГОСТ 17038.2-79 [13], у якому регламентовано значення похибки вимірювань, тому і результат вимірювань лабораторія представляла зі значенням величини повної похибки

¹ k — коефіцієнт залежності окремих невиключених систематичних похибок від обраної довірчої ймовірності P_d за їхнього нормального розподілу.

² Невизначеність, обчислена за типом А, — невизначеність, отримана статистичними методами, за результатами багаторазових вимірювань. Невизначеність, обчислена за типом В, — невизначеність, отримана нестатистичними методами, за даними, взятими з паспорта, наприклад, довідкових даних, іншої НД.



вимірювань. Сьогодні, відповідно до стандарту [12], від акредитованої лабораторії потребують проведення поточного контролю достовірності вимірювань та оцінювання невизначеності вимірювань. У зв'язку з цим, Технічним комітетом зі стандартизації «Матеріали та прилади для сцинтиляційної техніки й техніки, пов'язаної з вимірюваннями іонізуючих випромінювань» (ТК 99), що діє на базі ІСМА НАН України, проведено гармонізацію міжнародного стандарту IEC 62372 [14], який в Україні є чинним як ДСТУ IEC 62372:2009 [15]³.

Стандарт [15] встановлює основні вимоги до апаратури та методів контролю технічного світлового виходу сцинтиляторів. У ньому вимірювання технічного світлового виходу проводять не в умовних одиницях (УОСВ), як у стандарті [13], а в енергетичних одиницях — фотон / МеВ, які характеризують кількість фотонів сцинтиляції, що пройшли через вихідне вікно упакованого сцинтилятора. За оцінення якості результату вимірювань взято не похибку, а невизначеність результату.

У загальному виді технічний світловий вихід випробовуваного упакованого сцинтилятора (C_{ph}), за використання відносного методу порівняння з робочим зразком, визначається за формулою (18) стандарту [15]:

$$C_{ph} = C_{ph0} \cdot (V_a - V_0) / (V_{et} - V_0), \quad (1)$$

де C_{ph} — технічний світловий вихід випробовуваного зразка, фотон / МеВ; C_{ph0} — технічний світловий вихід робочого зразка, фотон / МеВ; V_0 — значення початкової точки характеристики перетворення установки; V_{et} — значення амплітуди імпульсів, яке відповідає максимуму піку повного поглинання для робочого зразка; V_a — значення амплітуди імпульсів, яке відповідає максимуму піку повного поглинання для випробовуваного зразка.

³ Цей стандарт спрямовано на розроблення методів, які регламентують визначення основних параметрів упакованих сцинтиляторів — світлового виходу та власної роздільної здатності, тобто визначення і регламентування якості упакованих сцинтиляторів.

Вимірення проводилися на стандартному спектрометричному пристрої (СП), що включає попередній зарядочутливий передпідсилювач, лінійний підсилювач та багатоканальний аналізатор імпульсів. Значення початкової точки характеристики перетворення СП (V_0) становило мінус 2 канали. Як фотоприймач використовувався фотоелектронний помножувач (ФЕП) виробництва фірми «Hamamatsu», з діаметром фотокатода 70 мм. Для збурення сцинтиляційних кристалів використовувалося гамма-джерело іонізуючого випромінювання ^{137}Cs ($E_\gamma = 662$ кеВ) із набору зразкових спектрометричних гамма-джерел (ЗСГД). Проводилися багаторазові вимірювання ($n = 9$; 3 постановки по 3 вимірювання) величин амплітуд імпульсів від робочого й випробовуваного зразків відповідно до стандарту [15].

Порівняння величини похибки і невизначеності вимірювань для матеріалів з різними значеннями світлового виходу було цікавим. Обрали упаковані сцинтилятори, які мають високий світловий вихід, — на основі кристалів йодиду цезію, активованого талієм, CsI(Tl), середній, — на основі кристалів вольфрамату кадмію CWO, низький — на основі кристалів германату вісмуту BGO.

Упаковані сцинтилятори виконано в геометрії циліндрів і мали різні габаритні розміри. Робочі зразки мали діаметр, що дорівнював висоті: CsI(Tl) та CWO — $\varnothing 40 \times 40$ мм, BGO — $\varnothing 16 \times 16$ мм. Для кожного матеріалу обиралися по два випробовувані зразки: з діаметрами вихідного вікна, що дорівнював діаметру вихідного вікна робочого зразка, й відмінним від нього.

Як C_{ph0} для кожного з матеріалів використовувалися значення абсолютного світлового виходу, наведені у [16], і переобчислені з урахуванням коефіцієнта світлозбирання [17].

Стандарт [15] передбачає порівняння параметрів зразків, у яких діаметри є приблизно рівними (різниця між ними не має перевищувати 25 %), що дозволяє під час розрахунку технічного світлового виходу не враховувати нерівномірність чутливості різних частин фотокатода ФЕП.

Оскільки у цій роботі проводиться порівняння параметрів зразків, у яких різниця між діаметрами вихідних вікон перевищує допустиму, до формули (1) необхідно увести нормувальний множник K [18], який враховує нерівномірність чутливості різних зон фотокатода ФЕП, що займаються вихідними вікнами. Окрім того, замінивши відношення амплітуд імпульсів множником f , можна переписати формулу (1):

$$C_{ph} = C_{ph0} \cdot K \cdot f, \quad (2)$$

$$\text{де } f = \frac{(V_a - V_0)}{(V_{et} - V_0)}. \quad (3)$$

Отримане рівняння (2) є лінеаризованою математичною моделлю вимірювання, оскільки множники C_{ph0} і K для кожного із зразків є постійними величинами. У такому випадку величина результату вимірювання C_{ph} розглядається як результат прямих багаторазових вимірювань, і для оцінювання похибки результатів вимірювання технічного світлового виходу використовуються оцінки, наведені у стандарті [19].

Найбільший вплив на результат вимірювань технічного світлового виходу C_{ph} мають такі фактори:

- статистичний розкид результатів багаторазових вимірювань відношення амплітуд імпульсів f ;
- неточне значення світлового виходу C_{ph0} , приписане робочому зразку;
- неточне значення, приписане нормувальному множнику K , використовуваному в алгоритмі розрахунку світлового виходу, під час порівняння параметрів зразків із різними розмірами діаметрів вихідного вікна [18];
- обмежена чутливість шкали багатоканального аналізатора $f_{пр}$, яка впливає на значення відношення амплітуд імпульсів f .

На результат вимірювань впливають й інші фактори [18]. У статті розглядалися додаткові фактори: методична похибка; температура повітря та безпе-

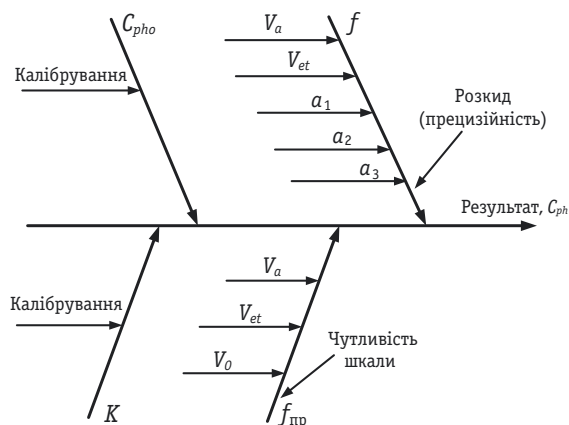


Рис. 3. Векторна діаграма «причина—наслідок»

рервна робота СП.

З урахуванням впливу всіх перерахованих факторів на результат вимірювання світлового виходу математичну модель вимірювання (2) можна представити у виді:

$$C_{ph} = C_{ph0} \cdot K \cdot f \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_3, \quad (4)$$

де a_1 — множник, що описує вплив на результат вимірювання методичної похибки; a_2 — множник, що описує вплив на результат вимірювання температури повітря; a_3 — множник, що описує вплив на результат вимірювання часу безперервної роботи СП.

Усі перераховані фактори є структурними складовими, що формують похибку (невизначеність) результату вимірювань.

Результат структурного аналізу складових по-

Таблиця 1. Амплітуди імпульсів і відношення амплітуд імпульсів упакованих сцинтиляторів на основі CsI(Tl), CWO та BGO

Ч/ч	Сцинтилятор CsI(Tl)						Сцинтилятор CWO						Сцинтилятор BGO					
	Ø 40×40 мм			Ø 25×25 мм			Ø 40×80 мм			Ø 15×25 мм			Ø 16×40 мм			Ø 30×50 мм		
	Амп. сигналу, канал		f	Амп. сигналу, канал		f	Амп. сигналу, канал		f	Амп. сигналу, канал		f	Амп. сигналу, канал		f	Амп. сигналу, канал		f
	V_{et}	V_a		V_{et}	V_a		V_{et}	V_a		V_{et}	V_a		V_{et}	V_a		V_{et}	V_a	
1	643	642	0,998	643	580	0,902	651	509	0,782	651	800	1,228	284	176	0,622	284	232	0,818
2	643	642	0,998	643	580	0,902	653	509	0,780	653	802	1,227	284	175	0,619	284	234	0,825
3	643	642	0,998	643	580	0,902	652	509	0,781	652	802	1,229	280	175	0,628	280	232	0,830
4	641	640	0,998	641	580	0,905	621	486	0,783	621	806	1,297	280	182	0,652	280	226	0,808
5	641	641	1,000	641	580	0,905	622	481	0,774	622	802	1,288	280	181	0,649	280	226	0,808
6	642	641	0,998	642	580	0,904	621	479	0,772	621	804	1,293	276	180	0,655	276	225	0,817
7	648	642	0,991	648	577	0,891	629	491	0,781	629	814	1,293	268	172	0,644	268	216	0,807
8	648	642	0,991	648	576	0,889	630	490	0,778	630	812	1,288	268	171	0,641	268	216	0,807
9	648	642	0,991	648	575	0,888	630	489	0,777	630	808	1,282	268	170	0,637	268	215	0,804
n=9	Середні значення			Середні значення			Середні значення			Середні значення			Середні значення			Середні значення		
	V_{et}	V_a	f	V_{et}	V_a	f	V_{et}	V_a	f	V_{et}	V_a	f	V_{et}	V_a	f	V_{et}	V_a	f
	644,1	641,6	0,996	644,1	578,7	0,899	634,3	493,7	0,779	634,3	805,6	1,269	276,4	175,8	0,638	276,4	224,7	0,814

хибки (невизначеності) доцільно зобразити за допомогою векторної діаграми «причина—наслідок» (рис. 3).

Вплив методичної похибки (множник a_1) за вимірювання світлового виходу різними методами (струмовим та імпульсним) досліджувався у звіті [18]. Результат його показав, що методична похибка є незначною порівняно з основними складовими похибки вимірювання, і нею можна знехтувати.

Зміна температури довкілля (множник a_2) не впливає на процес вимірювання, оскільки вимірювання проводили у кондиційованому приміщенні зі збереженням постійного температурного режиму.

Застосування систем стабілізації живлення дозволило знехтувати впливом нестабільності результатів вимірювань, пов'язаної з часом безперервної роботи СП (тобто множителем a_3), у силу мінімального внеску до сумарної похибки.

Отже, множники a_1 , a_2 , a_3 дорівнюють одиниці, а відповідні невизначеності — нулю.

У практичному випадку, що розглядається, у процесі оцінювання похибки вимірювання технічного світлового виходу досліджуваних упакованих сцинтиляторів, виходили із припущення стосовно нормального закону розподілу, з довірчою ймовірніс-

тю, яка дорівнює $P_d = 0,95$. Під час обчислення невизначеності результату вимірювання відповідно до п. 4.10.3 настанови [6] приймався нормальний закон розподілу можливих значень вимірюваної величини з тим же рівнем довірчої ймовірності.

На основі проведених вимірювань для досліджуваних упакованих сцинтиляторів розраховано значення відношень амплітуд f та обрано їхні середні значення. Представлено результати обчислень f (табл. 1). Для визначення значення нормувального множника K використовували метод, описаний у звіті [18]. Цей метод зводиться до порівняння чутливості зон фотокатода ФЕУ, що заповнюють вихідні вікна робочого та випробувального зразків. Значення нормувального множника K подано у табл. 2.

Далі, за формулою (2) розраховувалися значення технічного світлового виходу досліджуваних сцинтиляторів.

Вплив статистичного розкиду результатів багаторазових вимірювань відношення амплітуд імпульсів f на результат вимірювання C_{ph} під час обчислення похибки оцінювався шляхом визначення СКВ відношення амплітуд — $S(f)$, СКВ світлового виходу — $S(C_{ph})$ і довірчих меж випадкової похибки результату вимірювань — $\varepsilon(C_{ph})$ відповідно до стандарту [19].

Таблиця 2. Розрахунок похибки вимірювання технічного світлового виходу упакованих сцинтиляторів на основі CsI(Tl), CWO та BGO

Упакований сцинтилятор	Розмір упаков. сц-ра, мм	f	K	C_{ph} , фотон/MeV	$S(C_{ph})$		$\varepsilon(C_{ph})$		q		q		ΔC_{ph}	
					Абс., фот/MeV	Відн., %	Абс., фот/MeV	Відн., %	Абс., фот/MeV	Відн., %	Абс., фот/MeV	Відн., %	Абс., фот/MeV	Відн., %
CsI(Tl)	Ø 40×40	0,996	1,000	35480	47,648	0,134	109,876	0,310	128,40	0,362	2541	7,1611	2543	7,17
	Ø 25×25	0,899	1,008	32270	87,099	0,270	200,851	0,623	123,14	0,382	2418	7,4926	2426	7,52
CWO	Ø 40×80	0,778	1,000	5060	8,452	0,167	19,489	0,385	21,22	0,420	363	7,1648	363	7,18
	Ø 15×25	1,271	0,920	7590	62,619	0,825	144,399	1,903	24,90	0,328	568	7,4895	587	7,73
BGO	Ø 16×40	0,636	1,000	2800	19,218	0,687	44,317	1,584	30,16	1,079	203	7,2477	208	7,42
	Ø 30×50	0,813	0,935	3340	12,339	0,370	28,455	0,853	31,16	0,934	252	7,5511	253	7,60

Таблиця 3. Розрахунок невизначеності вимірювання технічного світлового виходу упакованих сцинтиляторів на основі CsI(Tl), CWO та BGO

Упакований сцинтилятор	Розмір упаков. сц-ра, мм	C_{ph} , фотон/MeV	$u_A(C_{ph})$		$u_B(f_{np})$		$u_B(C_{ph})$		$u_C(C_{ph})$		$U_P(C_{ph})$	
			Абс., фот/MeV	Відн., %	Абс., фот/MeV	Відн., %	Абс., фот/MeV	Відн., %	Абс., фот/MeV	Відн., %	Абс., фот/MeV	Відн., %
CsI(Tl)	Ø 40×40	35480	47,648	0,134	67,39	0,190	1333,29	3,758	1334,14	3,760	2668	7,52
	Ø 25×25	32270	87,099	0,270	64,63	0,200	1268,75	3,932	1271,74	3,941	2543	7,88
CWO	Ø 40×80	5060	8,452	0,167	11,14	0,220	190,36	3,759	190,55	3,763	381	7,53
	Ø 15×25	7590	62,619	0,825	13,07	0,172	298,31	3,930	304,81	4,016	610	8,03
BGO	Ø 16×40	2800	19,218	0,687	15,83	0,566	106,17	3,795	107,90	3,857	216	7,71
	Ø 30×50	3340	12,339	0,370	16,36	0,490	131,99	3,957	132,56	3,974	265	7,95

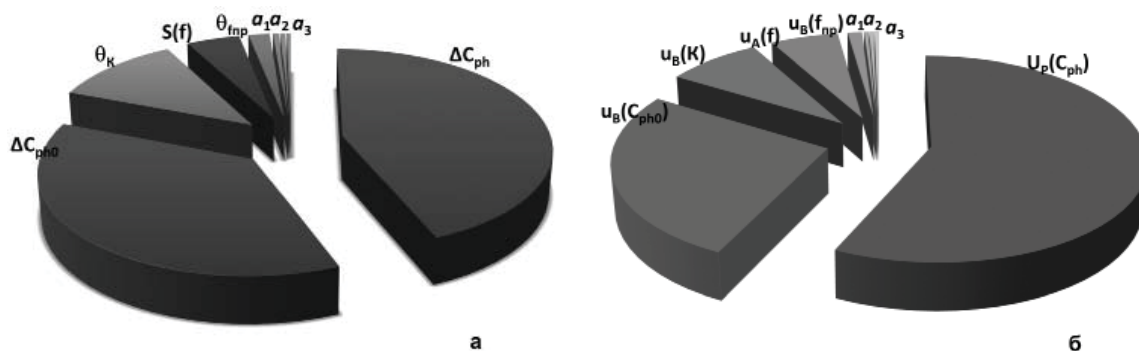


Рис. 4. Похибка (а) / невизначеність (б) результату вимірювання технічного світлового виходу на основі CWO з розміром $\varnothing 15 \times 25$ мм

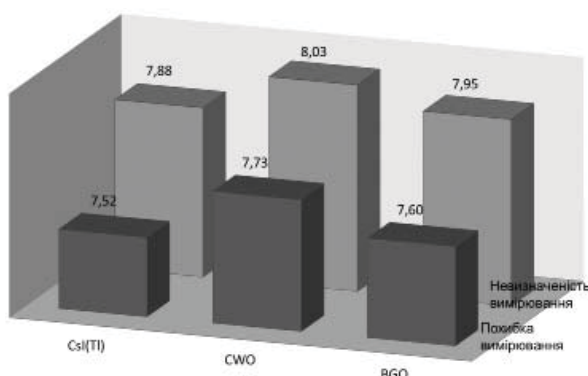


Рис. 5. Похибки і невизначеності вимірювань технічного світлового виходу розглядуваних упакованих скінтиляторів

У процесі визначення стандартної невизначеності результатів вимірювання світлового виходу за типом А — $u_A(C_{ph})$, відповідно до наведених (рис. 2) та формули (5) настанови [6], використовувалося значення $S(C_{ph})$.

Значення сумарної похибки ΔC_{ph0} визначення світлового виходу робочого зразка наведено у [20] і складає 6,5 %. Аналізування джерел невиключених систематичних похибок (НСП) вимірювання світлового виходу — θ_K і $\theta(f_{np})$ проводилося у звіті [18]. Значення НСП нормувального множника θ_K складало 2 %. Числові оцінки обчислення $\theta(f_{np})$ виконано із таких міркувань: використовувався 4096-канальний аналізатор з ціною поділки 1 канал $\theta_{V_{el}} = \theta_{V_a} = 0,5$ канала та $\theta_{V_0} = 1$ канал. Значення НСП, пов'язаної з обмеженою чутливістю шкали аналізатора, $\theta(f_{np})$ розраховувалося відповідно до п. 4.3 стандарту [19].

НСП і довірчі границі сумарної НСП результату вимірювань світлового виходу $\theta(C_{ph})$ оцінювалися відповідно до п. 4.3 стандарту [19], використовуючи значення коефіцієнта $k = 1,1$ за довірчої ймовірності $P_D = 0,95$.

Згідно з настановою [6] значення $u_B(f_{np})$ розраховувалися за формулою (7). Сумарна стандартна невизначеність за типом В $u_B(C_{ph})$ розраховувалася відповідно до настанови [6]. Значення сумарної стандартної невизначеності $u_C(C_{ph})$ розраховувалося за формулою (9) настанови [6].

Довірчі границі похибки результату вимірювань ΔC_{ph} розраховувалися відповідно до методики, описаної у звіті [18].

Розширена невизначеність результату вимірювання світлового виходу — $U_P(C_{ph})$ обчислювалася відповідно до формули (1) настанови [6], де значення коефіцієнта охоплення $k_{ox} = 2$ за $P_D = 0,95$ у припущенні стосовно нормального розподілу можливих значень результатів вимірювань (п. 4.10.3 настанови [6]).

Отримано результати оцінювання якості результату вимірювань технічного світлового виходу для досліджуваних зразків на основі розрахунку похибки та обчислення невизначеності вимірювань (табл. 2, 3).

Для більш наочного представлення отриманих результатів значення похибки (невизначеності) й їх складових, розрахованих для одного із досліджуваних упакованих скінтиляторів (CWO з розміром $\varnothing 15 \times 25$ мм), наведено (рис. 4) у виді кругової діаграми. Необхідно відзначити, що на діаграмі відображено внески похибок (невизначеностей) до результату вимірювання технічного світлового виходу і таких несуттєвих факторів, як множники a_1, a_2, a_3 , хоча числові значення цих внесків прирівнено до нуля. За відсутності систем стабілізації тракту або системи кондиціонування, вплив множників a_1, a_2, a_3 може бути суттєвим, і ним неможливо буде знехтувати.

Отримані значення похибок (невизначеностей) вимірювань розглядуваних упакованих скінтиляторів (з урахуванням впливу нормувального множника), що мають істотно відмінні значення технічного світлового виходу, наведено у виді гістограми (рис. 5).

Відзначимо, що інтерпретація отриманих результатів вимірень у випадках розрахунків похибки і невизначеності є різною. Так, наприклад, для упакованого сцинтилятора на основі CWO з розмірами $\varnothing 15 \times 25$ мм отримано результат вимірення (7590 ± 590) фотонів / МеВ. З точки зору «концепції похибки» значення технічного світлового виходу, що дорівнює 7590 фотонів / МеВ, є результатом вимірення, а значення ± 590 фотонів / МеВ є похибкою. З точки зору «концепції невизначеності» отримане значення є невід'ємним інтервалом 7000—8180 фотонів / МеВ, який приписується вимірюваній величині.

ВИСНОВОК

Проведено порівняльне оцінення якості результатів вимірень на основі методик обчислень похибки і невизначеності вимірювань. Показано, що розглядувані методики не суперечать один одному і дають порівняно близькі значення оцінень якості результату вимірювань. Це робить можливим їхнє гармонійне використання, без взаємного протиріччя та виключення однієї з них.

Встановлено, що основний внесок до результату вимірень для розглянутого прикладу вносить похибка (невизначеність) визначення технічного світлового виходу робочого зразка. Похибками (невизначеностями), пов'язаними з іншими незначними факторами, можна знехтувати, зважаючи на їхній малий вплив на результат вимірення. Отриманий висновок можна поширити і на інші види відносних вимірювань, у яких визначальний внесок до сумарної похибки (невизначеності) вносить похибка (невизначеність) зразка, що стоїть вище.

Визначено, що нормувальний множник вносить додатковий внесок до результату вимірень, що тягне за собою збільшення похибки (невизначеності), що приписується вимірюваній величині. Отже, для різних видів вимірювань урахування додатко-

вих факторів призводить до збільшення їхніх похибок (невизначеностей).

Показано, що у випадках вимірювання упакованих сцинтиляторів з істотно відмінними значеннями технічного світлового виходу розраховані значення похибок (невизначеностей) є близькими один до одного. Такий висновок дає можливість застосовувати використовувані методики оцінення якості результатів вимірень для сцинтиляторів, які мають великий розкид значень за величиною технічного світлового виходу.

Від випробувальної лабораторії у разі оцінення невизначеності не потребується проводити додаткових випробувань або досліджень. Фахівець, що володіє прийомами оцінення похибки, може достатньо легко оцінити якість отриманих результатів вимірень у термінах і показниках «концепції невизначеності», оскільки вихідні положення, методи розрахунків і правила оцінювання похибки і невизначеності є близькими і не суперечать один одному. Істотно відрізняються лише правила додавання складових і форма представлення результатів вимірень.

Оскільки систематизація методів розрахунку невизначеності у цілому схвалена метрологічним співтовариством, на сьогодні поняття «невизначеність вимірювань» під час міжнародних порівнянь результатів вимірень стало широко використовуваним. У вітчизняній же практиці вимірювання цілком ще є доречним оперувати поняттями «похибка» і «характеристики похибки». Отже, в умовах використання результатів лабораторної діяльності на міжнародному рівні, у процесі підтвердження компетенції випробувальної лабораторії за критеріями міжнародних стандартів лабораторія має оцінювати та представляти свої результати на уніфікованій базі Настанови з вираження невизначеності вимірювань [6].

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення.
2. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник / Ю.И. Борис, А.С. Сигов, В.И. Нефедов и др.; Под ред. А.С. Сигова. — 3-е изд. — М.: ФОРУМ, 2009. — 336 с.
3. Калмановский В. И. Продолжение легенды о неопределенности. Партнеры и конкуренты. — 2003. — № 6. — С. 35 — 39.
4. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM): First edition. — ISO, Switzerland, 1993. — 101 p.
5. Руководство по выражению неопределенности измерения // Перевод с англ. под науч. ред. проф. Слаева В.А. — СПб.: «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», 1999. — 134 с.
6. ДСТУ-Н РМГ 43:2006. Метрологія. Застосування «Руководства по выражению неопределенности измерений» (РМГ 43-2001, IDT).
7. Крикун В.М., Ольховский А.Н., Ларионова Г.Е. Оценка прослеживаемости и неопределенности измерений при аккредитации испытательной лаборатории по ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [www.sds-vr.ru/f/files/MVK/4\(18\)/krikun.pdf](http://www.sds-vr.ru/f/files/MVK/4(18)/krikun.pdf)

8. Руководство ЕВРАХИМ / СИТАК. Количественное описание неопределенности в аналитических измерениях // Пер. с англ. — 2-е изд. — СПб.: «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», 2002. — 141 с.
9. Международный словарь основных и общих терминов в метрологии — International Vocabulary of Metrology — Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM): Second edition, 1993. — International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. — 40 p.
10. РМГ 91-2009. ГСИ. Совместное использование понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерения». Общие принципы.
11. Коцюба А., Новіков В., Харченко І., Згуря В. Невизначеність вимірювання та характеристики похибки // Стандартизація, сертифікація, якість. — 2004. — № 2. — С. 45—47.
12. ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2005, IDT).
13. ГОСТ 17038.2-79. Детекторы ионизирующих излучений сцинтилляционные. Метод измерения светового выхода детектора по пику полного поглощения или краю комптоновского распределения.
14. IEC 62372:2006. Nuclear instrumentation — Housed scintillators — Measurement methods of light output and intrinsic resolution (Ядерне приладобудування. Сцинтилятори упаковані. Методи контролювання технічного світлового виходу та власної роздільної здатності).
15. ДСТУ IEC 62372:2009. Ядерне приладобудування. Сцинтилятори упаковані. Методи контролювання технічного світлового виходу та власної роздільної здатності (IEC 62372:2006, IDT).
16. Woo Gyo Lee, Yong Kyun Kim, Jong Kyung Kim, V. Tarasov, O. Zelenskaya A study of the inorganic scintillator properties for a phoswich detector (Изучение свойств неорганических сцинтилляторов для фосвич детекторов) // J. Korea Asso. Radiat. — 2004. — Vol. 29. — № 4. — P. 251—256.
17. Глобус М. Е., Гринев Б. В. Неорганические сцинтилляторы. Новые и традиционные материалы. — Харьков: Акта, 2000. — 408 с.
18. Отчет по теме НИР «Разработка методов и метрологическое обеспечение контроля качества упакованных сцинтилляционных кристаллов». — Институт монокристаллов. — Харьков, 1980. — 118 с.
19. ДСТУ ГОСТ 8.207:2008 ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.
20. Sysoeva E., Tarasov V., Zelenskaya O. Comparison of the methods for determination of Scintillation Light Yield (Сравнение методов определения светового выхода сцинтилляторов) // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 486. — 2002. — P. 67—73. ■

НАРАДА З ПИТАНЬ ПРИЙНЯТТЯ НД

Нещодавно в ДП «УкрНДНЦ» відбулася міжгалузєва нарада з представниками технічних комітетів стандартизації (ТК) (організацій, підприємств та установ), організована Департаментом технічного регулювання Мінекономрозвитку. Обговорювалося питання прийняття міжнародних та європейських нормативних документів (НД) мовою оригіналу та практики їх застосування.

До відома присутніх доведено інформацію стосовно роботи міністерства із забезпечення реалізації Концепції впровадження стандартів ЄС за методом «обкладинки», затвердженої наказом Мінекономрозвитку від 16.11.2011 № 224. Це один із шляхів забезпечення нормативною базою роботи ТК у період недостатнього бюджетного фінансування робіт з перекладу таких стандартів. Ураховуючи, що на ТК покладено функції з розроблення, розгляду, погодження національних стандартів й до їх складу входять безпосередні користувачі стандартів, саме ТК мають визначити, які міжнародні та європейські НД доцільно прийняти мовою оригіналу.

Більшість учасників наради представили позиції певних ТК щодо недоцільності прийняття зазначе-

них НД у такий спосіб. Основні обґрунтування: відповідні стандарти стосуються потенційно небезпечного обладнання; можливість розбіжностей у трактуванні положень стандартів; відсутність фахівців, які володіють іноземними мовами на належному рівні, й як результат — складності застосування стандартів мовою оригіналу тощо. За методом «обкладинки» доцільно приймати стандарти, видані російською мовою; які містять переважну частину інформації у табличній формі та цифрах; на які є посилання у розроблених методом перекладу національних стандартах.

Наголошувалося на необхідності залучення до фінансування розроблення стандартів, їх гармонізації з європейськими та міжнародними зацікавлених сторін, переважно бізнесу. За бюджетні кошти мають розроблятися стандарти, що стосуються безпеки та здоров'я людини, охорони довкілля тощо.

За результатами обговорення зазначеного питання ухвалено відповідне рішення. ■

(За матеріалами наради)

УДК 53.089.6:681.121.1



Г. Народницький, доктор технічних наук, начальник лабораторії,
ННЦ «Інститут метрології», м. Харків

Розглянуто особливості калібрування мір місткості та розрахунку невизначеності вимірювань об'єму рідини такими мірами.

The article describes the calibration feature of capacity measures and uncertainty of measurement of liquid volume by this capacity.

Міри місткості широко застосовуються практично у всіх галузях економіки України. До них належать еталонні та технічні мірники, стаціонарні резервуари для нафти, нафтопродуктів та харчових рідин, автомобільні та залізничні цистерни, танки морських суден, скляні міри місткості — колби, циліндри, піпетки, бюретки тощо. Еталонні мірники, основні типи технічних мірників, автомобільні цистерни та колби є мірами повної місткості. Резервуари, залізничні цистерни, танки морських суден, шкальні технічні мірники, циліндри, піпетки та бюретки є градуйованими мірами місткості. При цьому резервуари можуть мати як шкалу з поділками на резервуарі (резервуари для харчових рідин «під шкалу»), так і градувальну таблицю залежності об'єму рідини у резервуарі від її рівня.

Як правило, міри місткості, виготовлені з металу та скла, є дуже стабільними, і основне джерело їх похибки (невизначеності) — похибка визначення їхньої місткості під час калібрування.

Як і для більшості мір, похибка мір місткості практично не має випадкової складової, яка характеризується середнім квадратичним відхиленням (стандартною невизначеністю типу А). Під час багаторазових наливів та зливів рідини в ідентичних умовах різниця об'єму рідини у мірах місткості визначається, в основному, випадковою похибкою еталонів, які застосовуються для цих досліджень. Тому, під час калібрування мір місткості необхідно проводити ряд спостережень лише у тому випадку, коли для забезпечення необхідної невизначеності еталона, що використовується під час калібрування, необхідно отримати середнє значення за серією спостережень. В інших випадках достатньо вимірювання проводити для одного заповнення міри місткості. Особливо це важливо у разі калібрування наливних мір місткості, внутрішня поверхня яких має бути висушеною перед їх застосуванням.

Є складова невизначеності вимірювань об'єму рідини у деяких мірах місткості, яка не належить до метрологічних характеристик еталонів, — це складова неви-



© Народницький Г., 2013

значеності, пов'язана з похибкою визначення рівня рідини у мірах місткості з позначками місткості. Ця похибка залежить від напрямку лінії спостереження оператора під час визначення положення меніску рідини. Межі цієї похибки визначення рівня рідини наведено в [1] і складають $0,4 \text{ мм} + 0,01 D$, де D — діаметр міри місткості у місці зчитування. Відповідну складову невизначеності типу В слід ураховувати для таких мір місткості, як еталонні мірники та скляні міри місткості.

Підходи до розрахунку невизначеності типу В вимірювань об'єму рідини у мірах місткості суттєво залежать від того, який метод калібрування цих мір місткості застосовується, — *об'ємний, геометричний, метод зважування води у мірах і визначення густини води*.

Розглянемо особливості розрахунку невизначеності типу В для кожного з цих типів. Але перед цим сформуємо дві основні вимоги до такого розрахунку. По-перше, недопустимо враховувати одні й ті ж самі складові невизначеності двічі — під час експериментального та теоретичного визначень. По-друге, для розрахунку невизначеності типу В допустимо використовувати відомі результати щодо окремих складових [2], але недопустимо — відомі результати щодо невизначеності типу В (або щодо невилученої систематичної похибки) у цілому, для всього типу мір місткості. Якщо використовувати такі результати для типу в цілому, немає потреби проводити калібрування, оскільки похибку для кожного типу мір місткості наведено у відповідних стандартах.

Розглянемо *об'ємний метод калібрування* мір місткості, окрім калібрування стаціонарних резервуарів, залізничних цистерн та танків морських суден, для яких є особливий підхід. Найбільш доцільно для об'ємного методу калібрування отримувати невизначеність типу В за даними калібрування, зокрема, за результатами визначення відхилення місткості міри від номінального значення. У разі можливості та доцільності використання цих мір місткості під час вимірювань з поправкою це значення відхилення, суттєвий внесок до якого дають складові невизначеності типу В, з протилежним знаком використовується як поправка. Слід зазначити, що під час калібрування немає можливості провести спеціальні дослідження з метою встановлення систематичної похибки мір місткості і, відповідно, визначити поправку, яка дорівнює систематичній похибці з протилежним знаком. Однак, для достатньо стабільних мір (гіри, міри місткості тощо), ураховання поправки, без визначення окремо систематичної похибки, вже дає суттєве зменшення похибки (невизначенос-

ті) та дозволяє наблизити похибку мір до похибки еталона. У разі використання мір місткості з поправкою стандартна невизначеність типу В для мір місткості приймається рівною сумарній невизначеності еталона, який застосовується під час калібрування. Ураховання у цьому випадку не лише стандартної невизначеності типу В еталона, а й стандартної невизначеності типу А (тобто випадкової похибки) пов'язано з тим, що наявність випадкової похибки еталона збільшує похибку відтворення одиниці розміру еталона, тобто невизначеність мір місткості. Але це значення випадкової похибки у подальшому в мірах місткості не змінюється (не проявляється як випадкова похибка), а лише збільшує невизначеність типу В цих мір. Тому як стандартна невизначеність типу В мір місткості приймається не стандартна невизначеність типу В еталона, а сумарна невизначеність еталона.

У разі недоцільності використання мір місткості під час вимірювань з поправкою стандартну невизначеність типу В розраховують за знайденим відхиленням. Якщо знайдене у такий спосіб значення є меншим, ніж сумарна невизначеність еталона, як стандартна невизначеність типу В береться сумарна невизначеність еталона. Як наведено вище, використання для розрахунку стандартної невизначеності типу В одночасно знайденого відхилення та теоретичних оцінень є недопустимим, оскільки у знайденому відхиленні суттєвий внесок мають складові стандартної невизначеності типу В.

Іншу категорію мір місткості складають вертикальні та горизонтальні сталіні циліндричні резервуари для нафти та нафтопродуктів [3, 4], для харчових рідин (з градувальною таблицею) [5] та залізничні цистерни [6]. Застосовуються ці міри місткості лише у комплекті із засобами вимірювання рівня (рівнемірами, рулетками з вантажем, метрштоками). Невизначеність, з якою таким комплектом можна виміряти об'єм рідини, має наводитися у методиках виконання вимірювань. У цій статті розглянемо лише невизначеність отриманих під час калібрування указаних мір місткості градувальних таблиць — таблиць залежності об'єму рідини від її рівня.

Для отримання градувальних таблиць резервуарів та залізничних цистерн застосовуються, в основному, *геометричний та об'ємний методи* (для резервуарів — *комбінований метод*, який включає об'ємний метод до означеного рівня, як правило, до 5 % від загальної висоти резервуара, та геометричний метод вище цього рівня). Невизначеність градувальних таблиць не визначається під час калібрування, а заздалегідь обчислена для типів мір місткості

за дотримання умов калібрування. Відповідна похибка є невилученою систематичною похибкою із цілим рядом складових. Згідно з РМГ 43 [2] за цими даними можна отримати стандартну невизначеність типу В. Невизначеність типу А під час отримання градувальних таблиць експериментально визначити практично неможливо через дуже високу трудомісткість робіт. Але навіть теоретичне оцінення стандартної невизначеності типу А показує, що вона на порядок менша за стандартну невизначеність типу В, і нею можна знехтувати.

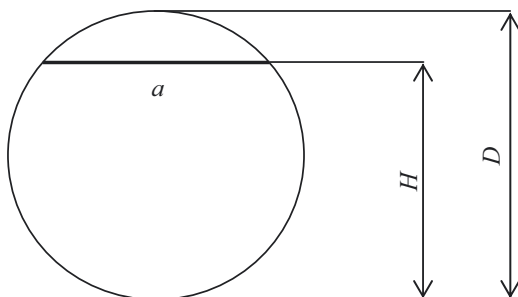
Як приклад наведемо розрахунок невизначеності типу В для отриманої об'ємним методом градувальної таблиці горизонтальних циліндричних резервуарів, діаметром D , висотою H_{\max} , за абсолютних похибок мірників Δ_V та рівнеміра Δ_H . При цьому для оцінювання максимально можливої похибки вимірювання об'єму мірниками уважатимемо дози рідини корельованими з коефіцієнтом кореляції, рівним одиниці. Об'єм рідини у резервуарі на рівні $H V_{\text{град}}(H)$ дорівнює:

$V_{\text{град}}(H) = V(H) \pm \Delta_V = V(H \pm \Delta_H) \pm \Delta_V$, (1)
де V і H — дійсні значення об'єму та рівня рідини, відповідно, без урахування похибок вимірювання; Δ_V та Δ_H — абсолютні похибки вимірювань об'єму та рівня рідини, відповідно.

Згідно з правилами опрацювання результатів опосередкованих вимірювань [7], з урахуванням некорельованості Δ_H та Δ_V , отримаємо:

$$\Delta_{V_{\text{град}}} = \sqrt{\Delta_V^2 + \Delta_H^2 \cdot (\partial V(H) / \partial H)^2}. \quad (2)$$

Величина $\Delta_H \cdot (\partial V(H) / \partial H)$ є об'ємом горизонтального шару рідини з висотою, що дорівнює похибці вимірювання рівня Δ_H , та площиною шару в горизонтальній площині, що дорівнює добутку довжини хорди a вертикального перерізу резервуара на довжину резервуара l (рисунок).



Довжина хорди дорівнює [8]:

$$a = 2\sqrt{HD - H^2}. \quad (3)$$

Відтак

$$\Delta_H (\partial V / \partial H) = \Delta_H a \cdot l = 2\Delta_H l \sqrt{HD - H^2}. \quad (4)$$

Отримаємо з (2):

$$\Delta_{V_{\text{град}}} = 1,1 \sqrt{\Delta_{V_{\text{вим}}}^2 + 4\Delta_H^2 l^2 (HD - H^2)}, \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \delta_{V_{\text{град}}} &= \Delta_{V_{\text{град}}} / V \cdot 100 \% = \\ &= 1,1 \sqrt{\delta_{V_{\text{вим}}}^2 + 4\delta_H^2 \frac{l^2}{V^2} D^4 [(H/D)^3 - (H/D)^4]}, \end{aligned} \quad (6)$$

де $\delta_H = \Delta_H / H \cdot 100 \%$.

Аналізування цього виразу показало, що за $H \geq 0,5$ м та $D \geq 3,0$ м відносна похибка градування $\delta_{V_{\text{град}}}$ не перевищує нормованого у [4] значення $\pm 0,2 \%$. Перейдемо згідно з [2] до стандартної невизначеності типу В u_B і отримаємо:

$$u_B = \delta_{V_{\text{град}}} / 1,1\sqrt{3} = 0,105 \%.$$

Відповідно, розширена невизначеність U за коефіцієнта охоплення, що дорівнює 2, становить $U = 0,21 \%$.

Дещо складнішим є завдання з калібрування скляних мір місткості (у процесі експлуатації) та автомобільних цистерн ваговим методом. У цьому випадку мають визначатися характеристики невизначеності еталонної установки, заснованої на вимірюванні маси води та визначенні її густини.

У разі калібрування резервуарів, залізничних цистерн та танків морських суден геометричним методом стандартна невизначеність типу В градувальних таблиць визначається за [2] з урахуванням похибки градувальних таблиць згідно з чинними нормативними документами ([3, 4] тощо).

ЛІТЕРАТУРА

- ГОСТ 29044-91. Посуда лабораторная стеклянная. Принципы устройства и конструкции мерной посуды. (ИСО 384-78).
- РМГ 43-2001. ГСИ. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений».
- ДСТУ 4147-2003. Метрологія. Резервуари сталеві вертикальні циліндричні. Методика повірки (ГОСТ 8.570-2000, MOD).
- ДСТУ 4218:2003. Метрологія. Резервуари сталеві горизонтальні циліндричні. Методика повірки (ГОСТ 8.346-2000, MOD).
- РД 10-04-5-87. Методические указания. Резервуары и технологическое оборудование стационарные измерительные. Определение общей и интервальных вместимостей.
- ПМГ 65:2005. Метрологія. Цистерны залізничні. Загальні вимоги до методик повірки об'ємним методом (ПМГ 65-2003, IDT).
- МИ 1730-87 ГСИ. Погрешности косвенных измерений характеристик и процессов. Методика расчета.
- Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. — М.: Изд-во техн.-теор. лит. — 1957. — 608 с. ■



А. Стеценко, директор,

С. Недзельський, кандидат технічних наук, головний метролог,
Приватне акціонерне товариство «Енергооблік», м. Харків

Збільшення міжповірного інтервалу є актуальним завданням для кожного виробника засобів вимірювальної техніки (ЗВТ). Правильний і обґрунтований вибір методу корекції веде до значного скорочення трудових і часових витрат.

The increase in an intertesting interval is an actual task for each producer of means of measuring equipment. The right and reasonable choice of a method of correction conducts to considerable reduction of labor and temporary expenses.

Підприємство «Енергооблік» протягом п'ятнадцяти років виробляє витратоміри-лічильники ультразвукові УВР-011. За цей період вони зарекомендували себе як надійні й стабільні засоби вимірювання, свідченням чого є протоколи повірок, проведених ДП «Харківстандартметрологія», а також досвід експлуатації на вузлах обліку рідин. Відповідно до ДСТУ 6044:2008 «Міжповірочний інтервал засобів вимірювальної техніки» підприємство «Енергооблік», як виробник зазначеного ЗВТ, під час проведення державних контрольних випробувань ініціювало збільшення міжповірочного інтервалу від двох до чотирьох років. Проведено попередні дослідження й розрахунки згідно з ДСТУ-Н РМГ 74:2009 «Метрологія. Методи визначення міжповірочних і міжкалібрувальних інтервалів засобів вимірювань» (РМГ 74-2004, IDT).

Як критерій нормованого показника метрологічної надійності використано ймовірність роботи УВР-011 протягом міжповірочного інтервалу без метрологічних відмов P . Вихідними даними слугували значення похибок УВР-011 за результатами первинної й періодичних повірок (таблиця).

Імовірність роботи УВР-011 протягом міжповірочного інтервалу T без метрологічних відмов P обчислювалася за формулою (15) ДСТУ-Н РМГ 74:

$$P(T) = \frac{\Phi[D(T)] - \Phi[C(T)]}{\Phi[G(0, \Delta)] - \Phi[G(0, -\Delta)]}, \quad (1)$$

де $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-0,5z^2} dz$ — інтегральна функція нормального розподілу;



А. Стеценко



С. Недзельський

Вихідні дані для розрахунків міжповірного інтервалу

Номер УВР-011	Похибка за первин- ної повірки, $\delta(0)$, %	Похибка за першої періодичної повірки (через 2 роки), $\delta(2)$, %	Похибка за другої періодичної повірки (через 4 роки), $\delta(4)$, %
130	0,56	- 0,58	0,36
318	0,5	- 0,67	0,51
320	- 0,78	- 0,5	- 0,27
321	- 0,17	0,39	- 0,44
324	- 0,41	- 0,35	- 0,09
326	- 0,41	0,12	0,31
329	- 0,3	- 0,29	- 0,34
334	0,6	- 0,58	0,21
344	- 0,32	- 0,07	0,08
353	- 0,43	- 0,54	0,17
357	- 0,36	0,26	- 0,38
376	0,41	0,11	- 0,22
377	0,42	- 0,19	- 0,16
390	0,12	- 0,39	- 0,38
401	0,38	0,49	- 0,42
420	0,43	0,4	- 0,46
448	0,33	- 0,2	0,26
452	0,59	0,58	- 0,07
460	0,15	0,23	0,21
477	0,36	- 0,17	0,17
480	0,23	0,4	- 0,56
481	0,27	0,2	- 0,12
482	- 0,18	0,31	- 0,17
486	- 0,51	0,34	0,17
487	- 0,56	0,61	0,66
488	- 0,17	0,08	0,54
491	0,24	- 0,06	0,26
493	0,33	0,37	0,28
510	0,39	0,22	0,29
880	0,16	0,41	- 0,24
1007	0,22	0,15	0,24
1086	0,34	0,29	0,11
1125	- 0,34	- 0,2	0,51
1167	0,2	0,13	0,28
1168	- 0,26	- 0,07	- 0,38
1169	0,32	- 0,16	0,22
1183	0,19	0,63	0,37
1185	0,26	- 0,12	0,15
1188	- 0,2	- 0,32	0,16
1202	0,37	0,19	- 0,59

$$C(T) = \max_{t \in [0, T]} [G(t, -\Delta)]; D(T) = \min_{t \in [0, T]} [G(t, \Delta)];$$

$$G(t, -\Delta) = \frac{-\Delta^P - m(t)}{\sigma(t)}; G(t, \Delta) = \frac{\Delta^P - m(t)}{\sigma(t)};$$

m — середнє значення похибки під час повірки;
 σ — середньоквадратичне відхилення (СКВ), Δ —
 допустима межа ($\Delta = 1\%$) похибки під час повір-
 ки; P — нормоване значення ймовірності роботи

УВР-011 протягом міжповірного інтервалу без мет-
 рологічних відмов ($P = 0,95$).

Середні значення й СКВ похибок за первинної
 ($T = 0, m(0), \sigma(0)$) і періодичних ($T = 2; 4$ роки, $m(2),$
 $m(4), \sigma(2), \sigma(4)$) повірок розраховувалися за форму-
 лами:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_i}{N}; \sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\delta_i - m)^2}.$$

Отримали такі результати:

$$m(0) = 0,074; \sigma(0) = 0,371;$$

$$m(2) = 0,036; \sigma(2) = 0,358;$$

$$m(4) = 0,031; \sigma(4) = 0,358.$$

Для міжповірного інтервалу $T = 2$ роки:

$$G(0, -\Delta) = -2,899; G(2, -\Delta) = -2,892;$$

$$C(2) = -2,892.$$

$$G(0, \Delta) = 2,498; G(2, \Delta) = 2,69; D(2) = 2,498.$$

Підставивши в (1) значення G, C і D та розра-
 хувавши інтегральну функцію нормального розпо-
 ділу, маємо:

$$P(2) = \frac{0,9938 - 1,912 \cdot 10^{-3}}{0,9938 - 1,873 \cdot 10^{-3}} = 0,999961.$$

Отже, ймовірність роботи УВР-011 протягом міжпові-
 рного інтервалу $T = 2$ роки без метрологічних від-
 мов $P(2) = 0,999961$ і перевищує нормативну $P = 0,95$.

Для міжповірного інтервалу $T = 4$ роки:

$$G(0, -\Delta) = -2,899; G(4, -\Delta) = -2,877;$$

$$C(4) = -2,877.$$

$$G(0, \Delta) = 2,498; G(4, \Delta) = 2,705; D(4) = 2,498.$$

Підставивши в (1) значення G, C і D і розраху-
 вавши інтегральну функцію нормального розподі-
 лу, маємо:

$$P(4) = \frac{0,9938 - 2,009 \cdot 10^{-3}}{0,9938 - 1,873 \cdot 10^{-3}} = 0,999862.$$


Отже, ймовірність роботи УВР-011 протягом між-
 повірного інтервалу $T = 4$ роки без метрологічних
 відмов $P(4) = 0,999862$.

Із розрахунків видно, що і за міжповірного ін-
 тервалу $T = 4$ роки ймовірність роботи УВР-011 без ме-
 трологічних відмов перевищує нормоване значення:

$$P(4) = 0,999862 > P = 0,95.$$

Тобто забезпечується гарантія роботи УВР-011
 без метрологічних відмов за міжповірний інтер-
 вал $T = 4$ роки.

ВИСНОВКИ

Корекція міжповірного інтервалу в процесі
 експлуатації ЗВТ на основі даних, отриманих ста-
 тистичними методами, застосовуваними для аналі-
 зування результатів повірки великої кількості ЗВТ
 одного типу й модифікації дозволяє уникнути до-
 рогих і тривалих за часом методів, таких як «метод
 прискорених випробувань». 

УДК: 53.087.4:621.3177.799

СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

А. Неделько, ведущий инженер,
ОАО НПП «Эталон», г. Омск, Россия

Описаны контроллеры цифровых измерительных преобразователей температуры. Рассмотрены возможности сервисного программного обеспечения для обслуживания системы сбора данных, а также основные принципы и правила объединения контроллеров в единую сеть.

The study describes the controllers of digital temperature transmitters. Focus is on the ability of service software for data acquisition system as well as rules and principles for combining the controllers in united network.

Регистрировать температурные поля объектов можно различными способами, например:

- последовательными измерениями температуры одним датчиком (контактным или бесконтактным) в заданных точках объекта с сохранением результатов для дальнейшей обработки;
- размещением множества датчиков в заданных точках объекта с возможностью одновременного получения результатов от всех датчиков посредством проводной или беспроводной сети;
- использованием тепловизоров с линейным или кадровым сканированием по полю зрения.

К достоинствам метода измерений одним датчиком можно отнести возможность минимальных затрат на измерительное оборудование и его поверку. Среди недостатков — высокая трудоемкость проведения измерений и обработки результатов, дополнительная погрешность в случае, если после перемещения датчика не выдержано время, необходимое для установления теплового равновесия, искажения температурного распределения при нестационарных тепловых процессах.

Для минимизации этих недостатков датчики размещают во всех заданных точках объекта и объединяют в единую сеть. Устройство сбора данных (контроллер) с заданной периодичностью опрашивает все датчики сети, обрабатывает результаты, затем передает их на ПК либо сохраняет в памяти. Таким образом затраты времени на проведение измерений существенно сокращаются (рис. 1). Если же местоположение датчиков в процессе проведения измерений изменяется, целесообразнее использовать



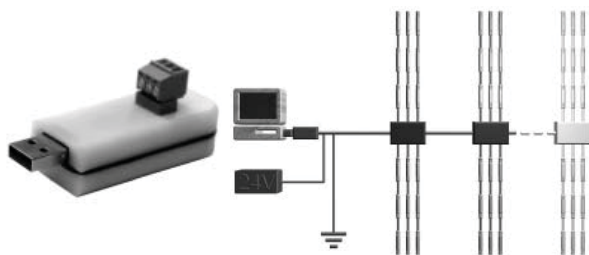


Рис. 1. Конфигурация системы регистрации

системы с радиоинтерфейсом либо тепловизоры. Тепловизоры значительно упрощают и ускоряют процесс регистрации температурного распределения, имеют встроенный дисплей, но их применение имеет ряд ограничений, среди которых отметим следующие: контролируемые зоны должны находиться в прямой видимости под углами, близкими к прямым; поверхности должны иметь известную и одинаковую излучательную способность; погрешность и воспроизводимость бесконтактных измерений в большинстве случаев являются худшими соответствующих контактных. Системы с радиоинтерфейсом имеют значительную стоимость и требуют периодической замены элементов питания.

В случае, когда расположение датчиков заранее известно и стационарно, удобнее использовать заранее смонтированные в единое изделие датчики и соединительный кабель — так называемые термокосы.

Термокосы серии МЦДТ 0922 (рис. 2) предназначены для полевого определения температуры грунтов по ГОСТ 25358-82, а также для измерений температур в строительстве, на других сложных нелинейных объектах. Герметичные термокосы серии МЦДТ 1201 (рис. 3) предназначены для измерения

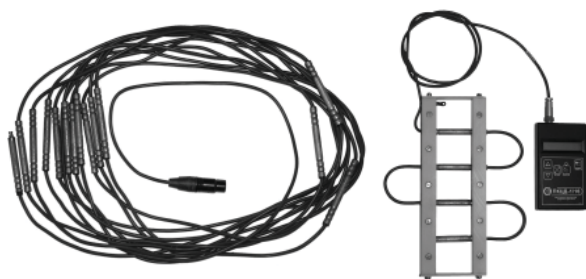


Рис. 2. Термокосы серии МЦДТ 0922



Рис. 3. Термокосы серии МЦДТ 1201



Рис. 4. Портативные контроллеры цифровых датчиков ПКЦД-1/16 и ПКЦД-1/100

температуры жидкости в резервуарах, а также зерна в силосных зернохранилищах. В качестве защитной оболочки термокос этой серии используется герметичный металлорукав или металлопластиковая труба, которые дополнительно обеспечивают высокую механическую прочность.

Для регистрации данных цифровых датчиков температуры и термокос, изготовленных из них, можно использовать портативные контроллеры, например, ПКЦД-1/16 или ПКЦД-1/100 (рис. 4), максимальное количество одновременно подключаемых датчиков (или количество датчиков в термокосе) — 16 или 100 соответственно. Эти контроллеры подключаются к разъему термокосы и в течение нескольких секунд считывают и обрабатывают данные с датчиков и сохраняют во внутренней памяти. Далее данные сбрасываются на ПК либо сохраняются в энергонезависимой памяти, и оператор может перейти к месту следующего замера. Дополнительно к ПКЦД-1/100 вместо термокосы можно подключить выносной датчик температуры и относительной влажности окружающего воздуха (рис. 5), при этом контроллер также производит расчет абсолютной влажности и точки росы. ПКЦД-1/100 может работать в режиме логгера, то есть автоматически сохранять данные в энергонезависимой памяти с заданной периодичностью. Ресурс автономной работы в режиме логгера составляет около 20 суток (изменяется в зависимости от емкости аккумулятора и окружающей температуры).

Максимальное количество записей N_{\max} можно рассчитать по формуле:

$$N_{\max} = 65534 / (12 + K_{\text{дат}} \cdot 4), \text{ но не более } 1000,$$
 где $K_{\text{дат}}$ — количество подключенных датчиков.

Время заполнения памяти T можно рассчитать по формуле:

$$T = (N_{\max} \cdot P) / 86400, \text{ суток, где } P — \text{ период автоматического сохранения в секундах.}$$



Рис. 5. Выносной датчик температуры и влажности

Если необходимо производить сбор данных длительное время и термокосы установлены стационарно, целесообразно объединить все термокосы в единую систему сбора данных. Для этого разработаны стационарные контроллеры СКЦД-1/100 (рис. 6) и СКЦД-6/200 (рис. 7). К СКЦД-1/100 подключает-



Рис. 6. Стационарный контроллер цифровых датчиков СКЦД-1/100



Рис. 7. Стационарный контроллер цифровых датчиков СКЦД-6/200

ся одна термокоса, содержащая до 100 датчиков, к СКЦД-6/200 можно подключить от 1 до 6 термокос, содержащих суммарно до 200 датчиков. До 255 контроллеров при помощи кабеля типа «витая пара» объединяются в сеть RS-485 и через переходник USB/RS-485 (рис. 1) подключаются к ПК, на котором установлена программа-сервер сети (рис. 8).

Программа сканирует сеть, идентифицирует найденные контроллеры и подключенные к ним термокосы, ведет мониторинг температур в реальном времени на графиках и таблицах. Накопленные данные можно сохранить как в виде единого для всей системы файла, так и отдельно для каждой термокосы. Для предотвращения потери данных при сбоях в работе ПК контроллер ведет запись данных в энергонезависимую память, структура и объем которой аналогичны ПКЦД-1/100. При необходимости потерянные данные можно восстановить, загрузив содержимое энергонезависимой памяти на ПК. Контроллеры СКЦД имеют степень защиты от пыли и воды IP65 и оснащены термостатом для подогрева электроники в условиях работы при температурах окружающего воздуха ниже -40°C .

Для регистрации температурных полей удаленных, труднодоступных объектов разрабатываются автономные логгеры для термокос (рис. 9). Логгеры размещаются рядом с местом установки термокосы и работают автономно от литиевого элемента питания в течение нескольких лет. Данные

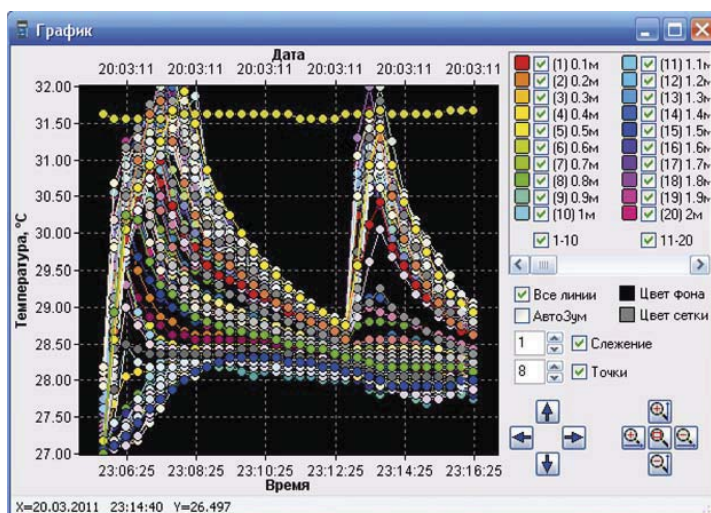
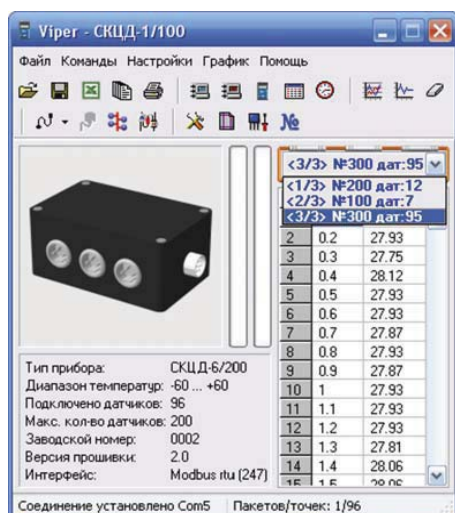


Рис. 8. Сервисное ПО Viper



Рис. 9. Автономний логгер для термокос



Рис. 10. Пирометричний преобразователь для электроустановок

записуються на карту пам'яті формату *MicroSD*. Сбор даних можна проводити як на місці установки термокоси путем копіювання файлу даних з карти на ПК, так і путем извлечения і заміни карти пам'яті на нову, з наступним збереженням карт пам'яті з даними в архіві.

В силових електричних установках необхідно контролювати в реальному часі температуру токопроводящих і комутаційних елементів для запобігання їх перегріву і виходу з ладу.

Однак, оскільки ці елементи знаходяться під високим напругою, вимірювання необхідно проводити безконтактним способом. Кількість точок контролю може досягати десяти і більше, многі перекриті, закриті захисними кожухами і знаходяться в різних місцях установки, що робить незручним використання тепловізора. Для рішення цієї проблеми розробляється система багатоточкової безконтактної реєстрації температури. Система представляє собою подібне термокосі, в якій в якості датчиків встановлені пирометричні перетворювачі (рис. 10). Контролюючий пристрій виробляє опитування датчиків системи (до 255 датчиків, протокол *Modbus*) за допомогою інтерфейсу *RS-485*, формує необхідні сигнали для оповіщення і аварійного відключення електроустановок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов А.В., Малкова Г.В. Мелкомасштабное картографирование трендов современных изменений температуры грунтов на севере России // Криосфера Земли. — 2009. — Т. XIII. — № 4. — С. 32—39.
2. Попов А.П., Милованов В.И., Жмулин В.В., Рябов В.А., Бережной М.А. К вопросу о типовых технических решениях по основаниям и фундаментам для криолитозоны // Инженерная геология. — 2008. — Сентябрь. — С. 22—38.
3. Трисвятский Л.А. Хранение и технология сельскохозяйственных продуктов // М: Агропромиздат, 1991.

МОНІТОРИНГ СТАНУ ЗАСОБІВ ВАГОВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

З початку року ДП «Львівстандартметрологія» провело моніторинг стану засобів ваговимірювальної техніки, що використовується під час проведення торговельно-комерційних операцій на підприємствах торгівлі Галицького району міста Львова. Моніторингом було охоплено 89 підприємств торгівлі та фізичних осіб. Із перевірених у них 162 одиниць ваговимірювальної техніки 72 визнано непридатними до застосування. Аналогічні моніторинги проводяться і в інших районах міста Львова та області.

«Найчастіше бракує ваговимірювальну техніку через відсутність на ній чинних державних тавр про перевірку. Адже далеко не всі підприємства та фізичні особи, які добре ознайомлені з порядком технічного обслуговування та подання вагів на державну перевірку, дотримуються правил чесної торгівлі. Від цього потерпає, насамперед, споживач — використання недовірених вагів та гир, як правило, призво-

дить до обважування, — коментує начальник відділу ДП «Львівстандартметрологія» Андрій Мазур. — Аби подібних зловживань було менше, й здійснюється перевірка й державна метрологічна атестація ваговимірювальної техніки. Непридатні до застосування ваги та гирі проходять ремонт і профілактику».

Щоб зацікавити увагу на проблемі метрологічного забезпечення засобів вимірювальної техніки маси під час здійснення торговельних операцій, ДП «Львівстандартметрологія» періодично проводить консультаційно-методичні семінари для підприємців сфери торгівлі щодо дотримання вимог ст. 20 Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність», інших чинних в Україні нормативних документів з метрології.

(За матеріалами
ДП «Львівстандартметрологія»)



УДК 628.1:519.712

РОЗРОБЛЕННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОСТАЧАННЯ ХОЛОДНОЇ І ГАРЯЧОЇ ВОДИ У МЕРЕЖАХ МІСТА

П. Євтух, доктор технічних наук, професор кафедри «Систем електроспоживання та комп'ютерних технологій в електроенергетиці»,

В. Липницький, інженер кафедри,

Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя

Оцінено та відтворено водоспоживання залежно від дня, тижня і часу доби в Simulink за допомогою штучних нейронних мереж (НМ). Створено і навчено різні типи мереж та проаналізовано їхні похибки. Визначено та звернено увагу на складність та простоту технічної реалізації кожної із систем. Порівняно результати роботи систем на основі проведеного дослідження. Точність роботи та простота реалізації штучної НМ стає одним із ключових факторів, які вказують на доцільність застосування її на практиці.

The study evaluated and replicated water consumption, depending on day of week and time of day in Simulink using artificial neural networks. The article describes creating and training various types of networks and analyzed their errors. The authors have defined and drawn attention to the complexity and simplicity of the technical implementation of each of the systems. The research compares the results of the systems on the basis of the study. Accuracy and ease of implementation of artificial neural network is one of the key factors that indicate the feasibility of its application in practice.



П. Євтух

Нервова система і мозок людини складаються з нейронів, з'єднаних між собою нервовими волокнами. Нервові волокна здатні передавати електричні імпульси між нейронами. Кожен нейрон (рис. 1) має відростки нервових волокон двох типів — дендрити, за якими приймаються імпульси, і єдиний аксон, за яким нейрон може передавати імпульс. Аксон контактує з дендритами інших нейронів через синапси, що впливають на силу імпульсу.

Можна уважати, що у разі проходження синапса сила імпульсу змінюється у визначене число разів, це прийнято називати вагою синапса. Імпульси, що надійшли до нейрона одночасно за декількома дендритами, додаються.



В. Липницький

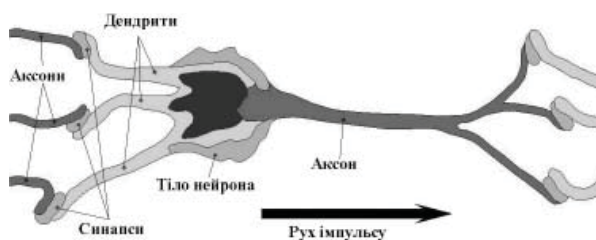
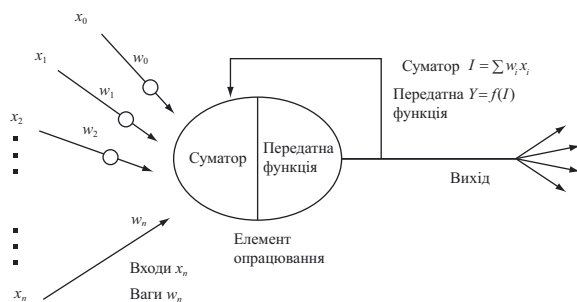


Рис. 1. Будова біологічного нейрона



Елемент опрацювання

Рис. 2. Базовий штучний нейрон

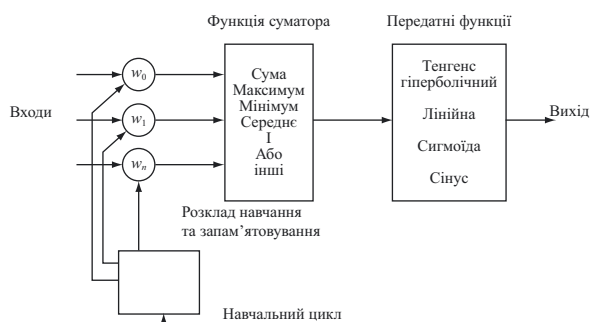


Рис. 3. Модель «елемента опрацювання»

Останні експериментальні дослідження доводять, що біологічні нейрони структурно складніші, ніж спрощене пояснення, наведене вище, і значно складніші, ніж існуючі штучні нейрони, які є елементами сучасних штучних НМ. Оскільки нейрофізіологія надає науковцям розширене розуміння дії нейронів, а технологія обчислень постійно удосконалюється, розробники мереж мають необмежений простір для удосконалення моделей біологічного мозку [1].

Базовий модуль НМ — штучний нейрон моделює чотири основні функції природного нейрона (рис. 2).

Вхідні сигнали x_n , зважені ваговими коефіцієнтами з'єднання w_n , додаються, проходять через передатну функцію, генерують результат і виводяться.

У наявних наразі пакетах програм штучні нейрони називаються «елементами опрацювання» і мають набагато більше можливостей, ніж простий штучний нейрон, описаний вище. На рис. 3 зображено детальну схему спрощеного штучного нейрона.

Модифіковані входи передаються на функцію сумування, яка переважно лише сумує добутки. Проте можна обрати багато різних операцій, такі як *середнє, найбільше, найменше, OR, AND* тощо, які могли б виробляти деяку кількість різних значень. Окрім того, більшість комерційних програм дозволяють інженерам-програмістам створювати власні функції сумування за допомогою підпрограм, закодованих на мові високого рівня (*C, C++, TurboPascal*). Інколи функція сумування ускладнюється додаванням функції активації, яка дозволяє функції сумування оперувати в часі.

У будь-якому із цих випадків вихід функції сумування надсилається у передатну функцію і скеровує весь ряд на дійсний вихід (0 або 1, — 1 або 1, або будь-яке інше число) за допомогою певного алгоритму. В існуючих НМ як передатні функції можуть використовуватися сигмоїда, синус, гіперболічний тангенс тощо. Приклад того, як працює передатна функція, показано на рис. 4.

Після опрацювання сигналу нейрон на виході має результат передатної функції, який надходить на входи інших нейронів або до зовнішнього з'єднання, як це передбачається структурою НМ.

Усі штучні НМ конструюються з базового формуального блока — штучного нейрона. Існуючі різноманітності й фундаментальні відмінності є основою мистецтва талановитих розробників для реалізації ефективних НМ [2].

Метою статті є формування підходу до опрацювання даних під час оцінювання потреб та виявлення втрат води мікрорайону міста і розроблення системи прогнозування водопостачання на основі штучних НМ за обмеженої кількості та точності вхідних даних.

1. ШТУЧНІ НМ

Штучна нейронна мережа (ШНМ) — це набір нейронів, з'єднаних між собою (рис. 5). Як правило, передатні функції всіх нейронів НМ фіксовані, а ваги

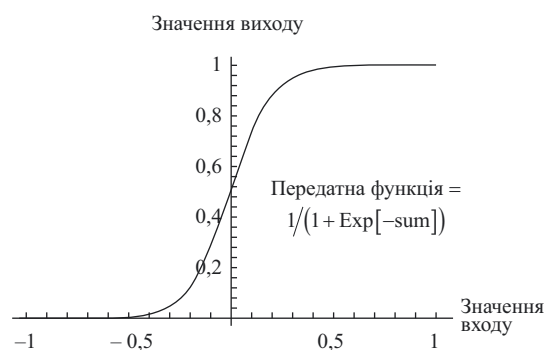


Рис. 4. Сигмоїдна передатна функція

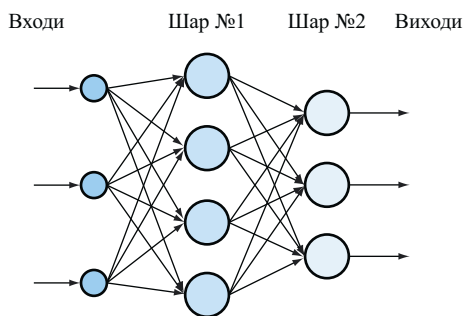


Рис. 5. Структура штучної НМ

є параметрами НМ і можуть змінюватися. Деякі входи нейронів позначені як зовнішні входи НМ, а деякі виходи — як її зовнішні виходи. За подавання будь-яких чисел на входи НМ, отримуємо певний набір чисел на виходах.

Отже, робота НМ полягає у перетворенні вхідного вектора у вихідний, причому це перетворення задається вагами НМ.

Практично будь-яку задачу можна звести до такої, що розв'язується НМ [2].

Побудова НМ

Це питання вирішується у два етапи:

1. Вибір типу (архітектури) НМ.
2. Підбір ваг (навчання) НМ.

На першому етапі слід вибрати:

- які нейрони передбачається використовувати (число входів, передатні функції);
- у який спосіб з'єднати їх між собою;
- що взяти за входи і виходи НМ.

Необов'язково винаходити мережу «з нуля», адже існує кілька десятків різних НМ архітектур, причому ефективність багатьох з них доведена математично.

На другому етапі потрібно «навчити» обрану НМ, тобто підібрати такі значення її ваг, щоб вона працювала як слід. У використовуваних на практиці НМ кількість ваг може складати кілька десятків тисяч, тому навчання є дійсно складним процесом. Для багатьох архітектур розроблено спеціальні алгоритми навчання, що дозволяють настроїти ваги НМ у певний спосіб. Найпопулярнішим із цих алгоритмів є метод зворотного поширення помилки (**Error Back Propagation**).

Навчити НМ означає повідомити її, чого від неї очікуємо. За навчання НМ (рис. 6) маємо деяку базу даних, що містить приклади. Подаючи дані на входи мережі, отримуємо від неї певну відповідь, не обов'язково вірну. Вірна (бажана) відповідь є відомою. Обчислюючи різницю між бажаною і реальною відповідями мережі, отримуємо *вектор помилки*. Алгоритм зворотного поширення помилки —

це набір формул, що дозволяє за вектором помилки обчислити необхідні виправлення для ваг НМ.

Виявляється, що після багаторазового пред'явлення прикладів ваги НМ стабілізуються, причому НМ дає правильні відповіді на всі (або майже усі) приклади з бази даних. У програмних реалізаціях можна бачити, що у процесі навчання величина помилки (сума квадратів помилок за усіма виходами) поступово зменшується. Коли величина помилки досягає нуля або прийнятно малого рівня, тренування зупиняють, а отриману НМ вважають натренованою і готовою до застосування на нових даних.

Важливо відзначити, що вся інформація, яку НМ має стосовно задачі, зосереджується у наборі навчальних прикладів. Тому якість навчання НМ прямо залежить від кількості прикладів у навчальній вибірці, а також від того, наскільки повно ці приклади описують певну задачу.

Застосування НМ

Після того, як НМ навчена, можна застосовувати її для вирішення поставлених завдань (рис. 7).

Найважливіша особливість людського мозку полягає у тому, що один раз навчений визначеному процесові, він може вірно діяти й у тих ситуаціях, у яких він не перебував у процесі навчання. Так само і НМ, може з великою ймовірністю правильно реагувати на нові, не пред'явлені їй раніше дані.

Сучасний стан теорії та практики створення штучних НМ і нейрокомп'ютерів призвів до розроблення принципово нових алгоритмів і методів

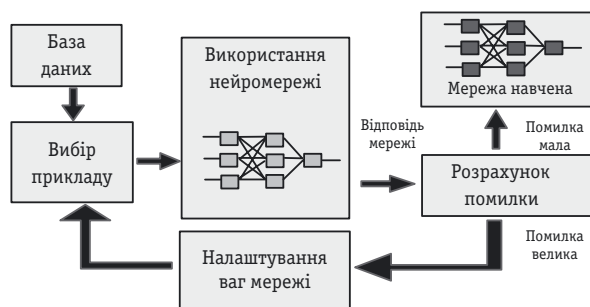


Рис. 6. Порядок навчання НМ

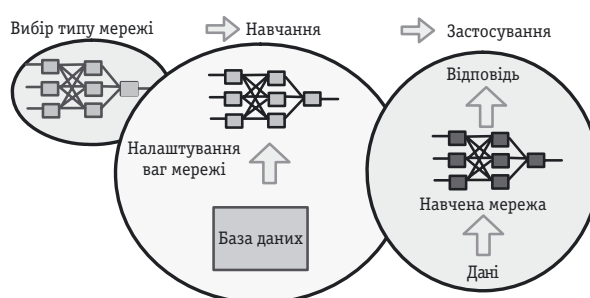


Рис. 7. Порядок застосування ШНМ

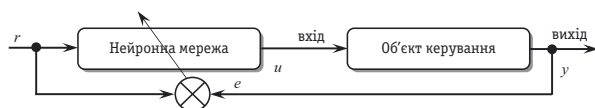


Рис. 8. Нейрокерування зі зворотним відображенням

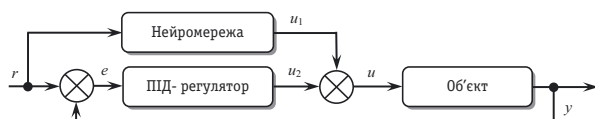


Рис. 9. Паралельна схема нейроконтролера

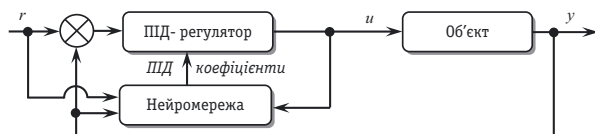


Рис. 10. Схема нейронного керування зі самонастроюванням

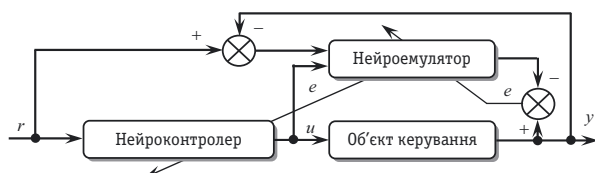


Рис. 11. Схема з емулятором та нейроконтролером

керування нелінійними динамічними об'єктами. Більшість схем НМ керування засновано на використанні таких підходів:

1. *Послідовна схема керування* (рис. 8). Якщо позначити відношення «вхід—вихід» для об'єкта керування як f , то НМ реалізує зворотне відображення:

$$u = f^{-1}(y). \quad (1)$$

Отже, якщо подати на НМ опорний сигнал r , вихідний сигнал об'єкта керування y приймає значення r , оскільки

$$y = f(u) = f(f^{-1}(r)) = r. \quad (2)$$

2. *Паралельні схеми керування* (рис. 9). НМ паралельного типу використовується для підстроювання керуючого вхідного сигналу u_1 , що є вихідним сиг-

налом звичайного ПІД-контролера. Налаштування виконується у такий спосіб, щоб вихідний сигнал об'єкта керування y якомога точніше відповідав заданому опорному сигналові r .

3. *Схема керування зі самонастроюванням* (рис. 10). Тут НМ використовується для налаштування параметрів звичайного контролера подібно налаштуванню, виконуваному людиною-оператором.

4. *Схема керування з емулятором і контролером* (рис. 11). Нейроконтролер навчається на інверсній моделі об'єкта керування, а нейроемулятор — на звичайній моделі об'єкта. Нейроконтролер може навчатися на основі зворотного поширення помилок через нейроемулятор.

Для аналізування цих схем нейронного керування розроблено алгоритми навчання НМ і програмні моделі, на яких проводяться дослідження процесів керування динамічними об'єктами.

2. СТВОРЕННЯ ЛІНІЙНОЇ НМ

Для прогнозування системи водопостачання створимо декілька різних НМ і визначимо, яка з них має найменшу похибку прогнозування.

Лінійні НМ за своєю структурою аналогічні перцептроні і відрізняються лише функцією активації, яка є лінійною (*PURELIN*). Вихід лінійної мережі може приймати будь-яке значення, тоді як вихід перцептрона обмежений значеннями 0 або 1. Лінійні мережі здатні вирішувати лише лінійно відділені завдання класифікації, проте в них використовується інше правило навчання, засноване на методі найменших квадратів, яке є набагато ефективнішим, ніж правило навчання перцептрона «дельта». Налаштування параметрів виконується так, щоб забезпечити мінімум помилки. Поверхня помилки як функція входів має єдиний мінімум, і визначення цього мінімуму не зумовлює труднощів. На відміну від перцептрона налаштування лінійної мережі можна виконати за допомогою як процедури адаптації, так і процедури навчання. В останньому випадку використовується правило *WH* (Widrow — Hoff) навчання Б. Уїдроу і М. Хоффа [3].

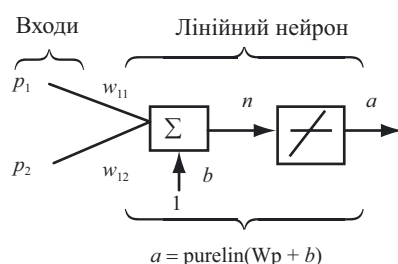


Рис. 12. Модель лінійного нейрона з двома входами

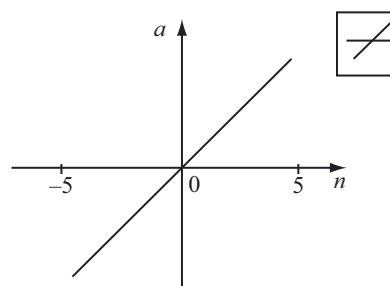


Рис. 13. Лінійна функція активації purelin

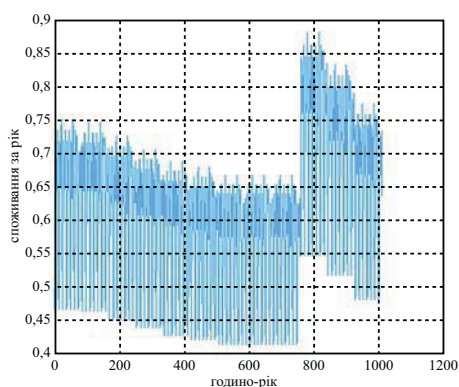


Рис. 14. Аналітична залежність споживання від конкретної години, тижня, місяця

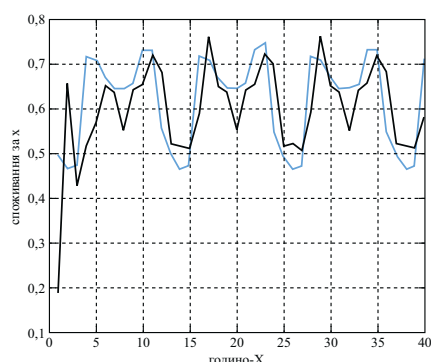


Рис. 15. Графіки залежності споживання від конкретної години, тижня, місяця (чорна крива — прогнозована НМ; синя — аналітична)

Крім того, лінійні НМ можуть використовуватися в адаптивному режимі. Вони дозволяють коректувати ваги і зсуви нейронів під час вступу на вхід кожного нового елемента навчальної множини і тому широко застосовуються у процесі розв'язання задач фільтрації сигналів і у системах управління. Програмним кодом створюємо лінійну НМ з лінійною функцією активації *purelin* (рис. 12). Ця функція (рис. 13) описується співвідношенням

$$a = \text{purelin}(n) = n. \quad (3)$$

Графіки аналітичної залежності споживання і прогнозованої НМ від конкретної години, тижня, місяця, а також відповідної похибки подано на рис. 14—16.

3. СТВОРЕННЯ РАДІАЛЬНО-БАЗИСНОЇ НМ

Радіальні базисні НМ складаються із великої кількості нейронів порівняно зі стандартними мережами з прямим передаванням сигналів і навчанням методом зворотного розповсюдження помилки, але на їх створення потрібно значно менше часу. Ці мережі особливо ефективні, коли є доступною велика кількість навчальних векторів.

Для створення радіальних мереж загального вигляду призначені *M*-функції *newrbe* і *newrb*, а узагальнених регресійних — *M*-функція *newgrnn*.

За командою *help radbasis* можна отримати інформацію стосовно *M*-функцій, призначених для побудови радіальних базисних мереж.

Функція активації для радіального базисного нейрона має вигляд:

$$\text{radbas}(n) = e^{-n^2}. \quad (4)$$

Вхід функції активації визначається як модуль різниці вектора ваг *w* і вектора входу *p*, помножений на зміщення *b*, а вихід:

$$a = \text{radbas}(\|p - w\|b). \quad (5)$$

Графік функції активації показано на рис. 17.

Ця функція має максимум, що дорівнює 1, коли вхід дорівнює 0. Коли відстань між векторами *w* і *p* зменшується, вихід радіально базисної функції збільшується. Отже, радіально базисний нейрон діє як індикатор, який формує значення 1, коли вхід *p* є ідентичним вектору ваг *w*. Зміщення *b* дозволяє коректувати чутливість радіально-базисного нейрона *radbas*. Наприклад, якщо нейрон має зміщення 0,1, його виходом буде 0,5 для будь-якого вектора входу *p* і вектора ваги *w* за відстані між векторами, що дорівнює 8,333 або $0,833/b$.

Радіальна базисна мережа складається із двох шарів: схованого радіального базисного шару, який має s^1 нейронів, і вихідного лінійного, який має s^2 нейронів (рис. 18).

Входом блока *dist* на рис. 18 є вектор входу *p* і матриця ваг $W^{1,1}$, а виходом — вектор, що складається з s^1 елементів, які визначаються відстанями між *i*-м вектором входу *p* і *i*-м вектор-рядком $W^{1,1}$ матриці ваг. Такий вектор-рядок називається вектором ваг *i*-го нейрона. Вихід блока

dist перемножується поелементно на вектор зміщення *b*¹ і формує вхід функції активації. Тоді вихід першого шару

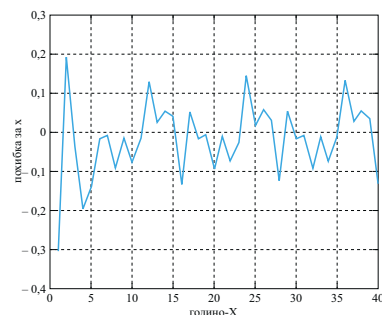


Рис. 16. Графік похибки

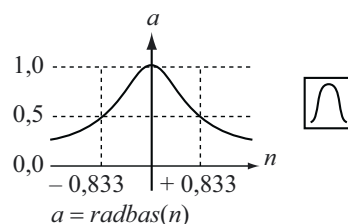


Рис. 17. Графік функції активації радіального базисного нейрона

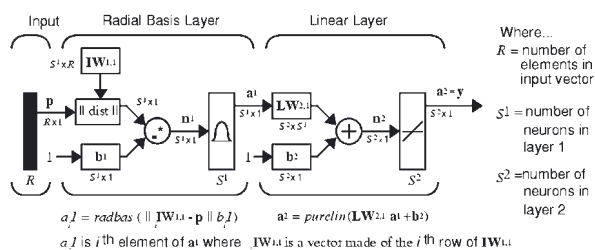


Рис. 18. Схема радіальної базисної НМ

можна записати у такій формі:

$$a\{1\} = \text{radbas}(\text{net.prod}(\text{dist}(\text{net.IW}\{1,1\}, p), \text{net}, b\{1\})). \quad (6)$$

Для того, щоб зрозуміти поведінку мережі необхідно прослідкувати за проходженням вектора входу p . За задання вектора входу кожний нейрон радіального базисного шару видасть значення відповідно до того, як близько є вектор входу до вектора ваг кожного нейрона. Отже, радіальні базисні нейрони з вектором ваг, що значно відрізняються від вектора входу p , матимуть виходи, близькі до 0, і їх вплив на виходи лінійних нейронів буде незначним. Навпаки, радіальний базисний нейрон з вектором ваг, близьким до вектора входу p , видасть значення, близьке до 1, і це значення передаватиметься на лінійний нейрон з вагою, відповідною вихідному шару. Отже, якщо лише 1 радіальний базисний нейрон має вихід 1, а всі інші мають виходи, рівні або дуже близькі до 0, вихід лінійного шару дорівнюватиме вазі активного вихідного нейрона.

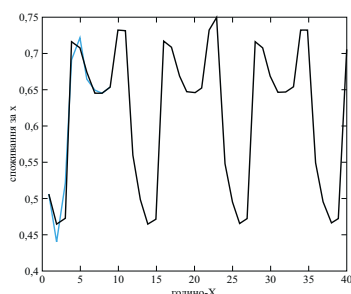


Рис. 19. Графіки залежності споживання від конкретного часу, тижня, місяця (синя крива — прогнозована НМ; чорна — аналітична)

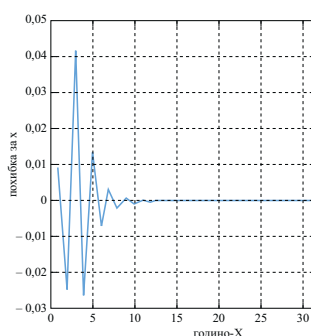


Рис. 20. Графік похибки

М-функція *newrbe* будує радіальну базисну мережу з нульовою похибкою, а М-функція *newrb* дозволяє

під час побудови мережі керувати кількістю нейронів прихованого шару. Функція *newrbe*:

$$\text{net} = \text{newrbe}(P, S, \text{SPREAD}). \quad (7)$$

Вхідними аргументами функції *newrbe* є масиви вхідних векторів P та цілей T , а також параметр впливу *SPREAD*. Вона повертає радіальну базисну мережу з такими вагами і зміщеннями, що її виходи точно дорівнюють цілям T . Функція *newrbe* створює стільки нейронів радіально-базисного шару, скільки є вхідних векторів у масиві P , і встановлює ваги першого шару рівними $P^{(1)}$. При цьому зміщення встановлюються рівними $0,8326/\text{SPREAD}$ [4]. Це означає, що рівень перекриття радіальних базисних функцій дорівнює 0,5, і всі виходи у діапазоні $\pm \text{SPREAD}$ уважаються значущими. Зрозуміло, що більший діапазон вхідних значень має прийматися до уваги, то більше значення параметра впливу *SPREAD* має встановлюватися. Програмним кодом створюємо радіально-базисну НМ. Графіки прогнозованої такою мережею залежності споживання разом з аналітичною, а також відповідної похибки представлено на рис. 19—20.

4. СТВОРЕННЯ НМ З ПРЯМИМ ПЕРЕДАВАННЯМ СИГНАЛУ

Для створення мереж з прямим передаванням сигналу призначена функція *newff*. Останні дві букви вказують на тип НМ — *feedforward network*. Архітектуру мережі з прямим передаванням сигналу показано на прикладі тришарового персептрона (рис. 21).

Функція *newff* має 4 вхідні аргументи і 1 вихідний — об'єкт класу *network*. Перший вхідний аргумент — це масив розміру $R \times 2$, який містить допустимі межі значень (максимальне і мінімальне) для кожного із R елементів вектора входу; другий — масив для задання кількості нейронів кожного шару; третій — масив чарунок, які вміщують назви функцій активації для кожного шару; четвертий — назва функції навчання.

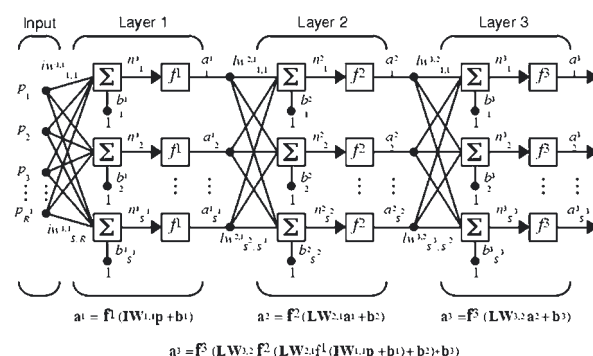


Рис. 21. Тришарова НМ з прямим передаванням сигналу

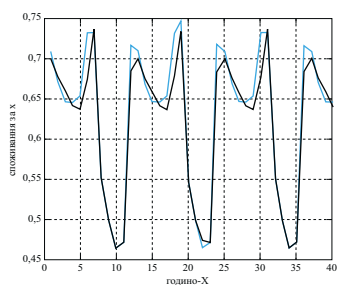


Рис. 22. Графіки залежності споживання від конкретного часу, тижня, місяця (синя крива — прогнозована НМ; чорна — аналітична)

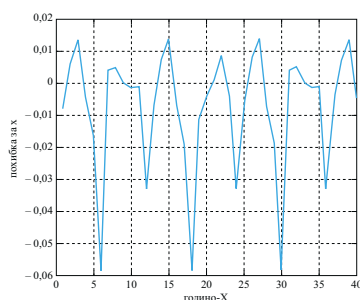


Рис. 23. Графік похибки

Наприклад, такий оператор створює мережу з прямим передаванням сигналу:

$$\text{net} = \text{newff}([-1 \ 2; 0 \ 5], [3, 1], \text{'tansig'}, \text{'purelin'}, \text{'traingd'}). \quad (7)$$

Ця мережа використовує 1 вектор входу з двома елементами, які мають допустимі межі значень $[-1, 2]$ і $[0, 5]$; має два шари з трьома нейронами у першому шарі та один нейрон у другому шарі; функція навчання — *traingd*.

М-функція *newff* не лише створює архітектуру мережі, але й ініціалізує її ваги і зміщення, підготував мережу до навчання.

Якщо ж користувач бажає застосувати спеціальний метод ініціалізації або примусово встановити значення ваг зміщень, він може безпосередньо звернутися до функції *init*.

$$\text{net} = \text{init}(\text{net}). \quad (8)$$

За незадовільної якості навчання потрібно змінювати функцію навчання, кількість його циклів, число нейронів у схованих шарах. Програмним кодом створюємо програму НМ з прямим передаванням сигналу *newff*. Прогнозований нею графік залежності споживання від конкретного часу, тижня, місяця, відповідні графіки аналітичний і похибки представлено на рис. 22, 23.

Проаналізувавши результати роботи усіх створених систем, можна зробити висновок, що найбільш точною є радіально-регресійна система, але вона має дуже суттєвий недолік — 1000 нейронів. У зв'язку

з цим потрібно використовувати для прогнозування НМ з прямим передаванням сигналу з 4, 20, 1 нейронами відповідно у трьох шарах.

5. ГЕНЕРУВАННЯ НМ У SIMULINK

Для генерування НМ у *Simulink* використовується команда *gensim*. Структурні схеми створюються системою автоматично за допомогою цієї команди. Якщо елементом вектора або матриці на структурній схемі є складний об'єкт, використовуються відповідно чарунка і масив чарунк.

Програмним представленням або обчислювальною моделлю штучної НМ є об'єкт спеціального класу *network*, який включає масив структур з атрибутами мережі і набір методів, необхідних для створення мережі, а також для її ініціалізації, навчання, моделювання і візуалізації. Клас *Network* має два загальних конструктори, один з яких не має параметрів і забезпечує створення масиву структур з нульовими значеннями полів, а другий — має мінімальний набір параметрів для створення моделі НМ, яка добудовується потім до потрібної конфігурації за допомогою операторів присвоювання.

Виконавши команду *gensim(net1)*, система видасть нам структурну схему штучних НМ у пакеті *NNT* (рис. 24):

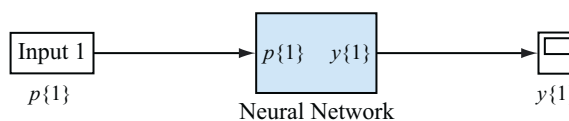


Рис. 24. Результат виконання команди *gensim*

ВИСНОВКИ

Для прогнозування постачання холодної та гарячої води у межах міста слід використовувати НМ з прямим передаванням сигналу з 4, 20, 1 нейронами відповідно у трьох шарах, як найбільш прийнятну для інженерних розрахунків такої складності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Корчемний М. О. Ідентифікація технологічних об'єктів: [Навчально-методичний посібник]. — Тернопіль: ТНПУ, 2007. — 111 с.
2. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MatLab и fuzzyTECH. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 736 с.
3. Круглов В. В., Борисов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. — М.: Горячая линия — телеком, 2001. — 382 с.
4. Dash P.K., Ramakrishna G., Liew A.C., Rahman S. Fuzzy neural networks for time-series forecasting of electric load // IEE Proc. — Gener. Transm. Distrib. — 1995. — Vol. 142. — № 5. — P. 535—544.

УДК 621.81:621.253.2

ДО ПИТАННЯ ТЕХНІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ РОБОЧОГО МІСЦЯ З ПОВІРКИ (АТЕСТАЦІЇ) СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ АПАРАТУРИ СПОЖИВАЧІВ У ЗБРОЙНИХ СИЛАХ УКРАЇНИ

В. Бойко, начальник науково-дослідного відділу військових еталонів — заступник начальника Центру,
А. Гаврилов, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
Ю. Рондін, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
Метрологічний центр військових еталонів Збройних Сил України (ЗСУ), м. Харків

*Запропоновано варіант
технічного оснащення
робочого місця з метрологічної
атестації (повірки)
технічних засобів (апаратури
споживачів) супутникових
радіонавігаційних систем.*

*The article proposed version
for technical equipment
of workplace on metrological
certification (verification)
of hardware (hardware
consumers) for satellite
navigation systems.*

Сучасні пріоритети та напрями підготовки держави до збройного захисту національних інтересів, визначені в «Основних положеннях Воєнної доктрини України» та «Стратегії національної безпеки України», вимагають підвищення оперативних і бойових можливостей ЗСУ шляхом оснащення їх відновленими, модернізованими і новими системами озброєння та військової техніки. Це відповідає сучасним завданням збройних сил, які характеризуються рішучістю цілей, високою динамічністю і маневреністю, широким застосуванням нових технічних засобів.

Розвиток космічної техніки останніми роками дає можливість піднятися на абсолютно новий рівень під час вирішення різного роду військових завдань, що вимагають відповідного навігаційно-часового забезпечення за рахунок використання глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) [1]. Але для країн, які є пасивними споживачами загальнодоступної навігаційної інформації, до яких належить і Україна, одним із шляхів підвищення достовірності навігаційного забезпечення є виконання організаційно-технічних заходів з метрологічного обслуговування навігаційної апаратури споживачів (НАС) [2].

У [3] обґрунтовано склад технічного комплексу метрологічного забезпечення експлуатації супутникової навігаційної та супутникової геодезичної апаратури (СНА, СГА). Наведено структурну схему комплексу та основні технічні вимоги до його складових частин.

З огляду на це, фахівцями Метрологічного центру військових еталонів ЗСУ України у взаємодії з Центральним управлінням метрології та стандартизації ЗСУ розроблено

*В. Бойко**А. Гаврилов**Ю. Рондін*

Таблиця 1

Назва параметрів	Значення параметрів	
Еталон часу і частоти		
Діапазон вимірювань	1·10 ⁻⁹ — 1·10 ⁸ с; 1 — 1·10 ⁸ Гц	
Похибки вимірювань: СКВ, НСП	СКВ ≤ 5·10 ⁻¹³ ΔT ≤ 5·10 ⁻⁶ с	
Еталон координат		
Похибка визначення координат опорних геодезичних пунктів у системах координат ПЗ-90.02 та WGS-90, не гірша	±3 мм	
СКВ похибки визначення координат відносно опорних пунктів геодезичної мережі (еталон координат), не більше	1 мм	
Еталон довжини		
Межа допустимої похибки формування базової лінії, не гірша	±5 мм	
Діапазон вимірювання відстаней	(5 ÷ 3500) м	
СКВ результату вимірювання довжини	0,2 мм + 0,3 мм/км	
Межі абсолютної похибки вимірювання довжини	± (1мм + 1мм/км)	
Діапазон вимірювання кутів: • горизонтального • зенітної відстані	(0 ÷ 360)°; (-135 ÷ 135)	
СКВ результату вимірювання кутів	0,36	
Еталонний супутниковий GPS/ГЛОНАСС/ SBAS приймач		
Похибки вимірювання координат	статична	під час руху
у плані:	10 м	10 м
за висотою:	15 м	15 м
СКВ результатів вимірювань приросту координат		
у плані:	10 мм ± 2 мм/км	20 мм ± 2 мм/км
за висотою:	20 мм ± 2 мм/км	20 мм ± 2 мм/км
Похибка синхронізації системної шкали часу відносно шкали координованого часу UTC (UA), не більша	100 нс	
Похибка вимірювання базису / км	10 мм ± 1·10 ⁻⁶	
Засоби імітації сигналів супутникових навігаційних систем		
Імітація сигналів СНС	ГЛОНАСС, GPS, SBAS	
Кількість каналів імітації (один на кожний НС)	32	
Системи координат	WGS-84, ПЗ-90, ПЗ-90.02	
Похибка вимірювання швидкості у діапазоні вимірювання швидкостей від 0 до 250 км/год, не більша	± 0,01 м/с	
Похибка встановлення несучої частоти (НС), не більша	32 Гц	
Похибка формування псевдовідстані (за кодом / за фазою несучої), не більша	0,1м / 0,001м	
Діапазон встановлення рівня вихідного сигналу	мінус (140—180) дБВт	
Дискретність встановлення рівня вихідного сигналу	1 дБВт	
Імітація швидкості	(0—14000) м/с	
Імітація прискорення	(0—500) м/с ²	
Імітація ривка	(0—500) м/с ³	
Параметри вбудованого високостабільного кварцового генератора: ▪ номінальна частота ▪ короткочасна нестабільність (варіація Аллана за 1 с), не більша ▪ похибка частоти, не більша	10 МГц; 1,0·10 ⁻¹¹ 5,0·10 ⁻⁸	
Похибка формування системної шкали часу (СНС), не більша	5 нс	
Засоби вимірювання часових параметрів імпульсів		
Абсолютна похибка під час вимірювання тривалостей інтервалів часу, не гірша	±1,2·10 ⁻⁸	
Період повторення основних імпульсів	1 мкс до 1 с	
Тривалість основних імпульсів	(0,01—5) мкс	
Тривалість фронту перепаду напруги	30 пс	
Нерівномірність вершини	±2 %	
Засоби компарування вихідних частот приймача радіонавігаційних сигналів та еталона часу і частоти		
Відносна похибка під час вимірювання частоти вихідних частот приймача СРНС та військового еталона часу і частоти, δ _F не гірша	1·10 ⁻¹³	



Рис. 1. Стандарт часу і частоти водневий Ч1-76А

тактико-технічні вимоги (ТТВ) до робочого місця з метрологічної атестації (повірки) технічних засобів (апаратури споживачів) супутникових радіонавігаційних систем. Ці ТТВ затверджені Начальником Генерального штабу — Головнокомандувачем ЗС України. Відповідно прийнято рішення на відкриття дослідно-конструкторської роботи (ДКР) зі створення зазначеного робочого місця, затверджене Міністром оборони України [4].

Логічним бачиться визначення можливого варіанту його комплектування. Відповідно до структурної побудови комплексу апаратури для метрологічного забезпечення СГА та СНА споживачів, наведеної у [3], до складу робочого місця має входити апаратура з характеристиками, поданими у табл. 1.

Як еталон часу і частоти пропонується функціонально задіяти військовий вторинний еталон часу і частоти, який планується до розроблення [4, 5]. Наприклад, цей еталон може базуватися на стандарті часу і частоти водневого Ч1-76А (рис. 1), виробництва НДІП «Кварц» (м. Нижній Новгород).

Характеристики стандарту: відносна похибка за частотою (на міжповірочному інтервалі 1 рік), не більша $1,5 \cdot 10^{-12}$, під час випуску з виробництва — $2 \cdot 10^{-13}$.

Нестабільність частоти вихідного сигналу 5 МГц (відносне середньоквадратичне двовибіркове відхилення частоти, СКДВ), не більше:

Час вимірювання	$\delta(\tau)$	
	Згідно з ТУ	Типові значення
1 с	$1,5 \cdot 10^{-12}$	$4,8 \cdot 10^{-13}$
10 с	$5 \cdot 10^{-13}$	$1,5 \cdot 10^{-13}$
100 с	$2 \cdot 10^{-13}$	$4,5 \cdot 10^{-14}$
1000 с	$5 \cdot 10^{-14}$	$1,5 \cdot 10^{-14}$
1 год	$3 \cdot 10^{-14}$	$8,5 \cdot 10^{-15}$
1 доба	$1 \cdot 10^{-14}$	$4 \cdot 10^{-15}$

Як еталон координат пропонується застосовувати геодезичний базис.

Питання побудови геодезичного базису детально викладено у [6]. Як показано у [6], базис складається із 20 пунктів, що є залізною трубою діаметром 200 мм,



Рис. 2. Пункт еталонного базису



Рис. 3. GPS/ГЛОНАСС приймач Spectra Precision Epoch 35

заглибленою на (3,5—4) м у землю (рис. 2). На кожному з пунктів у верхній частині труби, яка виступає на (1,2—1,3) м над землею, горизонтальна плита з отвором для примусового центрування з точністю $\leq 0,2$ мм. Для встановлення на пунктах базису засобів вимірювання різних виробників кожний пункт обладнано становими гвинтами з різним кроком різьби. Пункти еталонних базисів виготовляють із залізобетону, а становий гвинт роблять стаціонарним.

Як еталонний супутниковий GPS/ГЛОНАСС/ SBAS приймач пропонується застосовувати GPS/ГЛОНАСС приймач Spectra Precision Epoch 35, виробництва США (рис. 3). Його технічні характеристики наведено у табл. 2.

Як засоби компарування пропонується використовувати компаратор фазовий багатоканальний Ч7-55 (рис. 4). Він має такі характеристики:

Таблиця 3

Час вимірювання	Похибка вимірювань	
	Вхідна частота 5,10 МГц	Вхідна частота 100 МГц
за 1 с	$5 \cdot 10^{-14}$	$5 \cdot 10^{-14}$
за 10 с	$1 \cdot 10^{-14}$	$1 \cdot 10^{-14}$
за 100 с	$2 \cdot 10^{-15}$	$2 \cdot 10^{-15}$
за 1000 с	$7 \cdot 10^{-16}$	$7 \cdot 10^{-16}$
за 1 г	$3 \cdot 10^{-16}$	$3 \cdot 10^{-16}$

Габарити — (454 × 460 × 157) мм.
Маса — 20 кг.

Таблиця 2

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Статичне GNSS- знімання	
У плані	±5 мм + 0,5 мм/км
За висотою	±5 мм + 1 мм/км
Знімання у реальному часі	
У плані	±10 мм + 1 мм/км
За висотою	±20 мм + 1 мм/км
Ініціалізація	автоматична (OTF) у русі
Час ініціалізації	не більший 30 с
Визначення координат	не більше 60 с з моменту включення, не більше 30 с за умов актуальних ефемерид
Кодове диференціальне GPS знімання	
Точність диференціального позиціювання WAAS/EGNOS	не більша 5 м 3D
Вимірювання	
Технологія відстеження супутників на малих кутах піднесення	
Канали: 14 L1, 14 L2 GPS, 12 L1, 12 L2 ГЛОНАСС, 2 SBAS, WAAS/EGNOS	
Повідомлення NMEA-0183: AVR, GSV, HDT, VGK, VHD, ROT, GKG, GGA, GSA, ZDA, VTG, GST, PJT и PJK	
Частота позиціювання 5 Гц	
Масогабаритні характеристики	
Розміри (Ш x В x Д)	
Приймач GNSS	19,0 см × 7,0 см × 20,0 см
Вага	
Базовий приймач	1,0 кг
Пересувний приймач	1,1 кг з вбудованим радіомодемом та УКХ антеною
Порти	
Інтерфейс	два 7-контактних роз'єма Lemo, RS-232
Антенa для приймання даних	TNC (лише у пересувного приймача)
УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	
Робоча температура	від -20 до +65 °C
Температура зберігання	від -40 до +75 °C
Максимальна вологість	95 %, з конденсацією
Вода / пил	Відповідно до стандарту IP64
Удар / вібрація	Відповідає вимогам таких стандартів Удар: UNE EN 60068-2-27:1993 Вібрація: MIL-STD-810F Fig 514.5C-1
ЕЛЕКТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Живлення від зовнішнього джерела напруги (10 — 15) В постійного струму, із захистом від підвищеної напруги, на Порт 1 та Порт 2	
Убудований літій-іоновий акумулятор 7,4 В, 2400 мА/год	
Енергонавантаження у режимі RTK з убудованим радіомодемом, не більше 2,5 Вт	
Середній час роботи від акумулятора: RTK/статичний режим: 5,5 годин	
ЗАСОБИ ЗВ'ЯЗКУ	
Базовий приймач	
Радіомодеми для передавання даних Pacific Crest LPB або HPB	
OTA 9600 біт/с Transparent GMSK	
RTCM 2.1, 2.2, 2.3, 3.0, CMR	
Пересувний приймач	
Убудований УКХ радіомодем лише на приймання	
RTCM 2.3 и 3.0, CMR, CMR+, NTRIP	



Рис. 4. Компаратор фазовий Ч7-55



Рис. 5. Частотомір електронно-лічильний CNT 90

- ❖ номінальні значення частот, що звіряються, — 5, 10, 100 МГц;
- ❖ різниця частот вхідних сигналів, не більша $\pm 1 \cdot 10^{-10}$;

Таблиця 4

Найменування параметра	Значення
Кількість каналів імітації	48
Одночасне підтримання двох частот у діапазонах E1 і E5, необхідних для формування SoL повідомлення, згідно з ICD GALILEO	
Імітація сигналів GPS у діапазонах L1 і L2 з далекомірними кодами C / A і P згідно з ICD GPS	
Імітація сигналів ГЛОНАСС у діапазонах L1 і L2 з далекомірними кодами СТ і ВТ згідно з ІКД ГЛОНАСС	
Імітація сигналів ГЛОНАСС у діапазоні L3 з далекомірними кодами L3H і L3P згідно з ІКД ГЛОНАСС	
Імітація сигналів SBAS у діапазоні L1 з дальномірним кодом C / A	
Номінальний рівень сигналу, незалежний у кожному каналі, дБВт	від -100 до -140
Крок установлення рівня вихідного сигналу, дБ	0,1
Рівень гармонік у вихідному сигналі, дБ, не більший	-40
Динамічні характеристики імітованого об'єкта	
Стандартна динаміка:	
✓ Висота, км	-1 — 18
✓ Швидкість, м/с	до 1500
✓ Прискорення, м/с ²	до 50
✓ Ривок, м/с ³	до 50
Розширена динаміка:	
✓ Висота, км	-1 — 8 000
✓ Швидкість, м/с	до 14000
✓ Прискорення, м/с ²	до 500
✓ Ривок, м/с ³	до 500
Інтервал робочих температур, °C	від +10 до +40
Відносна вологість повітря за температури +25 °C, %	від 40 до 80
Атмосферний тиск, кПа	від 60,0 до 106,7

- ❖ число незалежних каналів звірення — 6;
- ❖ середньоквадратичне значення напруги вхідних сигналів ($1,0 \pm 0,2$) В на вхідному опорі ($50 \pm 0,5$) Ом.

Похибки вимірювання відносної нестабільності частоти за кожним із 6 каналів наведено у табл. 3.

Як вимірювач часових інтервалів пропонується застосовувати частотомір електронно-лічильний CNT 90 фірми Pendulum (рис. 5), який має такі характеристики:

Таблиця 5

Найменування параметра	Значення
Точність кутових вимірювань	1 "
Точність лінійних вимірювань (з відбивачем)	
стандартний режим	1 мм + 1 мм/км
режим стеження	5 мм + 2 мм/км
Точність лінійних вимірювань (без відбивача)	
стандартний режим	3 мм + 2 мм/км
режим стеження	10 мм + 2 мм/км
Дальність вимірювань (одна призма)	5000 м
Дальність вимірювань (без відбивача)	150 м
Час одного вимірювання (з відбивачем)	
стандартний режим	2 с
режим стеження	0,4 с
Час одного вимірювання (без відбивача)	
стандартний режим	(3— 15) с
режим стеження	0,4 с
Збільшення зорової труби	×30
Діапазон роботи компенсатора центрованого двовісного	6 '
Об'єм убудованої пам'яті RAM	128 Мб
Flash-пам'ять	1 Гб
Живлення	Li-ion акумулятор 11,1 В, 4,4 Ач
Час безперервної роботи від батареї:	
одна батарея	6 год
три батареї у блоці	18 годин
Діапазон робочих температур	- 20 до +50 ° C
Пило та вологозахищеність	стандарт IP55
Габаритні розміри	(232 × 193 × 392) мм
Маса (з акумулятором)	5,6 кг



Рис. 6. Імітатор сигналів CH 3806M

- частотний діапазон: 0,001 — 300 МГц (опції до 3/8/14/20 ГГц);
- швидкість вимірювань: до 250 К вимірювань за секунду (внутрішня пам'ять 750 К);
- роздільна здатність: 12 розрядів за частотою за часу рахунку 1 с, 100 пс у процесі часових вимірювань;
- похибка опорного джерела: $1,5 \cdot 10^{-8}$.

Окрім того, зазначений засіб вимірювання має інтелектуальні системи запуску від вхідного сигналу і опрацювання результатів, включаючи математику і статистику; режим аналізу модуляцій, у тому числі ЧС, за допомогою програмного забезпечення *TimeView*; внутрішню енергонезалежну пам'ять налаштувань приладу (17 профілів, з них 10 із захистом); мультипараметричний 14-розрядний дисплей з можливістю графічного виведення результатів; інтерфейси USB і КОП.

Імітатор сигналів ГНСС пропонується застосовувати типу CH 3806M (рис. 6), призначений для імітації руху носія навігаційної апаратури споживача у навігаційному полі супутникових навігаційних систем, що утворюються навігаційними радіосигналами ГНСС *GPS*, *ГЛОНАСС*, *GALILEO* і сигналами диференціальної підсистеми *SBAS*.

Технічні характеристики імітатора сигналів CH 3806M наведено у табл. 4.

Як еталон довжини пропонується застосовувати електронний тахеометр *Trimble S8 Vision Robotic* (рис. 7). Його характеристики наведено у табл. 5.

Крім цього, прилад комплектується програмним забезпеченням *Trimble Survey Controller*, *Trimble 4D Control* та має безліч сервісних функцій.

Також до складу АРМ з метрологічної атестації (повірки) технічних засобів (апаратури споживачів) супутникових радіонавігаційних систем має входити програмно-обчислювальний комплекс зі спеціалізованим програмним забезпеченням.

Отже, апаратурна реалізація завдань метрологічного обслуговування та атестації супутникової геодезичної та навігаційної апаратури дозволить забезпечити потрібну оперативність, якість та достовірність контролю її параметрів як під час експлуатації, так і під час розроблянь та виробництва.

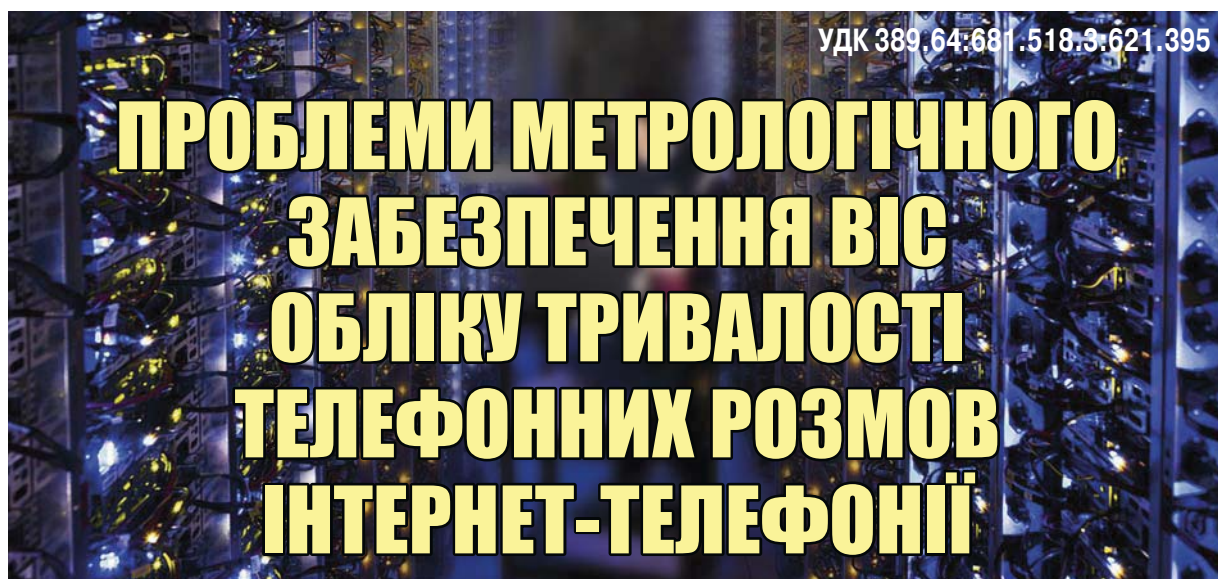
Рис. 7. Електронний тахеометр *Trimble S8 Vision Robotic*

Створення власної технічної бази метрологічного обслуговування апаратури споживачів ГНСС за всіма параметрами, які визначаються специфічними завданнями ЗС України підвищить як рівень оперативності та автономності метрологічних робіт, так і дозволить значно заощаджувати кошти МО України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Толубко В. Б. Тенденції використання космічного простору у сучасних умовах при вирішенні військових завдань / В.Б. Толубко, С.В. Козелков // Системи управління, навігації та зв'язку. — К.: ЦНДІНУ, 2008. — Вип. 3 (7). — С. 4—11.
2. Пашкевич І. Д. Актуальні метрологічні проблеми координатно-часового забезпечення Збройних Сил України та шляхи їх вирішення / І. Д. Пашкевич, А. Б. Гаврилов, В. М. Романько // Харківський університет Повітряних Сил. Науковий журнал Системи озброєння і військова техніка. — Вип. 2 (14). — 2008. — С. 64—67.
3. Гаврилов А. Б. Визначення складу і основних характеристик комплексу технічних засобів метрологічного забезпечення апаратури споживачів супутникових радіонавігаційних систем, яка використовується в інтересах Збройних Сил України // Харківський університет Повітряних Сил. 36. наук. праць Системи обробки інформації. — Вип. 5 (72). — 2008. — С. 48—51.
4. Черепков С. Т. Перспективи розвитку засобів метрологічного забезпечення апаратури користувачів супутникових радіонавігаційних систем / С. Т. Черепков, І. Д. Пашкевич, В. В. Юсов, С. М. Шевкун // Наука і оборона. — 2010. — № 3. — С. 43—48.
5. Бойко В. М. Напрямки удосконалення організаційно-технічної основи системи забезпечення єдності навігаційно-часових вимірювань в Збройних Силах України / В. М. Бойко, А. Б. Гаврилов, Ю. П. Рондін // Метрологія та прилади. — 2012. — Вип. 5. — С. 59—64.
6. Тревого І. Еталонний геодезичний базис оригінальної конструкції / І. Тревого, О. Денісов, І. Цюпак, В. Гегер, В. Тимчук // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. — Ліга-Прес, 2010. — Вип. 1 (19). — С. 43—49. ■

УДК 389.64:681.518.3.621.395



Ю. Каліцінський, начальник відділу,
ДП НДІ «Система», м. Львів

Розглянуто схеми експериментальних досліджень автоматизованих вимірювальних інформаційних систем (ABIC) обліку тривалості телефонних розмов аналогових АТС та об'єктів інтернет-телефонії. Наведено результати порівняльних метрологічних досліджень калібраторів інтервалів часу різних типів, висвітлено проблеми інформаційної та метрологічної сумісності аналогових телефонних адаптерів, застосування яких призводить до внесення суттєвої методичної похибки та унеможливує їхнє спільне використання з робочими еталонами часу та частоти. Обґрунтовано необхідність розроблення програмно-технічних засобів (робочих еталонів) визначення метрологічних характеристик АВС тривалості телефонних розмов об'єктів інтернет-телефонії.

The article describes the scheme of experimental studies of automated measuring information systems for duration of telephone calls of analogue automatic telephone station and objects of Internet telephony. The study presents the results of comparative meteorological researching concerning calibrators of time intervals of different types. The paper highlights the issues of information and metrological compatibility of analog telephone adapters, because their application leads to the introduction of significant systematic error and makes it impossible their joint using with the working standards of time and frequency. The author justifies the need for the development of software and hardware (working standards) for definition of metrological characteristics of automated systems for duration of telephone calls of Internet telephony objects.

Розвиток телекомунікаційних мереж та засобів зв'язку у світі зазнає суттєвих змін, в основу яких покладено новітні досягнення в інформаційних технологіях. Відбувається злиття технологій передавання даних та традиційних телефонних технологій. У загальних рисах новітні технології стверджують якісний перехід від комутаційних мереж, що ґрунтуються на встановленні фізичних з'єднань, до нового покоління мереж, які ґрунтуються на пакетному передаванні цифрової інформації, здатні забезпечити мультисервісні послуги. Ефективні алгоритми стискання сигналів дозволили знизити вимоги до пропускну здатності цифрових каналів, підвищити надійність передавання даних. Отже, основними стають системи, що орієнтуються на



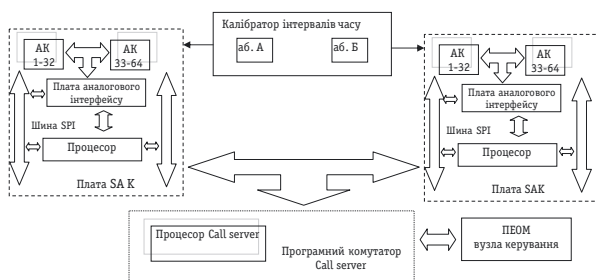
глобальні, локальні, корпоративні мережі Інтернет та забезпечують передавання мовної інформації мережами передавання даних з комутацією пакетів, використанням Інтернет-протоколу (IP-протоколу).

На сьогодні для виконання необхідних метрологічних процедур АБІС обліку тривалості телефонних розмов (АПОР) застосовують як робочі еталони різноманітні калібратори інтервалів часу, призначені для визначення метрологічних характеристик систем АПОР. Схеми досліджень систем АПОР під час їх метрологічної атестації, повірки чи калібрування наведено на рис. 1, 2.

Описання процедури встановлення з'єднання та вимірювання тривалості телефонних розмов

За вихідної розмови абонент А, маніпулюючи клавішею та клавіатурою телефонного апарата, займає абонентську лінію і набирає номер абонента Б, якого викликає. Виклик абонента А фіксується АК1 (тут і далі під АК розуміється аналоговий чи цифровий абонентський комплект (POTS або ISDN interface)). АК1 приймає цифри номера і передає їх через процесор плати аналогових абонентів (процесор IP телефону) IP мережу (MGCP або MEGACO) до процесора Call Server програмного комутатора, який після прийняття повного номера абонента Б аналізує прийняту інформацію, визначає напрямок виклику та зворотнім ланцюжком через процесор плати аналогових абонентів (процесор IP-телефону) абонента Б посилає команду на перевірку поточного стану АК2.

У разі відповіді, що комплект є вільним, видається



АК — абонентський комплект; SAK — плата аналогових абонентів

Рис. 1. Структурна схема експериментальних досліджень ВК АПОР ЦСК SI-3000 (А і Б — аналогові абоненти однієї станції)

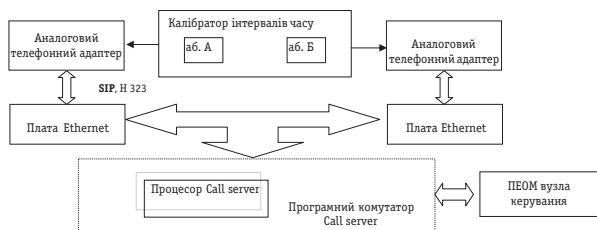


Рис. 2. Структурна схема експериментальних досліджень ВК АПОР ЦСК SI-3000 (А і Б — IP абоненти однієї станції)

ся сигнал посилення виклику (ПВ), а для комплекту АК1 передається команда на генерування сигналу контролю ПВ (КПВ). Після отримання сигналу відповіді абонента Б подання сигналів ПВ і КПВ знімається та проключається розмовний тракт через IP мережу між абонентськими комплектами АК (IP телефонами), а процесором Call Server фіксується час початку розмови.

Сигнал — відбій одного з абонентів фіксується відповідним АК і через процесор плати аналогових абонентів (процесор IP телефону) IP мережею надходить до процесора Call Server програмного комутатора, який фіксує час завершення розмови та видає відповідні сигнали для руйнування розмовного тракту. Після завершення розмови дані стосовно номера абонента А, дати, часу початку та тривалості розмови передаються процесором Call Server програмного комутатора до ПЕОМ вузла керування, де запам'ятовуються на жорсткому диску.

Згідно з [1] послідовність технічних засобів: ТА, аналоговий АК (інтерфейсна плата IP-телефону), процесор абонентської плати (плата Ethernet), процесор Call Server програмного комутатора, контролер — засоби відображення інформації вузла керування, — що здійснює перетворення інформаційних сигналів (зайняття ліній, відповіді абонента, роз'єднання) у цифрову форму і призначена для формування сигналу вимірювальної інформації стосовно тривалості телефонної розмови, розглядається як вимірювальний канал.

Проблеми інформаційної сумісності

Необхідною умовою проведення експериментальних досліджень ВК АПОР відповідно до зазначених рисунків є інформаційна сумісність калібратора інтервалів часу та АТС, що досягається проектуванням калібраторів із застосуванням сигналів, передбачених стандартами телекомунікаційної мережі загального користування (ТМЗК).

У традиційній телефонії коди завершення виклику або відповідей вузлів / станцій / абонентів на запит зберігаються у докладному записі стосовно виклику CDR (Call Detail Record) та описуються у стандарті Q.850 для мережі загальноканальної сигналізації OKC-7 і у стандарті Q.931 для ISDN [2]. Оскільки коди різних протоколів IP-телефонії можуть розрізнятися, операторам зв'язку часто доводиться вирішувати завдання адекватного зіставлення кодів відповідей станції одного протоколу кодам відповідності іншого (повідомлення з SIP в H.323 або ISDN і навпаки), що називається трансляцією кодів (mapping). Якщо для з'єднань між станціями це питання вирішу-

ється шляхом застосування трансляції кодів, то для встановлення ІР — з'єднання є необхідною взаємодією калібратора інтервалів часу та АТС через аналоговий телефонний адаптер (рис. 2). Оскільки виробниками цих адаптерів є, як правило, іноземні фірми, що забезпечують випуск своєї продукції відповідно до національних стандартів, виникає проблема їхньої відповідності вимогам стандартів ТМЗК, що діють в Україні. Для прикладу, абоненти з АТС отримують такі види сигналів:

- *відповідь станції* — неперервний гудок, який чує абонент після зняття телефонної трубки;
- *посилання виклику* — сигнал виклику абонента;
- *контроль посилання виклику* — сигнал, призначений для інформування абонента стосовно посилання виклику;
- *зайнято* — надходить у випадку зайнятості абонентської лінії абонента, що викликається;
- *зайнято — перевантаження* — надходить у випадку зайнятості сполучних (міжстанційних) ліній або комутаційного устаткування.

Характеристики зазначених вище сигналів наведено у табл. 1.

На АТС вітчизняних мереж зв'язку для посилання виклику використовуються сигнали частотою (25 ± 2) Гц і напругою (95 ± 5) В. Посилання виклику передбачає одну секунду звучання і чотирисекундну паузу [2]. Для порівняння можна відзначити, що сигнал виклику на АТС США, Канади та більшості країн Європи має частоту 20 Гц і складається із двосекундних посилань і чотирисекундних пауз. У Великобританії, Австралії, інших країнах, що слідує Британським телекомунікаційним стандартам, використовується складніша структура сигналу виклику, що передбачає посилання 0,4 с, паузу 0,2 с, знову посилання 0,4 с і паузу 2 с. Акустичні сигнали КПВ мають ті ж характеристики, що й сигнали посилання виклику.

У країнах СНД, Аргентині, низці інших країн застосовують частоту 425 Гц. У США, низці інших країн застосовують, як правило, поєднання двох частот — 440 і 480 Гц. У більшості Європейських країн та США кожний із тональних сигналів містить дві або більше фіксованих частот. Сигнал «Відповідь станції», як і в країнах СНД, є неперервним, але складається із двох тональних частот — 350 і 440 Гц.

Зазначені відмінності призводять до того, що можливість використання аналогових телефонних адаптерів, що мають забезпечувати взаємодію ІР-мереж з ТМЗК та перетворення пакетної цифрової інформації в аналогову та навпаки, є обме-

женою. Лише ті адаптери, що дозволяють змінювати параметри основних сигналів, які надходять від АТС чи абонентського пристрою, можливо застосувати для проведення експериментальних досліджень ВК АПОР у випадку ІР-з'єднання. Отже, питання інформаційної сумісності може бути вирішено.

Проблеми метрологічної сумісності

Для можливості застосування калібраторів інтервалів часу як робочих еталонів слід дотримуватися вимог метрологічної сумісності, тобто необхідно, щоб їхні метрологічні характеристики відповідали вимогам Державної повірочної схеми для засобів вимірювань часу і частоти за [3]. З метою визначення доцільності використання калібраторів різних типів проведено порівняльні метрологічні дослідження зразків калібраторів типів КИВ та КИВ-ІВ. Під час дослідження застосовано метод зразкового приладу (метод прямих вимірювань), суть якого полягає у багаторазовому встановленні з'єднання між абонентами А і Б та відтворенні калібратором інтервалів часу заданої тривалості розмови (з'єднання), що вимірюється робочим еталоном (частотоміром у режимі вимірювань інтервалів часу) з наступним опрацюванням і визначенням (контролем) метрологічних характеристик калібратора.

Основні технічні характеристики більшості калібраторів інтервалів часу, що застосовуються у метрологічній практиці територіальними органами Мінекономрозвитку України, наведено у табл. 2.

Межі допустимої абсолютної похибки калібраторів згідно з Державною повірочною схемою для засобів вимірювань часу і частоти за [3]

Таблиця 1. Характеристики основних сигналів, що надходять від АТС до абонентського пристрою

Найменування сигналу	Тривалість, с		Рівень або напруга	Частота, Гц
	Імпульс	Пауза		
Відповідь станції	Неперервне подання		від – 6 до – 30 дБ	425 ± 25
ПВ	1,0 ± 0,1	4,0 ± 0,1	95 ± 5 В	25 ± 2
КПВ	1,0 ± 0,1	4,0 ± 0,1	від – 6 до – 30 дБ	425 ± 25
Зайнято	від 0,3 до 0,4	від 0,3 до 0,4	від – 6 до – 30 дБ	425 ± 25
Зайнято — перевантаження	від 0,16 до 0,2	від 0,16 до 0,2	від – 5 до – 30 дБ	425 ± 25

не мають перевищувати $\Delta_{H(B)} = \pm 5 \cdot 10^{-2}$ с, що відповідає вимогам робочих еталонів 2-го розряду. Пристрої Призма-8 та КИВ-3 не задовольняють вимогам [3], а для калібраторів типів КИВ виробництва НВП «ИТЭК» (м. Чернігів) та ПКС виробництва ПП «Мікролуч» (м. Хмельницький) така вимога виконується не для всього діапазону вимірювань.

Проте потребує окремого вивчення порівняння методів передавання розміру одиниці часу від обох типів калібраторів системам АПОР. З цією метою калібратори інтервалів часу різних типів умовно поділені на дві групи.

Аналізування принципу функціонування калібраторів першої групи показує, що початок відліку заданого інтервалу часу починається у момент подання команди замикання шлейфу абонентської лінії Б та завершується у момент розмикання шлейфів абонентських ліній А і Б. Для калібраторів другої групи за початок розмови приймається момент установлення акустичного зв'язку між вимірювальними блоками калібратора (абонентами А і Б, що відповідає фактичній можливості користувачів отримувати задану послугу), а часом завершення розмови вважається момент часу розмикання шлейфів абонентських ліній А і Б. Оскільки для калібраторів першої групи початок відліку заданого інтервалу часу не збігається з моментом установлення каналу зв'язку внаслідок зворотного проключення, має місце методична похибка, зумовлена неузгодженістю моментів установлення каналу зв'язку та замикання шлейфу абонентської лінії Б. Значення цієї методичної похибки, зумовленої методом передаван-

ня розміру одиниці часу від калібратора до системи АПОР, залежить від тривалості зворотного проключення каналу зв'язку (типу, навантаження, технічного стану АТС, швидкодії використовуваного програмного забезпечення АТС та мережі сигналізації), в окремих випадках досягає 4 с, що суттєво перевищує межу допустимого значення похибки методу передавання робочим засобом вимірювання методом прямих вимірювань — 10^{-3} с [3]. Тому рекомендується застосовувати калібратори інтервалів часу, в яких за початок розмови приймається момент установлення акустичного зв'язку між абонентами А і Б, тобто має місце узгодження моментів початку відліку тривалості розмови (фактичного надання послуги зв'язку) та відтворення калібратором заданого інтервалу часу. Детально це питання досліджено у [4].

Іншою проблемою є вимушене використання аналогових телефонних адаптерів та їх вплив на результати вимірень. Для передавання голосу ІР-мережами він оцифровується за допомогою імпульсно-кодової модуляції, стискається (кодується) і розбивається на пакети. На приймальній стороні відбувається зворотня процедура — дані добуваються з пакетів, декодуються і перетворюються назад в аналоговий сигнал. Уживані алгоритми стиснення голосу під час передавання ІР-мережами є достатньо різноманітними. Деякі, практично, не стискають голос, залишаючи його на рівні імпульсно-кодової модуляції (тобто 64 кілобіт/с), інші дозволяють стискати цифровий голосовий потік у 8 і більше разів за рахунок ефективних алгоритмів кодування [5].

Таблиця 2. Основні характеристики калібраторів інтервалів часу різних виробників

Тип калібратора інтервалів часу	КИВ-3	КИВ	ПКС	КИВ-ІВ	Призма-8
Виробник	ДП «Укрметртест-стандарт»	НВП «ИТЭК»	ПП «Мікролуч»	ІВП «ІнноВінн»	ЛОНИИС (Росія)
Вид набору номера	імпульсний чи тоновий	імпульсний	імпульсний чи тоновий	імпульсний чи тоновий	імпульсний
Діапазон вимірювань, с	від 0,1 до 10^5	від 1 до 10^4	від 1 до 10^4	від 5 до 65535	від 0 до 3600
Ціна одиниці найменшого розряду, с	0,1	1	0,1	0,1	1
Границя допустимої похибки, с	$\pm 0,1$	$\pm 1,5 \cdot 10^{-5}T$	$\pm 1,5 \cdot 10^{-5}T$	$\pm 10^{-4}$	$\pm 0,3$
Спосіб фіксування початку розмовного стану	замикання шлейфу абонентської лінії Б	замикання шлейфу абонентської лінії Б	замикання шлейфу абонентської лінії Б	встановлення звукового тракту між абонентами А і Б	замикання шлейфу абонентської лінії Б, встановлення звукового тракту між абонентами А і Б

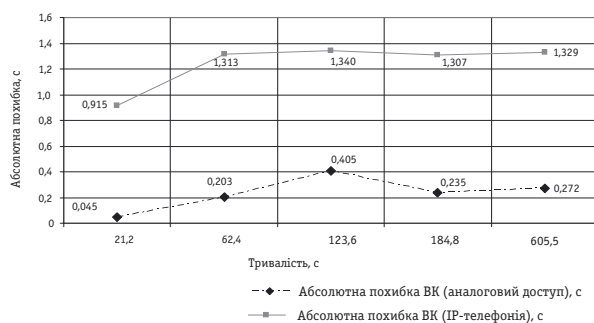


Рис. 3. Межі допустимої похибки ВК АПОР АТС SI-3000

Кодування вносить додаткове затримання порядку (15 — 45) мс, що виникає з таких причин:

- використання буфера для накопичення сигналу та обліку статистики подальших відліків (алгоритмічне затримання);
- математичні перетворення, що виконуються над мовним сигналом, вимагають процесорного часу (обчислювальне затримання).

Подібне затримання з'являється також у процесі декодування мови на іншій стороні. Окрім того, складні алгоритми кодування/декодування вимагають серйозніших витрат обчислювальних ресурсів, що збільшує тривалість обчислювального затримання.

З метою дослідження впливу аналогових телефонних адаптерів на результати вимірень проведено порівняльні дослідження ВК системи АПОР цифрової системи комутації SI-3000 на основі мультисервісного вузла доступу MSAN (аналоговий доступ та IP-телефонія) з використанням аналогового телефонного адаптера Linksys SPA8000. Результати досліджень зображено на графіках (рис. 3).

ВИСНОВКИ

1. Під час проведення експериментальних досліджень ВК систем АПОР об'єктів IP-телефонії відсутність адаптованих до IP-мереж робочих еталонів часу та частоти зумовлює необхідність використання традиційних калібраторів інтервалів часу з аналоговим доступом та аналогових телефонних адаптерів різноманітних виробників.

2. Для зменшення методичної похибки передавання розміру одиниці часу від калібраторів інтервалів часу системам АПОР внаслідок зворотного проключення доцільно застосовувати калібратори інтервалів часу, в яких має місце узгодження моментів початку відліку тривалості з'єднання (фактичного надання послуги зв'язку) та відтворення калібратором заданого інтервалу часу.

3. За використання аналогових телефонних адаптерів для встановлення IP-з'єднання необхідна взає-

модія калібратора інтервалів часу та АТС через аналоговий телефонний адаптер, що забезпечується інформаційною сумісністю лише тих адаптерів, які дозволяють змінювати параметри основних сигналів, що застосовуються у ТМЗК.

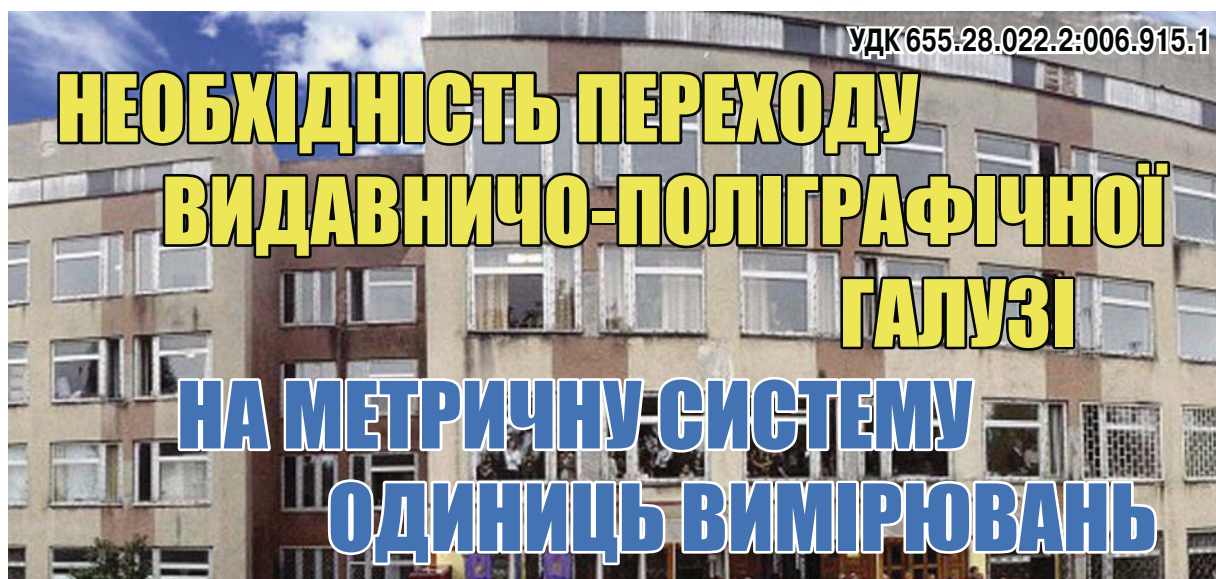
4. Застосування аналогових телефонних адаптерів під час проведення експериментальних досліджень ВК систем АПОР об'єктів IP-телефонії призводить до внесення методичної похибки, що суттєво перевищує алгоритмічне та обчислювальне затримання у разі кодування, стискання та декодування голосу та унеможливорює їхнє використання спільно з традиційними робочими еталонами часу через невідповідність вимогам Державної повірочної схеми для засобів вимірювань часу і частоти за [3].

Отже, розроблення нормативно-методичних засад метрологічного забезпечення АВС тривалості телефонних розмов об'єктів IP-телефонії, що забезпечують передавання мовної інформації мережами передавання даних з комутацією пакетів та використанням IP-протоколу, та їх стандартизація є актуальним завданням. Передбачається розроблення:

- вимог до програмно-технічних засобів (робочих еталонів) визначення метрологічних характеристик АВС тривалості телефонних розмов об'єктів IP-телефонії;
- дослідного взірця програмно-технічного засобу, його дослідження та метрологічну атестацію;
- методів та структурних схем метрологічних досліджень АВС тривалості телефонних розмов об'єктів IP-телефонії під час їх метрологічної атестації чи перевірки;
- науково-методичних документів, що регламентують програму державної метрологічної атестації та методику перевірки АВС тривалості телефонних розмов об'єктів IP-телефонії.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення.
2. Гольдштейн Б. С. Протоколы сети доступа. М.: «Радио и связь», 2001. — Т. 2.
3. ДСТУ 3538:2009. Державна повірочна схема для засобів вимірювань часу і частоти.
4. Каліцінський Ю. Р. Передавання розміру одиниці часу автоматизованим вимірювальним інформаційним системам обліку тривалості телефонних розмов // Метрологія — 2002. — ХДНДІМ, 2002. — Т. 2. — С. 186—188.
5. Филимонов А. Построение мультисервисных сетей Ethernet // БХВ-Петербург, 2007. ■



С. Гунько, кандидат технічних наук, професор,
О. Ющик, кандидат технічних наук, доцент,
Б. Гавриш, старший викладач,
 Українська академія друкарства, м. Львів

Представлено одиниці вимірювання довжини, використовувані на сьогодні за різними поліграфічними системами вимірювань. Зазначено існуючі проблемні моменти. Обґрунтовано необхідність метричних одиниць у друкарстві.

This paper presents unit of length measurement used today by different printing measuring systems. The study specified the problematic points. The authors prove the necessity of metric units in publishing.



С. Гунько

Відомо, що книгодрукування є одним з найдавніших мистецтв. Задовго до уведення Міжнародної системи одиниць («метричної системи») виробники поліграфічного устаткування встановлювали різноманітні одиниці вимірювання довжини, багато з яких використовуються й сьогодні.

СИСТЕМА ДІДО

Один поліграфічний пункт у системі Дідо дорівнює $1/2660$ частині метра, або $1/72$ французького королівського дюйма (27,07 мм), або 0,3759 мм. Цицero дорівнює 12 пунктам (4,5113 мм), квадрат — 48 пунктам (4 цицero) або 18,0451 мм (табл. 1).

Система Дідо укорінилася і є обов'язковою у всій Європі (за виключенням Великобританії).

АНГЛО-АМЕРИКАНСЬКА СИСТЕМА

У класичній англо-американській поліграфічній системі вимірювань 83 пайки дорівнюють 35 см. Одна пайка, отже, дорівнює 4,2169 мм. Один пункт дорівнює $1/12$ частці пайки (0,3514 мм).

Поліграфічний пункт в англо-американській системі іноді називають американським пунктом.



О. Ющик



Б. Гавриш

Таблиця 1. Розміри одиниць у системі ДІДО

Назва одиниці	Розмір, мм	Умове позначення
поліграфічний пункт	0,3759	п., пт.
цицero	4,5113	циц.
квадрат	18,0451	кв.

Фірма Adobe у процесі розроблення мови PostScript вирішила заокруглити поліграфічний пункт до 1/72 частки класичного дюйма, що дорівнює 25,4 мм (до 0,352(7) мм), а пайку до 1/6 частки дюйма (4,2333 мм).

Англо-американська система одиниць є обов'язковою у Великобританії та США (табл. 2).

ПЕРЕРАХУНОК ПОЛІГРАФІЧНИХ ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАННЯ

Одиниці відомої величини (x) подано у верхньому рядку (табл. 3), одиниці шуканої величини (y) — у стовпчику з лівої сторони. Величина, яка міститься на перетині стовпчика і рядка, є величиною n . Тоді:

$$y = n \cdot x,$$

де y — шукана величина, n — величина, знайдена за табл. 3, x — відома величина.

Існує також ще декілька рідко вживаних поліграфічних одиниць вимірювань:

- 1 пункт (*Truchet*) = 0,188 мм (зараз не використовується);
- 1 пункт (*ATA*) = 0,3514598 мм = 0,013837 дюйма;

Таблиця 2. Значення величин одиниць в англо-американській системі

Назва одиниці	Розмір, мм	Розмір у мові PostScript, мм	Умове позначення
поліграфічний пункт	0,3514	0,3528	pt.
пайка	4,2169	4,2333	pc., pi.

• 1 пункт (T_X) = 0,3514598035 мм = 1/72,27 дюйма;

• 1 пункт (*l'Imprimerie nationale*, B) = 0,4 мм.

На ринку програмного забезпечення КВС на сьогодні провідне місце посідають фірми Apple, Adobe, Microsoft, Quark тощо, розташовані у США, останній країні на планеті, якій доведеться ще зробити суттєві зусилля у напрямку запровадження сучасних стандартизованих одиниць вимірювання. У результаті, використання стандартизованих одиниць є далеким від загально прийнятих у комп'ютеризованому книгодрукуванні, що є причиною невдоволення користувачів КВС у всьому світі.

Головні проблемні моменти:

■ основна одиниця вимірювання довжини — пункт PostScript () — має дуже незручне співвідношення ($1 \text{ pt}_{\text{PS}} = 1/72 \text{ дюйма} = 25,4 \text{ мм}/72 = 0,352(7)$) стосовно загально прийнятих одиниць довжини (метр і міліметр);

■ не існує жодного наукового обґрунтування визначення розміру шрифту. (Єдиний приклад певної усталеної домовленості — конкретизація довжини «et» у пунктах PostScript. Історично «et» був

Таблиця 3. Перерахунок поліграфічних одиниць вимірювання

$x \backslash y$	дюйм	мм	пункт, пт.	цицero	квадрат	пункт, pt.	пайка, pc.	пункт (pt_{PS})	пайка (pc_{PS})
дюйм		25,4	67,564	5,6303	1,4076	72,2811	6,0234	72	6
міліметр	0,0394		2,66	0,2217	0,0554	2,8457	0,2371	2,8346	0,2362
пункт, пт.	0,0148	0,3759		0,0833	0,0208	1,0698	0,0892	1,0657	0,0888
цицero	0,1776	4,5113	12		0,25	12,8378	1,0698	12,7879	1,0657
квадрат	0,7104	18,0451	48	4		51,3512	4,2793	51,1515	4,2626
пункт, pt.	0,0138	0,3514	0,9347	0,0779	0,0195		0,0833	0,9961	0,0830
пайка, pc.	0,166	4,2169	11,2169	0,9347	0,2337	12		11,9533	0,9961
пункт (pt_{PS})	0,0139	0,3528	0,9384	0,0782	0,0195	1,0039	0,0837		0,0833
пайка (pc_{PS})	0,1667	4,2333	11,2607	0,9384	0,2346	12,0469	1,0039	12	

Умовні позначення:

пункт, пт. — поліграфічний пункт у системі Дідо;

пункт, pt. — поліграфічний пункт у класичній англо-американській системі (традиційне визначення);

пайка, pc. — пайка (традиційне визначення);

пункт (pt_{PS}) — поліграфічний пункт в англо-американській системі (визначення Adobe PostScript для комп'ютеризованих видавничих систем (КВС));

пайка (pc_{PS}) — пайка (визначення PostScript).

шириною найширшого металевого знака в шрифті, яким для латинських шрифтів була велика буква «М». Сьогодні контрольні точки цифрових контурів шрифтів містяться у значеннях масиву координат усередині стандартної квадратної одиниці. Цей квадрат є невизначеним еквівалентом історичного розміру максимального металевого знаку, і його ширина стала сучасним втіленням «ет». У результаті, не існує доступного інструментарію для вимірювання розміру тексту, який відповідав би довжині пункта, яким позначається розмір шрифту);

- роздільна здатність вивідних пристроїв визначається у *dpi* (точках на дюйм), яка є оберненою величиною розміру пікселя, кратного 25,4 мм.

Відомо, що у метричній системі існує усталений щільний і глобально прийнятий набір одиниць довжин, які використовуються для найрізноманітніших вимірювань. Тому використання архаїчних одиниць довжини у вузько спеціалізованих галузях виробництва відживає і має бути дуже обмеженим.

Настає час, щоб видавничо-поліграфічна справа остаточно позбулася існуючої неоднозначності в одиницях вимірювання [1, 2]. Це можна здійснити двома шляхами:

- ❖ прийняттям метричної системи вимірювань;
- ❖ визначенням розмірів шрифтів, які базуються на метричній вимірювальній характеристичній величині надрукованих рисунків шрифту.

Метричні одиниці у друкарстві уже використовуються в Японії, певною мірою в Німеччині, інших європейських країнах [3]. Проте, вплив ринку програмного забезпечення КВС, породженого США, без необхідної підтримки метричних одиниць на всіх рівнях у нинішній час перешкоджає подальшому поширенню метричної системи одиниць вимірювань у друкарських технологіях.

У німецькому проекті стандарту DIN 16507-2 [4, 5] запропоновано, щоб усі вимірювання довжин у комп'ютеризованому книгодрукуванні були точно встановленими в міліметрах, а вимірювання мають бути кратними 0,25 мм або, якщо вимагається вища роздільна здатність, — 0,1 або 0,05 мм.

У такий спосіб можна позбутися різних систем вимірювання.

Японські фотонасвітлювальні пристрої застосовують одиницю *Q* (чверть) для позначення розмірів шрифтів, де $1\ Q = 0,25\ \text{мм}$, тобто такий самий модуль, рекомендований DIN 16507-2.

Запропоноване добре узгоджується із узагальненим розміром пікселя на комп'ютерних моніторах. Наприклад, типовий комп'ютерний дисплей має площу відображення $320 \times 240\ \text{мм}$, поділе-

ну на 1280×1024 пікселі, що створюється пікселями розміром 0,25 мм.

РОЗМІРИ ШРИФТІВ

DIN 16507-2. Цей проект стандарту визначає (серед багатьох інших) такі дві шрифтові величини:

Кегель шрифту (нім.: *Schriftgröße*)

Це базова величина, відносно якої шрифт спроектовано. Шрифт розпізнають і вибирають, керуючись цим розміром, оскільки базова відстань, яка присвоюється, є набагато доречнішою для практичних робіт, ніж фактичні вимірювання певних характеристик ознак.

Висота шрифту (нім.: *Oberhöhe*)

Це висота у мм таких великих літер, як, наприклад, «б» або «Н». Як правило, висота шрифту складає близько 72 % розміру шрифту, але це залежить від проектувальника шрифту.

Якщо ми говоримо «Times New Roman 5,0», це означає, що ми вибираємо шрифт, який проектувався для інтерліньяжу у 5 мм. Він, як правило, матиме велику літеру «Н» розміром 3,6 мм або 10,2 пункти (72 % з 5 мм). Обчислення стають тривіальними: у колонці висотою 60 мм, можна укласти точно $60\ \text{мм} / 5\ \text{мм} = 12$ ліній. Базові лінії тексту стають точно прив'язаними до міліметрової сітки, і якщо міліметри використовуються для того, щоб описати як кегель шрифту, так і висоту шрифту, їх співвідношення стає керованішим, ніж у тому випадку, коли використовуватимуться різні одиниці, такі, як, наприклад, мм і пункти. Верстальникам не доведеться більше жонглювати з конверсійними чинниками, як, наприклад, 72,27 і 25,4. Якщо задаємо «Times New Roman 5,00/5,25», це означає, що використовуємо точно такий самий шрифт, як вище, але зі збільшеним на 0,25 мм інтерліньяжем.

Стандарт [5] містить список метричних розмірів шрифтів, у яких переважають 72 % висоти шрифтів у мм. Додатково до цих значень із стандарту відповідні 72 % висоти шрифтів у пунктах PostScript для легшого порівняння зі старими розмірами шрифтів подано у табл. 4. Зауваження: розміри пунктів американських шрифтів не завжди спираються на висоту великих букв, яку визначає *DIN* як висоту шрифту. Деякі проектувальники шрифтів (наприклад, D. Knuth) також посилаються на розмір вищих відмінних ознак, як, наприклад, «(», отже слід бути обережним, щоб не перетворити несумісні вимірювання, і намагатися з'ясувати базову відстань, для якої шрифт спочатку проектувався, для того, щоб перетворити його належним чином на метричні розміри.

Нагадаємо, що *кегель шрифту* стосується базової відстані, за якою шрифт проектувався, і використаний для того, щоби ідентифікувати шрифт. *Висота шрифту* є дійсною висотою літер, таких як Н або б. Висота літери складає, як правило, 72 % від кегля шрифту, але це залежить від проектувальника шрифту. Тому, якщо вказати «Courier 6,0», це означає вибраний шрифт Courier, спроектований для інтерліньяжу 6 мм (де висота літери Н дорівнює 4,3 мм або 12,2 pt.), а якщо вказано «Courier 6,0 / 9,0», — цей самий шрифт, але зі збільшеним на 50 % інтерліньяжем.

ІНШІ ПРОПОЗИЦІЇ

Деякі автори [6] вважають, що розміри шрифтів мають базуватися на висоті малих літер. Це, очевидно, має ряд переваг:

- висота малих літер може бути легко вимірена безпосередньо у типовому роздруку і не є невидимим розміром, який міститься лише у шрифтових даних;

- чи мають два шрифти однакову висоту, перш за все, визначається тим, чи збігаються висоти їхніх малих літер;

- поняття висоти малих літер включено також у шрифти на грецькій і кириличній основах. Шрифти івриту, арабські та шрифти *Devanagari* можна побудувати аналогічно шрифтам на латинській основі з тією ж висотою малих літер;

- рекомендовані базові відстані часто пов'язані з висотою малих літер, тому використання висоти малих літер як відносний розмір на практиці часто призводить до заокруглення вимірювань для базової відстані.

Можливі незручності використання висоти малих літер як відносний розмір для позначення висоти шрифту можуть:

- ✓ у деяких додатках (наприклад, дорожніх і попереджувальних написах у деяких країнах) текст зазвичай складається лише із великих літер, або лише із цифр, так що немає ніяких видимих літер нижніх регістрів як засобів вимірювання. Проте, оскільки шрифти, які використовуються у цих додатках, також включають і малі літери, висота малих літер є завжди чітко визначеною (за винятком декількох числових пристроїв відображення, наприклад, 7-сегментних рідкокристалічних дисплеїв);

- ✓ китайські знаки легше порівнюються з висотою великих літер латинських шрифтів. Проте, оскільки східно-азійські шрифти також містять латинські шрифти нижніх регістрів, висота малих літер також є завжди чітко визначеною.

Таблиця 4. Співвідношення кегля шрифту із висотою шрифту

Кегель шрифту (мм)	Висота шрифту	
	(мм)	(pt)
1,5	1,1	3,1
1,75	1,3	3,6
2,0	1,4	4,1
2,25	1,6	4,6
2,5	1,8	5,1
2,75	2,0	5,6
3,0	2,2	6,1
3,25	2,3	6,6
3,5	2,5	7,1
3,75	2,7	7,7
4,0	2,9	8,2
4,25	3,1	8,7
4,5	3,2	9,2
5,0	3,6	10,2
5,5	4,0	11,2
6,0	4,3	12,2
7,0	5,0	14,3
8,0	5,8	16,3
9,0	6,5	18,4
10,0	7,2	20,4
12,0	8,6	24,5
14,0	10,1	28,6
16,0	11,5	32,7
18,0	13,0	36,7
20,0	14,4	40,8
22,5	16,2	45,9
25,0	18,0	51,0
27,5	19,8	56,1
30,0	21,6	61,2
35,0	25,2	71,4

(Наведені вище значення у мм взято зі старого проекту стандарту DIN 16507-2:1984-05. Якщо на практиці використовувати метричні одиниці розмірів шрифтів, необхідно переконатися, що наявною є найостанніша версія даного стандарту DIN).

Перші пропозиції для міжнародного стандарту з розмірів шрифтів, запропоновані у кінці 1970-х, засновано на висоті великих букв і не знайшли міжнародної підтримки [7, 8].

Як висота малих літер, так і висота великих літер є атрибутом, який міститься в існуючих файлах шрифтів, тому масштабування розмірів шрифту, таких, що характеризуються висотою малих літер або висотою великих літер, яке відповідає точно встановленій довжині у міліметрах, є тривіальним для реалізації у сучасних системах керування шрифтами.

Таблиця 5. Значення метричних роздільних здатностей

мкм	10.0	20.0	21.2	40.0	42.3	80.0	84.7	100.0	250.0	254.0
точок на дюйм	2540	1270	1200	635	600	317	300	254	102	100

Ідея, яку, можливо, слід розглянути, — визначити ряди розмірів шрифтів, яким надається перевага. На відміну від значень, представлених у [5], це могли б бути геометричні ряди, в яких коефіцієнт сусідніх розмірів наближається до кореня квадратного із двох. Міжнародний стандарт розмірів паперу проектувався так, щоб бути збільшеним або зменшеним на $\sqrt{2}$ або $\sqrt[4]{2}$. Такий ряд розмірів стандартних шрифтів може також бути вираженим у міліметрах і побудованим через спадаюче меню, або це можна позначити індексним номером, як це вже зроблено для розмірів паперу згідно зі стандартом ISO.

МЕТРИЧНІ РОЗДІЛЬНІ ЗДАТНОСТІ ПРИСТРОЇВ

Замість задання розміру пікселя у точках на дюйм, набагато зручніше було б зазначати розмір пікселя у мікрометрах, так як це загальноприйнято в електронній промисловості. У табл. 5 показано загально вживані роздільні здатності як у мкм, так і в точках на дюйм.

У недалекому минулому фотоекспонувальні пристрої традиційно базувалися на метричних кроках дискретизації (з 10 мкм = 2540 точкам на дюйм, що було загально визнаним), а нині офісні лазерні й струменеві принтери налаштовано на дюймову систему дискретизації.

МЕТРИЧНІ ОДИНИЦІ ВИМІРЮВАНЬ У ПРОГРАМНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ДЛЯ ВЕРСТАННЯ


Хоча розроблене у США подруккарське програмне забезпечення часто містить перетворення деяких метричних одиниць вимірювань, ці метричні методи мають багато особливостей і не були, очевидно, ніколи використаними у щоденній роботі їхніми користувачами. Додані до системи метричні одиниці вимірювань часто страждають неточностями (уводимо, наприклад, 210 мм і завжди отримуємо 209,902777 мм на дисплеї, вирівнювання ліній за метричними сітками не діють, значення за замовчуванням часто зафіксовано у англо-американській системі одиниць вимірювання тощо), і метричні одиниці вимірювання не поширюються на такі критичні деталі, як розмір шрифту або розмір пікселя. Отже, врешті решт, споживачам метричних одиниць вимірювань все ще доведеться постійно здійснювати перетворення між міліметрами, пунктами, дюй-

мами і точками на дюйм (*dpi*). Американським розробникам відомо, що понад 95 % усього світового населення уживає метричну систему одиниць вимірювання, і тому доцільно проектувати системи сьогодні виключно у метричних одиницях вимірювання. Конвертування до архаїчних одиниць, подібних до дюйма, і різноманітні пункти мають бути лише особливим додаванням до інтерфейсу користувача, в основі якого лежить виключно метрична система.

Одна із розроблених систем управління шрифтом, яка здійснює його правильно, — це технічні умови W3C CSS2. У такому випадку стандарт [5] описання шрифту гарнітури «Helvetica 4,0/4,5» можна представити як `P {font: 4mm/4,5mm «Helvetica»}`.

Також формат файлів шрифту згідно зі стандартом ISO 9541 використовує міліметрову шкалу для позначення розмірів шрифтів (ISO/IEC 9541-1:1991, секція 8.6.17 [9]).

ЛІТЕРАТУРА

1. Hoch Ernest. International unification of typographic measurements. Penrose annual. — Vol. 60. — Lund Humphries, London, 1967. — P. 24—26.
2. Hoch Ernest. Typographic metrication. Penrose: international review of the graphic arts. — Vol. 70. — Northwood Publications, London, 1977. — P. 123—135. Режим доступу: www.cl.cam.ac.uk/~mgk25/.../hoch77.pdf.
3. BS 4786:1972. Specification for metric typographic measurement (відмінений). — 10 p.
4. DIN 16507-1. Ausgabe: 1998-09, Drucktechnik — Schriftgrößen, Maße und Begriffe — Teil 1: Bleisatz und verwandte Techniken. — 10 s.
5. DIN 16507-2. Ausgabe: 1999-05, Drucktechnik — Schriftgrößen — Teil 2: Digitaler Satz und verwandte Techniken. — 9 s.
6. Ó Brógáin Séamas. Typographic measurement: a critique and a proposal. Professional Printer. — V.27. — 1983. — P. 9—14.
7. Bauer Friedrich L. Der typographische Punkt. Informatik Spektrum. — Vol. 22. — № 1. — February, 1999. — P. 41—42.
8. Rommen Josef. Typographic measures. In: Otl Aicher: Typographie. 2. Aufl. — 1989 — P. 228—239.
9. ISO/IEC 9541-1:1991. Information technology — Font information interchange — Part 1: Architecture. — 81 p. 

ХАРКІВСЬКА ФІЛІЯ ДП «УкрНДНЦ»

Харківська філія ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» проводить підвищення кваліфікації державних повірників, повірників метрологічних служб підприємств та організацій, фахівців калібрувальних, випробувальних та вимірювальних лабораторій, метрологічних служб підприємств, а також спеціалістів, які працюють у напрямках стандартизації, сертифікації та управління якістю (ліцензія Міністерства освіти і науки України, серія АВ № 395821 від 05.06.2008). Після успішного закінчення курсу слухачі отримують посвідчення чи посвідчення із сертифікатом ДП «УкрНДНЦ», що засвідчує підвищення кваліфікації фахівців.

План набору слухачів на 2013 рік

Ч/ч	Курс	Період навчання
	1. Підвищення кваліфікації фахівців повірочних та калібрувальних лабораторій з повірки та калібрування засобів вимірювальної техніки:	
1.1	геометричних величин	13.05 — 24.05; 09.12 — 20.12
1.1.1	колієвимірювальних шаблонів	у міру комплектування, 1 тиждень
1.1.2	спеціалізованих засобів вимірювань геометричних величин на залізничному транспорті	у міру комплектування, 1 тиждень
1.2	механічних величин	13.05 — 24.05
1.2.1	маси	13.05 — 17.05
1.3	маси, об'єму, місткості	01.07 — 12.07
1.3.1	маси, об'єму, місткості та витрати	01.07 — 12.07
1.3.2	об'єму, місткості	01.07 — 05.07
1.4	температури, тиску, витрати	11.11 — 22.11
1.4.1	температури, тиску	11.03 — 22.03; 11.11 — 22.11
1.5	електричних величин	30.09. — 11.10
1.5.1	електричних величин на залізничному транспорті	у міру комплектування, 1 тиждень
1.6	радіотехнічних величин	30.09 — 11.10
1.6.1	радіотехнічних величин на залізничному транспорті	у міру комплектування, 1 тиждень
	2. Підвищення кваліфікації фахівців за курсами:	
2.1	Забезпечення єдності вимірювань на підприємстві	15.04 — 26.04; 14.10 — 25.10
2.1.1	Забезпечення єдності вимірювань на підприємстві (для метрологів з досвідом роботи)	23.09 — 27.09
2.2	Метрологічна експертиза технічної документації	15.04 — 26.04; у міру комплектування, 2 тижня
2.2.1	Метрологічна експертиза технічної документації (для фахівців з досвідом проведення МЕ ТД)	23.09 — 27.09
2.3	Забезпечення єдності вимірювань при проведенні контролю колісних транспортних засобів	25.03 — 29.03
2.3.1	Забезпечення єдності вимірювання димності відпрацьованих газів двигунів автомобілів згідно з ДСТУ 4276:2004	25.03 — 29.03
2.4	Розробка та атестація методик виконання вимірювань. Оцінка невизначеності вимірювань	у міру комплектування, 1 тиждень
2.5	Забезпечення єдності вимірювань в калібрувальних та вимірювальних лабораторіях	27.05 — 31.05; 14.10 — 18.10
2.6	Забезпечення єдності вимірювань в закладах охорони здоров'я	27.05 — 31.05
2.7	Технічне регулювання в Україні	17.06 — 21.06
2.8	Стандартизація, розробка та впровадження нормативних документів	03.06 — 07.06
2.9	Забезпечення відповідності калібрувальних та вимірювальних лабораторій критеріям атестації в ДМС, підготовка до атестації	27.05–31.05; 14.10–18.10
2.10	Розробка і впровадження систем управління якістю	28.10 — 01.11
2.11	Забезпечення функціонування систем управління якістю та проведення внутрішнього аудиту	28.10 — 01.11
2.12	Державний метрологічний нагляд	03.06 — 07.06
2.13	Проведення вимірювань та випробувань електротехнічними лабораторіями	02.12 — 06.12; у міру комплектування, 1 тиждень
2.14	Державний ринковий нагляд	у міру комплектування, 1 тиждень
2.15	Вимоги до калібрувальних та випробувальних лабораторій відповідно до ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Внутрішній аудит в лабораторіях	04.11 — 08.11; у міру комплектування, 1 тиждень
2.16	Забезпечення єдності вимірювання та обліку витрат енергоносіїв	03.06 — 07.06; 25.11 — 29.11
2.17	Забезпечення єдності вимірювань ВК ВІС та АСК ТП	01.07 — 12.07
2.18	Внутрішній аудит в лабораторіях за ДСТУ ISO/IEC 17025:2006	04.11 — 08.11; у міру комплектування, 1 тиждень
2.19	Тепловізійні вимірювання. Тепловізійні методи контролю і діагностики	25.03 — 29.03; 02.12 — 06.12
	3. Підвищення кваліфікації фахівців на базі підприємства-замовника:	
3.1	За заявкою підприємства	за узгодженням
	4. Проведення тематичних семінарів:	
4.1	За заявкою підприємства	за узгодженням

Заявки на навчання надсилати на адресу Харківської філії ДП «УкрНДНЦ» або факсом. Комплектування додаткових груп проводиться за замовлення підприємств. За вимогою підприємств надсилаємо інформаційні листи з тематикою окремих курсів навчання.

Харківська філія ДП «УкрНДНЦ» співпрацює з Органом з сертифікації персоналу калібрувальних та вимірювальних лабораторій. Випускники Харківської філії ДП «УкрНДНЦ» мають можливість додатково отримати сертифікати компетентності фахівців, які визнають під час акредитації лабораторій.