

Вимірюйте
усе доступне вимірюванню
й робіть недоступне вимірюванню
доступним.

Галілео Галілей

ISSN 2307-2180

Метрологія



та прилади

№ 1(51), 2015

Науково-виробничий журнал

Журнал зареєстровано:
у Державній реєстраційній
службі України, свідоцтво серія
КВ № 20033-8933ПР від 17.05.2013;
у Вищій атестаційній комісії України,
Постанова Президії **ВАК**
№ 1-05/2 від 10.03.2010

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

Засновники:

Академія метрології України,
Харківський національний
університет радіоелектроніки (ХНУРЕ),
ТОВ виробничо-комерційна
фірма «Фавор»

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

Редакційна колегія:

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

Редакційна група:

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

Журнал **рекомендовано до друку**
вченою радою ХНУРЕ
(протокол №2 від 04.03.2015)

Видавець ВКФ «Фавор»

Адреса редакції:

61002, Харків, вул. Митрофановська, 40;
Тел.: (057) 780-78-00, (095) 00-68-665
E-mail: metrolog-prylady@ukr.net
mp@metrology.kharkov.ua
<http://www.metpriladi.com/>

Підписано до друку 06.03.2015.
Формат 60×84/8. Папір крейдований.
Ум. друк. арк. 8,43. Обл.-вид. арк. 7,13.
Друк офсетний. Тираж 500 прим.
Замовлення № 7.

© «Метрологія та прилади», 2015

**Кожного року перші теплі дні, яскраве сонце, весняний настрій,
Очікування чогось незвичайного завжди асоціюються
з чудовим святом — Міжнародним жіночим днем — 8 Березня.**

**На різних етапах розвитку окремих країн і людства в цілому,
особливо у найскладніші періоди, жінки були значною мірою
основою стабільності суспільства, його життєзабезпечення
і обороноздатності, збереження, відродження й успішності
прийдешніх поколінь.**

**Саме такими виявили себе жінки України протягом
останнього року, за умов війни з агресором, який зазіхнув на
українські землі. Віддавши фронту задля перемоги над ворогом
найдорожче: своїх синів, чоловіків, батьків, братів, — добре
усвідомлюючи високу ймовірність тяжких наслідків їхньої
участі в бойових діях, українки замінили їх на виробництві
й у домашньому господарстві. Розгорнувши волонтерський рух,
вони забезпечували українських бійців, особливо у перші місяці
воєнного протистояння, військовим спорядженням, сучасними
приладами, продуктами харчування, медикаментами. Значна
їх частина безпосередньо зі зброєю в руках встала на захист
Вітчизни, подаючи приклад високого патріотизму і безмежної
мужності.**

**Під час війни важливою є роль кожної галузі народного
господарства. Особливо відповідальною стає робота
метрологів, стандартизаторів, приладобудівників, переважну
частину яких складають жінки. Адже питання єдності
вимірювань, взаємозамінності й якості вузлів, комплектуючих,
приладів військової техніки та озброєння, стандартизації
снарядів і патронів — основа боєздатності бойових частин.
І попри економічні та валютні негаразди виконання відповідних
завдань було забезпечено.**

**Редакція та редколегія журналу «Метрологія та прилади»
сердечно вітають жінок галузі, всіх жінок України зі святом!
Зичимо Вам здоров'я, щастя, любові, добробуту і достатку
у Ваших оселях, миру і спокою на нашій українській землі!**

ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Гіленко О.

Департамент технічного регулювання
та метрології Міністерства економічного розвитку
та торгівлі України: метрологічна діяльність у 2014 році 3

ЗАКОНОДАВЧА МЕТРОЛОГІЯ

Кузьменко Ю., Черепков С., Несвідоміна Л., Потоцький І.

Законодавчо регульована метрологія відповідно
до OIML D1 та нової редакції Закону України
«Про метрологію та метрологічну діяльність» 6

ЕТАЛОННА БАЗА

Петришин І., Присяжнюк Т., Бас О.

Вторинний еталон одиниць об'єму
та об'ємної витрати газу в діапазоні мікрофлуксів
на базі установки еквівалентного витіснення рідини 14

ТОЧНІСТЬ ТА ДОСТОВІРНІСТЬ

Кондрашов С., Гусельников О.

Підвищення точності цифрових вимірювальних приладів
з частотними автогенераторними датчиками 20

МЕТОДИ ТА МЕТОДИКИ

Кошовий М., Ноженко О.

Вибір та обґрунтування методу комплексного оцінювання
показників метрологічного забезпечення продукції 24

ВИМІРЮВАННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ

Черепашчук Г., Потільчак О., Бикова Т.

Оцінка невизначеності вимірювання середнього
коефіцієнта відносного тертя фрикційних демпферів
за випробувань ресорних підвісів вантажних вагонів 29

ПОВІРКА ТА КАЛІБРУВАННЯ

Терещенко В.

Дослідження похибок вимірювання
світлотехнічних характеристик імітаторів
світлових приладів транспортних засобів 35

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Демченко А., Коваль В., Леонов Г.

Метрологічне забезпечення обліку
об'єму скрапленого газу під час його продажу
на автогазозаправних станціях 40

ПАРАМЕТРИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ

Коцюба А., Заїка В.

Статистичне оцінювання СКВ
випадкової похибки ЗВТ
за умови лінійного дрейфу систематичної похибки 44

СЕЙСМОМЕТРІЯ

Петров В., Бріцький О., Олещук Е., Фещенко А., Щербіна С.

Метрологічний контроль
геофізичного обладнання України 47

НАНОМЕТРОЛОГІЯ

Ковальчук В., Сербов М., Цуркан О.

Модифікація твердотільної матриці
шляхом формування нанокластерної підсистеми 57

МЕТРОЛОГІЧНА ОСВІТА

Гордієнко Т., Габер А.

Стан і перспективи удосконалення
вищої та післядипломної освіти
у галузі метрології та приладобудування в Україні 62

СЕМІНАРИ, КОНФЕРЕНЦІЇ, З'ЇЗДИ

Гоц Н.

Всеукраїнська науково-технічна конференція
молодих вчених у сфері метрології 69

ВІТАЄМО ЮВІЛЯРІВ

До 60-річчя Василя Васильовича Паракуди 70

До 50-річчя метрологічної діяльності
Катерини Петрівни Іванової 71

ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ

План набору слухачів на 2015 рік 72

TRENDS AND PROSPECTS FOR DEVELOPMENT

Hilenko O.

Technical Regulation and metrology
Department of Economic Development and Trade
Ministry of Ukraine: metrological activity in 2014

LEGAL METROLOGY

Kuzmenko J., Cherepkov S., Nesvidomina L., Pototskyi I.

Legally regulated metrology according
to OIML D1 and the new Law of Ukraine
«On metrology and metrological activity»

MEASUREMENT STANDARD BASE

Petrushun I., Prisyajnyuk T., Bas O.

Secondary Standard of Gas Volume
and Flow Rate Units in a Range of Microflowrates
on the Basis of Equivalent Fluid Displacement Prover

ACCURACY AND RELIABILITY

Kondrashov S., Guseynikov O.

Improving Accuracy of Digital Measuring Devices
with Frequency Self-Oscillating Sensors

METHODS AND PROCEDURES

Koshevoj N., Nozhenko A.

Selection and Justification for Method of Comprehensive
Evaluation of Metrological Provision Products Indices

MEASUREMENT AND TESTS

Cherepashchuk G., Potilchak A., Bykova T.

Uncertainty Estimation of Measurements
for Friction Shock Absorber Average Coefficient
of Relative Friction During Freight Carriage Tests

VERIFICATION AND CALIBRATION

Tereshchenko V.

The research of measurement errors
for lighting characteristics
of car lights gauges imitators

METROLOGICAL ASSURANCE

Demchenko A., Koval V., Leonov G.

Metrological Assurance for Accounting
of Liquefied Gas Volume
when it is Sold at Gas Stations

PARAMETERS AND CHARACTERISTICS

Kotsuba A., Zaika V.

Statistical Evaluation of the Standard Deviation
for the Random Error of Measuring Instruments
Subject to Linear Drift Bias

SEISMOMETRY

Petrov V., Britsky A., Oleshtuk Y., Feshchenko A., Shcherbyna S.

Metrological control
of geophysical equipment in Ukraine

NANOMETROLOGY

Kovalchuk V., Serbov M., Tsurkan O.

Modification of the Solid Matrix
by Nanocluster Subsystem Forming

METROLOGICAL EDUCATION

Gordiyenko T., Gaber A.

Condition and Prospects for Improvements
of Higher and Post-Diploma Education
in Field of Metrology and Instrumentation in Ukraine

SEMINARS, CONFERENCES, CONGRESSES

Gots N.

All-Ukraine Scientific-Technical Conference
of Young Scientists in Metrology Sphere

WELCOME

To 60th anniversary of V. V. Parakuda

To 50 metrological activity anniversary
of K.P. Ivanova

TRAINING EXPERTS

State Enterprise for Year 2015



О. Гіленко, заступник директора департаменту — начальник управління з питань метрології, Департамент технічного регулювання та метрології Мінекономрозвитку України, м. Київ

Представлено результати діяльності Департаменту технічного регулювання та метрології Мінекономрозвитку України у сфері метрології за 2014 рік.

The report presents the results of activity of Department of technical regulation and metrology of Mineconomrosvytku of Ukraine on metrology in 2014.

Діяльність Міністерства економічного розвитку і торгівлі України (Мінекономрозвитку України) у сфері метрології, регламентована Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність», у 2014 році спрямовувалася на забезпечення функціонування Державної метрологічної системи та її розвиток.

ДЕРЖАВНИЙ МЕТРОЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЬ

Відповідно до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність», спрямованого на захист громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювань, Національним науковим метрологічним центром, державними науковими метрологічними центрами, державними підприємствами, що належать до сфери управління Мінекономрозвитку України, постійно здійснюється державний метрологічний контроль за дотриманням вимог цього Закону, інших нормативно-правових актів і нормативних документів з метрології.

Загальний обсяг виконаних метрологічних робіт державними підприємствами та установами, що належать до сфери управління Мінекономрозвитку, (державними підприємствами) за 2014 рік становить — 457185,4 тис. грн., що на 9,7 % більше порівняно з 2013 роком (2013 рік — 444398,5 тис. грн.).

Загальний обсяг метрологічних робіт становить 69,4 % від загального обсягу виконаних робіт, а в деяких державних підприємствах є значно вищим:

ДП «Дніпростандартметрологія»	80,8 %,
ДП «Закарпаттястандартметрологія»	84,0 %,
ДП «Запоріжжястандартметрологія»	79,4 %,
ДП «Хмельницькстандартметрологія»	77,6 %,
ДП «Буковинастандартметрологія»	78,3 %,
ДП «Івано-Франківськстандартметрологія»	74,0 %.

Протягом 2014 року метрологічними центрами та державними підприємствами, що належать до сфери управління Мінекономрозвитку України, здійснені такі метрологічні роботи:

- повірка 10154,0 тис. од. засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) (2013 рік — 10510,3 тис. од.);
- державна метрологічна атестація 43,6 тис. од. ЗВТ (49,2 тис.);
- калібрування 36,1 тис. од. ЗВТ (34,0 тис.);
- проведено 64 державні приймальні та 224 контрольні випробування ЗВТ (відповідно 54 та 207);
- освоєно 154 нових видів повірки ЗВТ (172);



- атестовано 3227 вимірювальних лабораторій та взято участь в атестації 931 лабораторії (відповідно 3729 та 1139);

- атестовано та внесено до Реєстру МВВ 205 методик виконання вимірювань та методик повірки ЗВТ (258).

За позитивними результатами державних приймальних та контрольних випробувань ЗВТ до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки, допущених до застосування в Україні, внесено 189 типів ЗВТ, у т.ч. 43 типи ЗВТ вітчизняного виробництва та 72 типи іноземного виробництва, 74 типи ЗВТ — на підставі міжнародних угод.

Відповідно до Порядку оформлення та видачі сертифікатів затвердження типу засобів вимірювальної техніки, сертифікатів відповідності засобів вимірювальної техніки затвердженню типу та свідоцтв про визнання затвердження типу засобів вимірювальної техніки, затвердженого наказом Держстандарту України 19.02.2002 № 100, зареєстрованим в Міністерстві юстиції України 04.03.2002 за № 222/6510, (Порядку) оформлено та видано на типи ЗВТ таку кількість сертифікатів та свідоцтв:

- 216 сертифікатів затвердження типу ЗВТ (у 2013 році — 219),
- 322 сертифіката відповідності ЗВТ затвердженню типу (264),
- 77 свідоцтв про визнання затвердження типу ЗВТ (99).

Відповідно до Правил уповноваження та атестації у державній метрологічній системі, затверджених наказом Держспоживстандарту від 29.03.2005 № 71, зареєстрованим у Мін'юсті 13.04.2005 за № 392/10672, та наказу Мінекономрозвитку України від 30.01.2014 № 91 «Про затвердження плану проведення періодичного уповноваження (атестації) державних підприємств, що належать до сфери управління Мінекономрозвитку, на 2014 рік», міністерством, як органом з уповноваження (атестації), протягом 2014 року проведено уповноваження (атестацію) державних підприємств на проведення метрологічних робіт (державних приймальних та контрольних випробувань ЗВТ, повірку (калібрування) ЗВТ; атестацію методик виконання вимірювань, що використовуються у сфері та/або поза сферою поширення державного метрологічного нагляду; вимірювання у сфері та/або поза сферою поширення державного метрологічного нагляду).

Проведення уповноваження (атестації) спрямоване на підвищення рівня виконання метрологічних робіт з метою захисту громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювань.

Протягом 2014 року уповноважено (атестовано) 28 державних підприємств, що належать до сфери управління Мінекономрозвитку, з них:

- ♦ 12 державних підприємств на проведення державних приймальних випробувань ЗВТ,
- ♦ 23 державних підприємства на проведення державних контрольних випробувань ЗВТ,
- ♦ 28 державних підприємств на проведення повірки (калібрування) ЗВТ,
- ♦ 10 державних підприємств на проведення атеста-

ції методик виконання вимірювань, що використовуються у сфері та/або поза сферою поширення державного метрологічного нагляду,

- ♦ 20 державних підприємств на проведення вимірювань у сфері та/або поза сферою поширення державного метрологічного нагляду.

НАУКОВА ДІЯЛЬНІСТЬ

У 2014 році Національним науковим метрологічним центром (ННЦ «Інститут метрології») та державними науковими метрологічними центрами (ДП «Укрметртестстандарт», ДП НДІ «Система», ДП «Івано-Франківськстандартметрологія») виконувалися 9 науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДДКР), у тому числі:

- * за бюджетною програмою КПКВК «Збереження та функціонування національної еталонної бази, забезпечення функціонування державних служб, прикладні наукові і науково-технічні розроблення. Виконання робіт за державними цільовими програмами і державним замовленням у сфері стандартизації, метрології та еталонної бази, гармонізації національних стандартів з міжнародними та європейськими» 8 НДДКР на суму 1477,0 тис. грн. відповідно до Плану науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт Міністерства економічного розвитку і торгівлі України у сфері метрології на 2014 рік, затвердженого наказом Мінекономрозвитку від 26.05.2014 № 601, за такими напрямками:

- * забезпечення функціонування Державної служби єдиного часу та еталонних частот, Державної служби стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів, (2 НДР, 745,0 тис. грн.);

- * виконання прикладних наукових та науково-технічних розроблень у сфері метрології (1 НДР, 10,0 тис.грн.);

- * виконання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт за Державною програмою розвитку еталонної бази на 2011-2015 роки (5 НДДКР, 1410,0 тис. грн.).

У рамках реалізації Заходів з виконання Державної програми розвитку еталонної бази на 2011—2015 роки, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 22.12.2010 № 1165, ННЦ «Інститут метрології», ДП «Укрметртестстандарт», ДП «НДІ «Система» та ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» виконувалися роботи щодо:

- удосконалення 2 державних первинних еталонів (Державного первинного еталона одиниці довжини ДЕТУ 01-03-98 та Державного первинного еталона одиниці довжини для рівня рідини ДЕТУ 03-02-97);

- утримання та експлуатації 69 державних еталонів (52 державних еталона зберігаються в ННЦ «Інститут метрології», 15 — у ДП «Укрметртестстандарт», 1 — у ДП НДІ «Система», 1 — у ДП «Івано-Франківськстандартметрологія»);

- підвищення ефективності діяльності (забезпечення функціонування) Державної служби єдиного часу та еталонних частот, Державної служби стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів.

Завершено роботи щодо удосконалення Державного первинного еталона одиниці довжини для

рівня рідини ДЕТУ 03-02-97 для потреб метрології, а саме: для передавання одиниці вимірювання рівня рідини робочим еталонам та високоточним ЗВТ з метою забезпечення єдності (простежуваності) та достовірності вимірювань за контролю технологічних процесів і обліку рідин у різних галузях народного господарства України (нафтовій, хімічній, харчовій промисловості, медицині тощо).

Завдяки підтриманню належного функціонування еталонної бази та державних метрологічних служб створено можливості для забезпечення єдності вимірювань, у тому числі за виконання договірних робіт, зокрема:

▼ на державних та вторинних еталонах *повірено, відкалібровано та атестовано* 7834 вторинних і робочих еталони та ЗВТ, які використовуються державними підприємствами і метрологічними службами центральних органів виконавчої влади, іншими підприємствами й організаціями;

▼ протягом 2014 року від державного первинного еталона одиниць часу та частоти *здійснено передавання одиниць часу та частоти* вторинному еталону та 13 стандартам часу та частоти;

▼ *проведено експертизу документації* на 122 типи стандартних зразків.

Станом на 31.12.2014 до Реєстру державних, первинних і вторинних еталонів одиниць вимірювань *внесено 69 державних та 69 вторинних еталонів*.

ЗВІРЕННЯ ДЕРЖАВНИХ ЕТАЛОНІВ З НАЦІОНАЛЬНИМИ ЕТАЛОНАМИ ІНШИХ ДЕРЖАВ І МІЖНАРОДНИМИ ЕТАЛОНАМИ

Потреба в достовірних, точних, порівнюваних результатах вимірювань та випробувань у промисловому виробництві, торгівлі та суспільстві стрімко зростає. Метрична Конвенція встановила основу для світової системи порівнюваних вимірювань, простежуваних до міжнародних еталонів.

Створення в Україні досконалої державної метрологічної системи, вирішення проблеми підвищення технічного рівня, якості й надійності вітчизняної продукції, забезпечення її конкурентоспроможності неможливі без визнання на міжнародному рівні державних первинних еталонів. Важливим аспектом діяльності національних метрологічних інститутів (ННЦ «Інститут метрології», ДП «Укрметртестстандарт», ДП НДІ «Система», ДП «Івано-Франківськстандартметрологія») є *проведення міжнародних звірень* державних первинних еталонів у рамках Угоди про взаємне визнання національних еталонів, сертифікатів калібрування та вимірювань, які видаються національними метрологічними інститутами (НМІ) (CIPM MRA).

Технічною базою Угоди CIPM MRA є сукупність результатів, які отримуються в ході ключових та додаткових звірень. Ці звірення проводяться регіональними організаціями з метрології: EURAMET (Європейською асоціацією національних метрологічних інститутів) і COOMET (Євро-Азійським співробітництвом державних метрологічних установ). Результати звірень публікуються на сайті Міжнародного бюро з мір та вагів (BIPM) і зберігаються в базі даних ключових звірень

(KCDB). Отже, Угода CIPM MRA дозволяє шляхом участі в міжнародних звіреннях встановити ступінь еквівалентності державних первинних еталонів з еталонами інших держав і міжнародними еталонами, а також задекларувати калібрувальні та вимірювальні можливості (СМС) державних первинних еталонів у Додатку С в KCDB (<http://kcdb.bipm.org>).

Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність» (частина 6 статті 9) регламентовано, що з метою забезпечення визнання на міжнародному рівні державних еталонів метрологічні характеристики державних еталонів повинні підтверджуватися шляхом їх звірення з відповідними національними еталонами інших держав.

Звірення державних еталонів сприятиме забезпеченню їх міжнародного визнання, а також декларуванню їх калібрувальних та вимірювальних можливостей (СМС) у Додатку С в KCDB. Це забезпечить Уряд України надійною технічною основою для укладання угод, пов'язаних з міжнародною торгівлею.

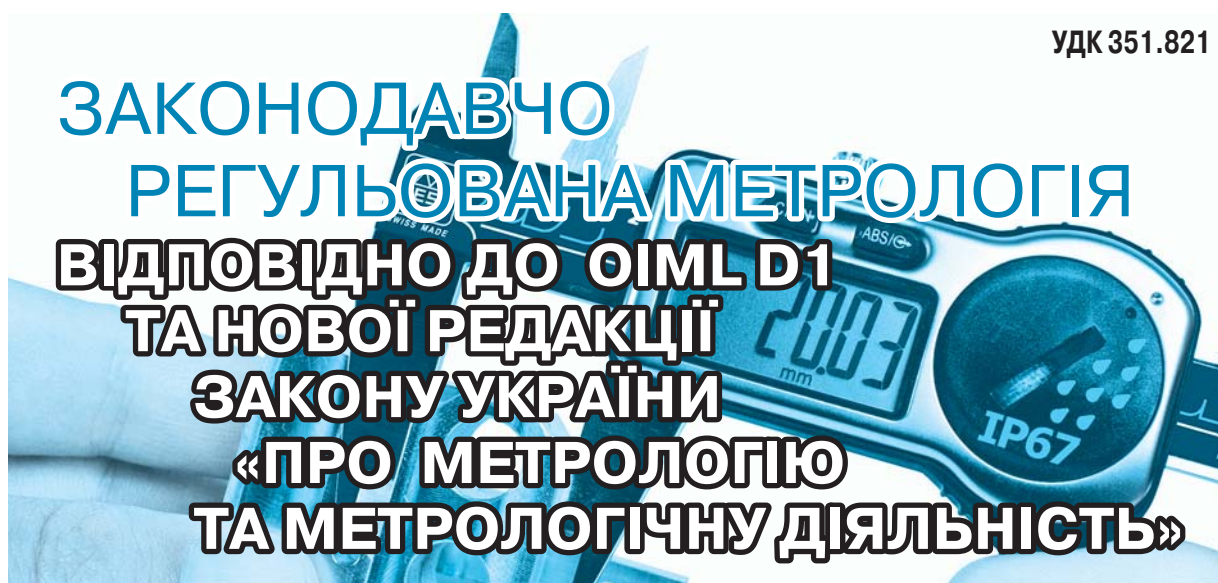
У 2014 році звірення державних еталонів проводилися відповідно до наказу Міністерства економічного розвитку і торгівлі України від 26.09.2014 № 1160 «Про внесення змін до Плану заходів, що здійснюються за рахунок коштів за бюджетною програмою «Виконання програми «Сприяння взаємній торгівлі шляхом усунення технічних бар'єрів у торгівлі між Україною та Європейським Союзом» у межах частини видатків, передбачених за бюджетною програмою «Реалізація програм допомоги Європейського Союзу» та отриманих від Європейського Союзу в рамках виконання Угоди про фінансування програми «Сприяння взаємній торгівлі шляхом усунення технічних бар'єрів у торгівлі між Україною та Європейським Союзом» загальним запланованим обсягом фінансування 390,0 тис. грн.

Виконано роботи із проведення звірень державних первинних еталонів, які зберігаються в ННЦ «Інститут метрології» (ДЕТУ 02-02-14, ДЕТУ 02-04-99, ДЕТУ 11-10-13) з національними еталонами інших держав і міжнародними еталонами: складено та погоджено Технічні протоколи проведення звірень; проведено вимірювання характеристик еталонів, опрацювання результатів вимірювань у ННЦ «Інститут метрології», складено бюджети похибок та невизначеностей, проведено вимірювання характеристик еталонів порівняння в ННЦ «Інститут метрології» та в лабораторіях країн-учасників звірень (РГП «КазИнМетр», Казахстан, ФДУП «ВНИИОФИ, Росія»). За результатами вимірювань на державних первинних еталонах у рамках звірень підготовлені проекти СМС-рядків для цих еталонів.

Станом на 31.12.2014 у базі даних, що зберігається і є доступною на web-сторінці BIPM, розміщено 223 СМС-рядки України за такими видами вимірювань:

- ▶ акустика, ультразвук та вібрація — 23 рядки;
- ▶ довжина та кут — 25 рядків;
- ▶ кількість речовин — 24 рядки;
- ▶ час та частота — 30 рядків;
- ▶ маса та пов'язані з нею величини — 9 рядків;
- ▶ електрика та магнетизм — 53 рядки;
- ▶ іонізуювальні випромінювання — 15 рядків;
- ▶ термометрія — 44 рядки. ■

УДК 351.821



Ю. Кузьменко, заступник генерального директора з метрології та наукової діяльності,
С. Черепков, кандидат технічних наук, директор Науково-технічного інституту метрологічної служби України,
Л. Несвідоміна, начальник сектору,
І. Потоцький, заступник начальника науково-технічного відділу загальної та законодавчої метрології,
ДП «Укрметрестандарт», м. Київ

У статті розглянуто поняття «законодавчо регульована метрологія» відповідно до OIML D1 [1], проаналізовано елементи законодавчо регульованої метрології з огляду на нову редакцію Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [2], розглянуто зміни, що внесені цим законом. Стаття актуальна, має загальний концептуальний характер і розрахована на широке коло фахівців-метрологів.

The article deals with the concept of «legal metrology» according to OIML D1 [1], analyzed elements of legal metrology in view of the new Law of Ukraine «On metrology and metrological activity» [2], covers changes that made this law. Article is relevant, has a general conceptual character and intended for a wide range of metrology experts.

Ключові слова: законодавчо регульована метрологія, метрологічна діяльність, засоби вимірювальної техніки, калібрування, вимірювання.
Keywords: legal metrology, metrological activities, measuring instruments, calibration, measurement.

Потреба в національних законах з питань метрології зростає відповідно до більшої участі держав у транснаціональних, регіональних і міжнародних торговельних угодах, які базуються на положеннях цих законів, що відповідають основоположним національним вимогам до вимірювань [1].

Вступ України до Світової організації торгівлі (СОТ) передбачає прийняття законів, гармонізованих з європейськими (міжнародними) вимогами, значення яких зростає за умов глобалізації ринку.

Згідно з [1] усі законодавчі аспекти метрології можуть бути зосереджені в одному законодавчому акті, або прийматися низкою законодавчих актів, що регулюють окремі аспекти метрології, наприклад, законів про одиниці вимірювання, що допускаються до застосування, простежуваність, засоби вимірювальної техніки тощо.

Нова редакція Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [2], що набуде чинності 01.01.2016, (Закону) регулює відносини, що виникають у процесі провадження метрологічної діяльності.

Термінологічна складова Закону значною мірою гармонізована з міжнародними, європейськими вимогами, а, зважаючи на те, що переважна більшість термінів у метрології приймається за угодою, це має дуже велике значення. У статті 1 Закону надано визначення термінам «метрологічна простежуваність (простежуваність)», «калібрування», «еталон», «засоби вимірювальної техніки» (ЗВТ), «категорія законодавчо регульованих ЗВТ», «перевірка ЗВТ» тощо відповідно до Міжнародного словника основних і загальних термінів у метрології (VIM) [3], Міжнародного словника термінів у законодавчо регульованій метрології (VIML) [4] та [1], що має принциповий характер, оскільки з визначень випливають види діяльності, організаційні структури тощо. Разом з тим визначення поняття «законодавчо регульована метрологія» доцільно надати у підзаконному нормативно-правовому акті, а також регламентувати, які види діяльності до неї належать. Зупинимось на цих питаннях більш детально.

«Законодавчо регульована метрологія» (legal metrology) згідно з [4] — це «практика і процес

застосування в метрології законодавчої та нормативної баз та їх виконання». Поняття «законодавча метрологія» (legal metrology), визначення якому надано в ДСТУ 2681 [5] і застосовують у державній метрологічній системі, на відміну від міжнародного, не включає «діяльності» і обмежене лише законодавчими актами, правилами, вимогами та нормами.

Законодавчо регульована метрологія відповідно до [1] включає всі види діяльності, на які поширюються встановлені в законодавчому порядку вимоги до:

- вимірювань;
- одиниць вимірювань;
- засобів вимірювань;
- методів вимірювань.

Аналогічну норму, за виключенням «методів вимірювання» (оскільки «вимірювання» передбачають і «методи вимірювання»), зазначено у статті 3 Закону.

Ці види діяльності, здійснювані урядовими органами влади чи від їх імені, спрямовані на забезпечення відповідного рівня довіри до результатів вимірювань у сфері, що регулюється державою. І роль уряду, згідно з [1], полягає у

- забезпеченні необхідних умов для досягнення довіри суспільства до результатів вимірювань;
- сумісності національних і міжнародних вимог;
- приєднанні до угод про взаємне визнання.

Законодавчо регульована метрологія згідно з [1] включає чотири основні види діяльності:

- ♦ встановлення законодавчих вимог;
- ♦ контроль (оцінка) відповідності товарів і видів діяльності, що підпадають під регулювання;
- ♦ нагляд за товарами і видами діяльності, що підпадають під регулювання;
- ♦ створення інфраструктури, необхідної для забезпечення простежуваності результатів вимірювання у регульованій сфері.

Для розгляду законодавчо регульованої метрології розроблено структурну схему, виділено елементи та показано взаємозв'язок цих елементів (рис. 1).

Об'єкти законодавчо регульованої метрології:

► узаконені одиниці вимірювання. Згідно зі статтею 5 Закону в Україні застосовують одиниці вимірювання Міжнародної системи одиниць (SI), прийнятої Генеральною конференцією з мір та вагів (CGPM) і рекомендованої Міжнародною організацією законодавчої метрології (OIML). Центральний орган виконавчої влади у сфері метрології, що забезпечує формування державної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності, (ЦОВМ-Ф) встановлює

визначення основних одиниць Міжнародної системи одиниць (SI), похідних одиниць SI, десятикратних і частинних від одиниць SI, дозволених позасистемних одиниць, а також позначення та правила їх написання;

► законодавчо регульовані засоби вимірювальної техніки (стаття 8 Закону). Нововведеннями Закону є те, що у статті 1 Закону дано визначення поняттю «категорія законодавчо регульованих ЗВТ». Перелік категорій законодавчо регульованих ЗВТ, що підлягають періодичній повірці, встановить Кабінет Міністрів України (стаття 17 част. 2 Закону). Міжповірочні інтервали таких ЗВТ встановить ЦОВМ-Ф, а порядок встановлення міжповірочних інтервалів — Кабінет Міністрів України. Визначення переліку категорій законодавчо регульованих ЗВТ є принципово новим у формуванні законодавчо регульованої сфери і відповідає міжнародній практиці;

► результати вимірювань (стаття 7 Закону) у сфері законодавчо регульованої метрології (стаття 3 Закону).

Вимоги до об'єктів у законодавчо регульованій сфері встановлені Законом та підзаконними нормативно-правовими актами Центрального органу виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності, та нормативно-правовими актами центральних органів виконавчої влади (ЦОВВ), зокрема:

1) вимоги до одиниць вимірювань — Законом (стаття 5).

2) вимоги до законодавчо регульованих ЗВТ — Законом (стаття 8), технічними регламентами та стандартами, що слугують доказовою базою відповідності технічним регламентам згідно з презумпцією відповідності, що також відповідає європейським директивам «нового підходу», тобто принципи встановлення вимог гармонізовано з європейськими;

3) вимоги до вимірювань — Законом (стаття 7). Результати вимірювання в законодавчо регульованій сфері можна використовувати за умови, що відомі відповідні характеристики похибок або невизначеності вимірювань. Методики вимірювань (МВ) у сфері законодавчо регульованої метрології, що є обов'язковими до застосування, встановлюватимуть у нормативно-правових актах ЦОВВ або нормативних документах, на які є посилання в цих нормативно-правових актах.

Формування структури нормативно-правових актів у законодавчо регульованій сфері відповідає міжнародній практиці, коли на найвищому рівні —

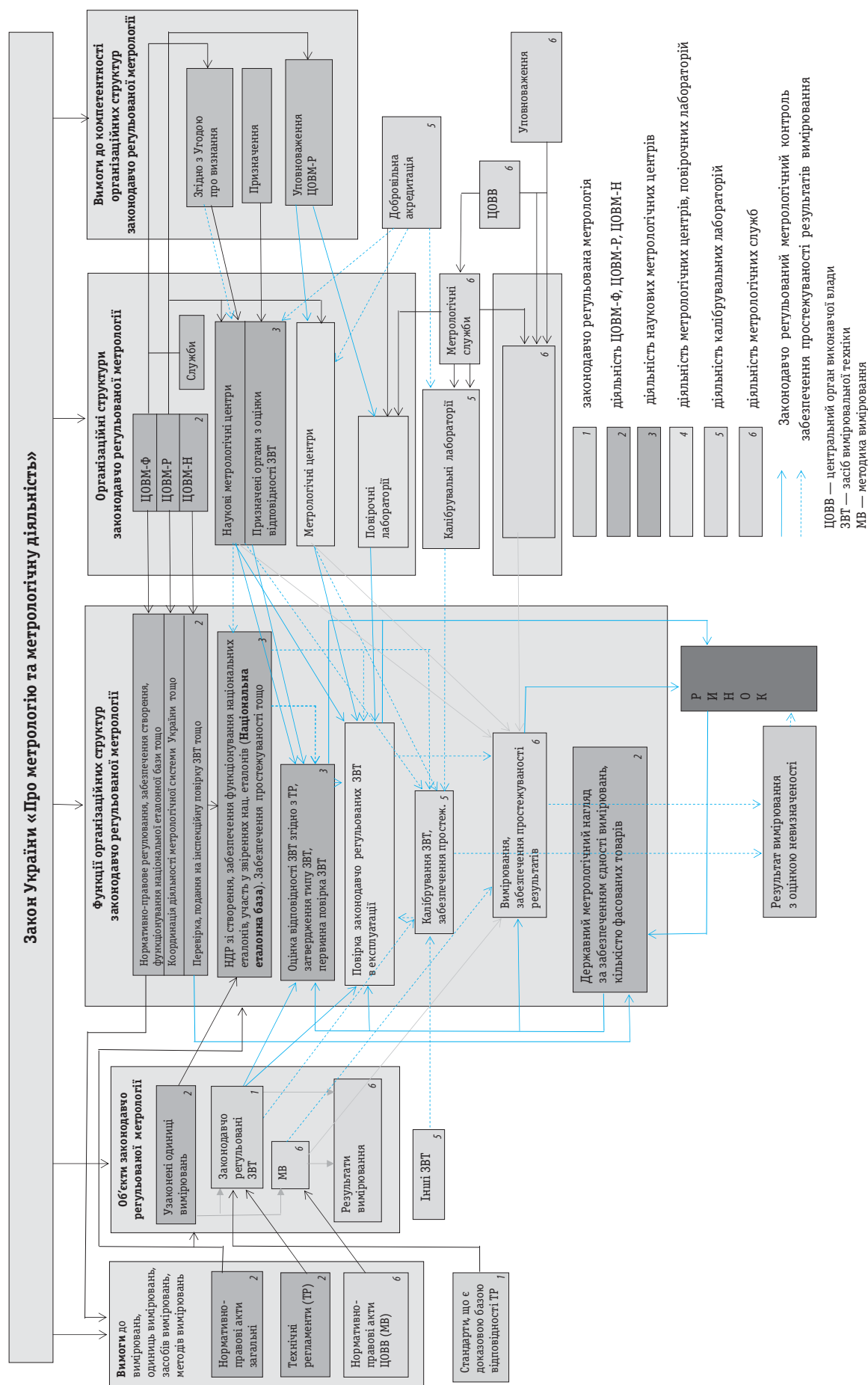


Рис. 1. Структура законодавчо регульованої метрології.

Fig. 1. Structure of legal metrology.

Закон (в Європейських країнах — Директива на вимірювальні прилади [6]), підзаконні нормативно-правові акти мають або загальний характер, або стосуються вимог щодо конкретних категорій законодавчо регульованих ЗВТ (технічні регламенти), наприклад [7].

Організаційні структури у сфері законодавчо регульованої метрології

Структура метрологічної системи України відповідно до [1] включає:

- 1) національну метрологічну службу;
- 2) нормативно-правову базу, у тому числі законодавчі акти, технічні регламенти, інші нормативно-правові акти, що регулюють відносини у сфері метрології та метрологічної діяльності. Нововведенням Закону є технічні регламенти та розроблення нормативно-правових актів, що мають загальний характер (наприклад, порядок зберігання та застосування національних еталонів, перелік категорій законодавчо регульованих ЗВТ, порядок проведення повірки законодавчо регульованих ЗВТ тощо);
- 3) національну еталонну базу та систему передавання одиниць вимірювання. Є зміни щодо віднесення до національних еталонів, у визначенні поняття «еталон» (регламентовано представлення результатів вимірювання еталоном з оцінкою невизначеності) тощо;
- 4) систему добровільної акредитації калібрувальних лабораторій та систему акредитації випробувальних лабораторій, органів з оцінки відповідності у випадках, визначених Законом та іншими законами;
- 5) навчальні заклади, науково-дослідні установи, що поширюють знання та досвід у сфері метрології та метрологічної діяльності.

Стосовно національної метрологічної служби, що здійснює діяльність у законодавчо регульованій сфері, Законом внесено також такі зміни:

▲ регламентовано структуру національної метрологічної служби;

▲ поділ на Державну метрологічну службу та метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій, законодавчо закріплений раніше, наразі не регламентовано;

▲ відповідно до покладених функцій та повноважень спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади у сфері метрології (ЦОВМ) розділено на:

1. центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності (ЦОВМ-Ф);

2. центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері метрології та метрологічної діяльності (ЦОВМ-Р);

3. центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері метрологічного нагляду (ЦОВМ-Н);

▲ поділу на національний метрологічний центр та інші метрологічні центри не передбачено. Наукові метрологічні центри згідно із Законом визначає Кабінет Міністрів України з числа державних підприємств, що належать до сфери управління ЦОВМ-Р. При цьому цілий ряд функцій наукових метрологічних центрів закріплено безпосередньо Законом;

▲ перелік організаційних структур доповнено органами з оцінки відповідності ЗВТ та повірочними лабораторіями.

Разом з тим «вимірювальні лабораторії», «калібрувальні лабораторії», не виділені як окремі організаційні структури, умовно можна віднести до елементу «метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, інших державних органів, підприємств і організацій» (метрологічні служби) (на рис. 1 вимірювальні лабораторії позначено пус- тим прямокутником (6)).

Функції організаційних структур (види діяльності), через які реалізуються дотримання вимог у законодавчо регульованій сфері, встановлені Законом:

1) ЦОВМ-Ф (стаття 10 Закону): нормативно-правове регулювання у сфері метрології та метрологічної діяльності, організація проведення фундаментальних досліджень у сфері метрології, забезпечення функціонування та вдосконалення національної еталонної бази, представництво та участь у міжнародних організаціях з метрології тощо;

2) ЦОВМ-Р (стаття 11 Закону): координація діяльності щодо забезпечення функціонування метрологічної системи України; організація функціонування та вдосконалення національної еталонної бази; уповноваження на проведення повірки законодавчо регульованих ЗВТ тощо;

3) ЦОВМ-Н (стаття 24 Закону): перевірка суб'єктів господарювання, подання ЗВТ на інспекційну повірку, перевірка кількості фасованого товару в упаковці, дії у разі виявлених порушень тощо;

4) наукових метрологічних центрів (стаття 12 Закону):

- 4.1 Значно ширшими, новими законодавчо закріпленими функціями наукових метрологічних центрів є: участь у розробленні проектів

технічних регламентів, інших нормативно-правових актів; координація та науково-методичне супроводження робіт із забезпечення єдності вимірювань за відповідними напрямками діяльності; оцінка відповідності ЗВТ, ведення інформаційного фонду за напрямками діяльності, здійснення міжнародного співробітництва з питань, що належать до їх компетенції, інші, що регламентуватимуться положеннями про наукові метрологічні центри, затвердженими ЦОВМ-Р;

4.2 Функції, що традиційно здійснюють наукові метрологічні центри, зазнали певних змін, з урахуванням гармонізації до міжнародних вимог, — створення, забезпечення функціонування національних еталонів, участь у звіреннях, забезпечення простежуваності; оцінка відповідності ЗВТ технічним регламентам, у т.ч. затвердження типу ЗВТ та первинна повірка ЗВТ; калібрування ЗВТ; повірка ЗВТ в експлуатації, вимірювання, інші метрологічні послуги.

Державні випробування ЗВТ, державну метрологічну атестацію (метрологічну атестацію) ЗВТ трансформовано в оцінку відповідності ЗВТ. До оцінки відповідності ЗВТ віднесено, «в тому числі, затвердження типу та первинну повірку» (стаття 16 Закону), визначення яким наведено у статті 1 Закону.

Принциповим нововведенням є те, що калібрування ЗВТ як вид метрологічної діяльності приведено у відповідність до міжнародних вимог (визначення поняттю надано у статті 1 Закону). Калібрування ЗВТ (стаття 27 Закону) може здійснюватися як у законодавчо регульованій сфері, так і поза сферою законодавчо регульованої метрології і є добровільним, що відповідає міжнародній практиці [9].

Повірка ЗВТ також має певні зміни щодо регламентації діяльності. Законом встановлено нове визначення терміну «повірка ЗВТ» та регламентовано визначення таких видів повірки як «інспекційна повірка ЗВТ», «первинна повірка ЗВТ», «періодична повірка ЗВТ», «позачергова повірка ЗВТ» та випадки, коли встановлюється позачергова повірка (стаття 1 Закону).

Нововведенням є те, що

▼ «повірка» у визначенні не має слова «контроль» у явному виді (тобто функції регулювання) та має слово «маркування».

Примітка. Згідно з [4] до маркування відносять знак затвердження типу ЗВТ, повірочне тавро, захисну марку та знак непридатності [11].

Ці питання доцільно регламентувати в підзаконних нормативно-правових актах та ДСТУ 2681;

▼ повірка може застосовуватися як у законодавчо регульованій сфері, так і поза сферою законодавчо регульованої метрології, в останньому випадку повірка є добровільною.

Примітка. У міжнародній практиці поза сферою законодавчо регульованої метрології застосовують термін «метрологічне підтвердження», що регламентовано ISO 10012 [12] [8];

▼ уповноваження на проведення повірки здійснюється стосовно законодавчо регульованих ЗВТ, що перебувають в експлуатації;

5) Служб єдиного часу та еталонних частот, стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів, стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів (Служб) (стаття 13 Закону). Функції (основні види діяльності) визначаються відповідними Положеннями, затвердженими Кабінетом Міністрів України;

6) метрологічних служб ЦОВВ, інших державних органів, підприємств та організацій (метрологічних служб) — стаття 14 Закону, згідно з якою вони «здійснюють метрологічні послуги у визначених сферах діяльності». Функції метрологічних служб встановлюють положення про ці служби, затверджені керівниками організацій, а типові положення про метрологічні служби затверджує ЦОВМ-Ф. Що саме належить до «метрологічних послуг» доцільно регламентувати у цих документах.

Державні підприємства, що належать до сфери управління ЦОВМ-Р, (метрологічні центри) згадуються стосовно виконання таких функцій, як повірка законодавчо регульованих ЗВТ в експлуатації (за умови уповноваження) (стаття 18 Закону); калібрування ЗВТ, за умови акредитації національним органом України з акредитації або наявності документально підтвердженої простежуваності до національних еталонів, еталонів інших держав або міжнародних еталонів (стаття 27 част. 2 Закону). Функції метрологічних центрів доцільно регламентувати у підзаконних нормативно-правових актах.

7) Законом визначено, що оцінку відповідності законодавчо регульованих ЗВТ проводять «призначені органи з оцінки відповідності» (стаття 16 Закону). Критерії визначення органів з оцінки відповідності ЗВТ та порядок їх призначення доцільно регламентувати у підзаконних нормативно-правових актах, зокрема, у технічних регламентах. Важливим при цьому є те, що відповідно до Порядку здійснення процедури призначення органів з оцінки відповідності продукції, процесів і послуг вимогам технічних регламентів [10] призначення органів з оцінки відповідності базується на їх попередній акредитації національним органом України з акредитації.

8) Функції повірочних лабораторій, калібрувальних лабораторій впливають із визначення цих термінів.

Повірочні лабораторії можуть здійснювати повірку законодавчо регульованих ЗВТ в експлуатації за умови уповноваження.

Калібрувальні лабораторії можуть здійснювати калібрування ЗВТ за умови акредитації національним органом України з акредитації або наявності документально підтвердженої простежуваності до національних еталонів, еталонів інших держав або міжнародних еталонів.

Вимірювання як метрологічну діяльність (процес) регламентовано у статті 7 част. 1 Закону. Повноваження центральних органів виконавчої влади, інших державних органів уповноважувати підприємства та організації, їх структурні підрозділи та фізичних осіб — підприємців (зазначені структури можна назвати «вимірювальні лабораторії») на проведення певних вимірювань, не пов'язаних з оцінкою відповідності продукції, процесів, послуг, визначаються законом (згідно зі статтею 7 част. 4 Закону). Ще раз зазначимо, що методики вимірювань у сфері законодавчо регульованої метрології, які є обов'язковими до застосування, визначаються у нормативно-правових актах або нормативних документах, на які є відповідні посилавання у нормативно-правових актах. Результати вимірювань повинні бути доступні юридичним і фізичним особам, які мають щодо них обґрунтований інтерес.

Метрологічний нагляд (як зворотний зв'язок управління у законодавчо регульованій метрології) здійснюється на ринку України стосовно дотримання вимог до об'єктів законодавчо регульованої метрології (законодавчо регульованих ЗВТ), а також стосовно кількості фасованих товарів в упаковках. Питанням державного метрологічного нагляду присвячено розділ V (статті 20—26) Закону. Законом закріплено відокремлення функцій з нагляду від інших (у тому числі підприємницьких функцій), як того вимагає законодавство щодо основних засад державного контролю і нагляду.

Компетентність і право здійснювати діяльність (метрологічні роботи) у законодавчо регульованій метрології стосовно зазначених вище організаційних структур можуть бути забезпечені:

* процедурою участі у звіреннях національних еталонів та оцінки системи менеджменту якості, згідно з Міжурядовою угодою Метричної Конвенції [13], для здійснення калібрування ЗВТ, забезпечення простежуваності, оцінки відповідності зако-

нодавчо регульованих ЗВТ, повірки ЗВТ (стосовно наукових метрологічних центрів);

* уповноваженням, відповідно до статті 18 Закону. Для проведення повірки законодавчо регульованих ЗВТ в експлуатації науковим метрологічним центром, метрологічним центром та повірочним лабораторіям необхідно отримати свідоцтво про уповноваження. Визначення терміну «уповноваження» та критерії, яким повинні відповідати зазначені організаційні структури для здійснення цього виду метрологічних робіт (їх згідно із Законом встановлює ЦОВМ-Ф), доцільно регламентувати у підзаконних нормативно-правових актах.

* у цілому, добровільною акредитацією калібрувальних лабораторій ([1] та пункт 7).

Уповноваження підприємств і організацій, їх структурних підрозділів та фізичних осіб — підприємців на проведення певних видів вимірювання, не пов'язаних з оцінкою відповідності продукції, процесів та послуг, у сфері законодавчо регульованої метрології (вимірювальних лабораторій) визначається законом (стаття 7 част. 4 Закону). У цьому випадку маються на увазі так звані галузеві закони, що регламентують роботу у сферах управління певних ЦОВВ. З метою регламентації уповноваження вимірювальних лабораторій, що не належать до сфери управління того чи іншого ЦОВВ, доцільно розробити окремий закон.

Отримання порівнюваних та простежуваних результатів вимірювання у законодавчо регульованій метрології (синя штрихова лінія на рис. 1) може бути забезпечено згідно із Законом:

♦ взаємним визнанням національних еталонів за результатами міжнародних звірень відповідно до Угоди про взаємне визнання [13], до якої приєдналася Україна; застосуванням еталонів з оціненою невизначеністю;

♦ повіркою, що може базуватися на даних, отриманих за калібрування ЗВТ;

♦ калібруванням ЗВТ та добровільною акредитацією калібрувальних лабораторій;

♦ застосуванням методик вимірювань (що передбачають надання результатів вимірювання з оцінкою невизначеності).

Примітка 1. Якщо передбачено надати результат прямих вимірювань законодавчо регульованим ЗВТ з оцінкою невизначеності, то під час повірки ЗВТ необхідно провести і ще калібрування ЗВТ. Блок-схему такого процесу розглянуто у [8].

Міжнародне і глобальне визнання порівнюваних результатів вимірювання може бути отримане лише шляхом простежуваності цих результатів

до стабільних у часі первинних еталонів і реперів до Міжнародної системи одиниць SI [14].

Довіра до заяв стосовно відповідності, а також до самої акредитації повністю залежить від визначення на міжнародному рівні простежуваних і порівнюваних результатів вимірювань і випробувань [14].

«Хоча сама акредитація калібрувальних лабораторій являє собою оцінку відповідності, калібрування засобів вимірювальної техніки та вимірювальних систем, безумовно, не є оцінкою відповідності (Резолюція 11 22 CGPM) [15]. Тим не менше, незалежна оцінка третьою стороною, на основі стандарту ISO/ IEC 17025 [16], є важливим кроком у створенні прозорості, такої, що заслуговує довіри, і надійної мережі лабораторій, через які усі, хто зацікавлені в отриманні надійних результатів вимірювань, можуть отримати доступ до простежуваних результатів вимірювання» [14].

Довіра до результатів вимірювання, точні вимірювання і встановлення простежуваності не є самоціллю, вони обслуговують потреби промисловості, торгівлі і суспільства.

Наприклад, оборот світової торгівлі природним газом у 2004 році склав 993 мільярда доларів США. Невизначеність вимірювань в 1 % у цій галузі еквівалентна 10 мільярдам доларів за рік [14].

У загальних висновках і рекомендаціях ВІРМ зазначено: «Стійка конкурентоспроможність та інноваційна діяльність в усіх галузях вимагають точних вимірювань та випробувань з установленням простежуваності до стабільних у часі опорних еталонів... Необхідно приділяти більше уваги створенню національних метрологічних інститутів у країнах, що розвиваються. Ця політика повинна розглядатися як фундамент розвитку економіки і підвищення рівня життя...» [14].

Із проведеного аналізування елементів законодавчо регульованої метрології впливають **такі пропозиції:**

1) З метою приведення термінологічної основи метрологічної діяльності в Україні у відповідність до міжнародних норм, слід впровадити в Україні офіційні переклади Міжнародного словника основних і загальних термінів в метрології (VIM) [3] та Міжнародного словника термінів у законодавчо регульованій метрології (VIML) [4];

2) Щодо структур у законодавчо регульованій метрології в технічних регламентах доцільно регламентувати діяльність «призначених органів з оцінки відповідності»;

3) Для забезпечення уповноваження вимірювальних лабораторій ЦОВВ доцільно розробити га-

лузеві нормативно-правові акти (законови). Для забезпечення уповноваження вимірювальних лабораторій, що не належать до сфери управління ЦОВВ, доцільно розробити окремий закон.

4) Доцільно, щоби питаннями законодавчо регульованої метрології поглиблено займався в цілому один у країні науковий метрологічний інститут законодавчої метрології, а питаннями наукової метрології — науковий метрологічний інститут наукової метрології, як передбачено в [1] (наприклад, ДП «Укрметртестстандарт» та ННЦ «Інститут метрології» відповідно).

5) Щодо функцій у законодавчо регульованій метрології в підзаконних нормативно-правових актах доцільно визначити:

► в технічних регламентах — види метрологічних робіт, що належать до оцінки відповідності ЗВТ (процедури або модулі оцінки відповідності);

► в інших нормативно-правових актах — види метрологічних робіт, що належать до «інших послуг».

6) Щодо компетентності і права виконувати функції (метрологічні роботи) у законодавчо регульованій метрології доцільно регламентувати:

◀ критерії, згідно з якими визначаються «призначені органи з оцінки відповідності», порядок призначення цих органів (у технічних регламентах та новому Законі України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності»);

◀ критерії, яким повинні відповідати організаційні структури для здійснення перевірки законодавчо регульованих ЗВТ в експлуатації;

◀ перевірку діяльності організаційних структур у законодавчо регульованій метрології (критерії, процедуру).

ВИСНОВКИ


1. Розглянуто поняття законодавчо регульованої метрології відповідно до [1] та нової редакції Закону, розроблено структурну схему законодавчо регульованої метрології та показано взаємозв'язок елементів цієї системи.

2. Запропоновано питання, які доцільно регламентувати в підзаконних нормативно-правових актах.

3. Розглянуто, як забезпечена простежуваність результатів вимірювання згідно із новою редакцією Закону.

4. Розроблену структурну схему можливо використовувати для подальшого аналізування та регламентації метрологічної діяльності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. OIML D 1:2012 — Considerations for a Law on Metrology. (Положення для закону про метрологію) () — https://www.oiml.org/en/files/pdf_d/d001-e12.pdf.
2. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» (Law of Ukraine «On metrology and metrological activity») <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>.
3. International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM-3) Міжнародний словник основних і загальних термінів в метрології — <http://www.oiml.org/publications/V/V002-200-e10.pdf>.
4. OIML V 1 International vocabulary of terms in legal metrology (VIML, Edition 2013) (Міжнародний словник термінів у законодавчо регульованій метрології. Видання 2013 — https://www.oiml.org/en/files/pdf_v/v001-ef13.pdf.
5. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення (DSTU 2681-94. Metrology. Terms and definitions).
6. Директива 2014/32/ЕС Європейського парламенту і Ради Європи на вимірювальні прилади (Directive 2014/32/EU of the European Parliament and of the Council of Europe for measuring instruments).
7. Директива 2014/31/ЕС Європейського парламенту і Ради Європи на неавтоматичні зважувальні прилади (Directive 2014/31/EU of the European Parliament and of the Council of Europe for non-automatic weighing instruments).
8. Калибрование и верификация: две процедуры, имеющие сравнимые объекты и результаты. Бюллетень OIML, январь, 2001 (The calibration and verification: Two procedures having a comparable results and objects. OIML Bulletin, January 2001).
9. Г. Коваль, С. Проненко, Л. Несвідоміна Законодавство України у галузі метрології: гармонізація з європейськими законами // Стандартизація, сертифікація, якість (G. Koval, S. Pronenko, L. Nesvidomina Legislation of Ukraine in the metrology field: harmonization with European laws // Standardization, certification, quality). — 2006. — №3. — С/Р. 45—51.
10. Порядок здійснення процедури призначення органів з оцінки відповідності продукції, процесів і послуг вимогам технічних регламентів (The order of appointment procedures conformity assessment bodies of products, processes and services requirements of technical regulations) <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/59-2007-п>.
11. Величко О.М. Схемы понятий для международного словаря законодательной метрологии; 3 и МП (O. Velychko Scheme concepts for international dictionary of legal metrology). — 2013 — № 5 — с/р. 2—4.
12. ISO 10012:2003 Measurement management systems. Requirements for measurement processes and measuring equipment (Системи управління вимірюваннями. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального оснащення).
13. «Угода про взаємне визнання національних еталонів, сертифікатів калібрування та вимірювань, які видаються національними метрологічними інститутами» (Mutual recognition agreement of national measurement standards, calibration certificates and measurement issued by National Metrology Institutes).
14. Звіт секретаря Міжнародного бюро з мір та вагів (BIPM) для 23 Генеральної конференції мір та вагів (CGPM) (The report of Secretary of the International Bureau of Weights and Measures for 23 General Conference on Weights and Measures) <http://temperatures.ru/pdf/CIPM-report2007.pdf>
15. Резолюція 11 двадцять другої Генеральної Конференції з мір та вагів «Зв'язок між національними метрологічними інститутами і національними (визнаними) органами з акредитації» (Resolution 11 the twenty second General Conference on Weights and Measures «Communication between National Metrology Institutes and national Accreditation bodies (recognized)»).
16. ISO/IEC 17025:2005 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій). 

Отримано / received: 12.01.2015.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н. О.М. Самойленком (Україна).
D. Sc. (Techn.) O. M. Samoylenko, Ukraine, recommended this article to be published.

УДК 658.562:681.121

ВТОРИННИЙ ЕТАЛОН ОДИНИЦЬ ОБ'ЄМУ ТА ОБ'ЄМНОЇ ВИТРАТИ ГАЗУ В ДІАПАЗОНІ МІКРОВИТРАТ НА БАЗІ УСТАНОВКИ ЕКВІВАЛЕНТНОГО ВИТІСНЕННЯ РІДИНИ

І. Петришин, доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник;

Т. Присяжнюк, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник;

О. Бас, науковий співробітник,

ДП «Івано-Франківськстандартметрологія»

Представлено розроблені фізична, математична та метрологічна моделі вторинного еталона об'єму та об'ємної витрати газу в діапазоні мікровитрат. Для його створення за умов обмежених фінансових ресурсів застосовано адаптивну технологію побудови еталонів. З метою фізичної реалізації еталона обрано установку еквівалентного витіснення рідини. Проведено ряд ітеративних удосконалень фізичної моделі, реалізація яких дала можливість усунути більшість недоліків типової конструкції установки. На основі математичної моделі встановлено основні джерела невизначеності вимірювань.

The paper describes the developed physical, mathematical and metrological models secondary standards gas volume and volume flow rate in the range of microrates. To create a standards in terms of financial resources applied adaptive technology of standards. In order physical implementation of standard selected equivalent displacement liquid prover. A number of iterative improvements of the physical model, whose implementation has enabled to eliminate most of the shortcomings of typical construction installation. On the basis of mathematical model established the main sources of uncertainty.

Ключові слова: вторинний еталон, мікровитрати, установка еквівалентного витіснення, дивертор, невизначеність.

Keywords: secondary standard, microflowrates, equivalent fluid displacement prover, diverter, uncertainty.

Зважаючи на невинну тенденцію зростання вартості природного газу, а також на те, що значна частина його споживання за сучасних умов мінімізації витрат промислових споживачів припадає на комунально-побутову сферу, питання достовірності та точності обліку побутовими лічильниками газу в діапазоні мінімальних витрат вимагає до себе підвищеної уваги. Крім того, вимірювання витрат газів в діапазоні від $2,78 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$ (1 л/год) необхідне за проведення метрологічної атестації газоаналітичних засобів вимірювальної техніки, виготовлення газових сумішей, повірки та калібрування ламінарних та інших типів витратомірів, у технологічних процесах наплення та епітаксії. Малі витрати газів також контролюються за автоматизації технологічних процесів у хімічній, фармацевтичній та електронній галузях промисловості.

Необхідно відзначити, що на сьогодні установки для повірки лічильників газу не мають можливості отримати одиниці об'єму та об'ємної витрати газу в діапазоні мікровитрат від первинного або вторинних еталонів, оскільки попередня редакція державної повірочної схеми [1] регламентує процедуру передавання одиниці об'ємної витрати від нижньої межі $4,44 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ (16 л/год). Створення вторинного еталона в діапазоні мікровитрат необхідне для можливості проведення міжнародних звірень з іншими країнами, які мають еталони в діапазоні мікровитрат [2],



І. Петришин



Т. Присяжнюк



О. Бас

та розширення кількості СМС-рядків вимірювання одиниці об'ємної витрати газу в базі даних Міжнародного Бюро з мір та вагів.

У ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» тому й розроблено технічне завдання на створення вторинного еталона одиниць об'єму газу від $0,003$ до $0,016 \text{ м}^3$ та об'ємної витрати газу в діапазоні від $2,78 \cdot 10^{-7}$ до $8,33 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ (від 1 до 300 л/год). Верхню межу одиниці об'ємної витрати вибрано з метою забезпечення можливості проведення повірки та калібрування еталонних лічильників барабанного типу, які використовуються в складі установок для повірки побутових лічильників газу.

Щодо питання технічної реалізації еталона, то, з досвіду створення в ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» вторинного еталона на базі установки еквівалентного витіснення рідини [3, 4], прийнято рішення взяти за основу аналогічний тип установки. Принцип дії такої установки передбачає використання опосередкованого методу вимірювання об'ємної витрати газу, який полягає в тому, що процес здійснюється через вимірювання одиниць маси і часу, які на певний момент можуть бути вимірені з високою точністю у широкому діапазоні.

Зважаючи на апіорно обмежені фінансові ресурси, постало питання створення вторинного еталона з точністю на рівні кращих міжнародних зразків із застосуванням нових методів та технологій за умов мінімізації економічних витрат. З цією метою застосовано так званий адаптивний метод та технологію побудови еталонів [5]. Суть методу полягає в такому: на основі апіорної інформації, отриманої за результатами аналізу наукових досягнень у певному напрямку досліджень, обирають принцип відтворення одиниць вимірювання та формують базову структурну схему еталона. Методом ітеративного удосконалення структурної, функціональної та принципової схем еталона розробляють його фізичну модель, на основі якої формується математична модель (рівняння вимірювання) і встановлюються джерела невизначеності та її межі.

Для розроблення фізичної моделі вторинного еталона проаналізовано принцип дії установки для відтворення значення об'ємної витрати газу методом еквівалентного витіснення рідини, який полягає у зважуванні маси рідини, яка витісняється еквівалентним об'ємом газу, який пройшов через засіб вимірювання, що повіряється або калібрується. При цьому визначення об'ємної витрати газу проводиться з урахуванням густини рідини та часу її витіснення. Попередній аналіз показав [6], що для установок такого типу залишається проблемою стабіль-

ність відтворення одиниці об'ємної витрати за рахунок зміни гідростатичного тиску рівня стовпа рідини, що витікає, а також обмежений діапазон відтворення витрати. Крім того, зміна рівня рідини в ємності нелінійно впливає на зміну об'ємної витрати. Для виключення цього впливу в установках такого типу застосовується або регулятор витрати [4], або стабілізатор рівня за умови використання ємності з умовно нескінченним діаметром [7].

У процесі розроблення вдосконаленої конструкції установки еквівалентного витіснення рідини авторами запропоновано ефективний метод виключення впливу зміни гідростатичного тиску стовпа рідини під час проведення заміру — стабілізацію рівня рідини у проміжній ємності за допомогою вертикальної трубки стабільного рівня з конусним розширенням у верхній частині. За проектування проливних установок для повірки лічильників води вимогу встановлення ємності зі стабільним рівнем внесено до переліку обов'язкових технічних умов [8]. У ході реалізації в установці еквівалентного витіснення рідини ємності стабільного рівня виникають певні труднощі, оскільки верхня ємність повинна бути герметичною, оскільки за час проведення повірки до неї повинен потрапити об'єм повітря, що пройшов через лічильник газу. Зважаючи на ряд обмежень, технічна реалізація ємності стабільного рівня, запропонована авторами, полягала у застосуванні встановленого в системі циклічного замкненого контура забору мастила з проміжної ємності та подавання його до зливного трубопроводу (рис. 1). Причому цей внутрішній контур має ряд переваг, за його застосування здійснюється безперервна фільтрація мастила в системі та зменшення вертикального градієнта температури за висотою установки. Замкнений контур розроблено як кільцевий трубопровід, вхід і вихід якого розташовані у проміжній ємності; для перекачування мастила встановлено комплект насосів та мастильних фільтрів, а для зменшення градієнта температури — теплообмінник 10 з примусовим повітряним охолодженням.

На наступному етапі конструювання установки для забезпечення динамічного діапазону об'ємної витрати газу, закладеного в технічному завданні, як задавач та регулятор витрати запропоновано використати набір із дев'яти еталонних сопел, попередньо відкаліброваних на значення об'ємних витрат рідини (мастила), які відповідають 2^n л/год, де n — порядковий номер сопла. За такого підбору сопел забезпечується регулювання витрати з дискретністю $2,77 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$ (1 л/год).

Значення діаметрів еталонних сопел визначалися розрахунковим шляхом, для визначення діаметра

еталонного сопла застосовано формулу:

$$d = \alpha \cdot \sqrt{4 \cdot q / \pi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}}, \quad (1)$$

де α — коефіцієнт витікання сопла, який показує співвідношення теоретично розрахованого значення об'ємної витрати рідини до визначеного експериментально; d — діаметр еталонного сопла, м; q — значення об'ємної витрати рідини, м³/с; g — прискорення вільного падіння, м/с²; h — висота від стабільного рівня мастила в проміжній ємності до еталонного сопла, м.

На рис. 1 наведено гідравлічну схему (а) та конструкцію дивертора (б) вторинного еталона одиниць об'єму газу від 0,003 до 0,016 м³ та об'ємної витрати газу в діапазоні від $2,78 \cdot 10^{-7}$ до $8,33 \cdot 10^{-5}$ м³/с на базі установки еквівалентного витіснення рідини, яка пояснює його принцип дії.

У процесі виготовлення установки суттєво допрацьовано конструкцію дивертора для перенаправлення потоків мастила зі зливної ємності до зважувальної (рис. 1 б). Відомі розроблені конструкції диверторів [9 – 10] для цієї установки мають обмежене застосування. Це обумовлено тим, що установка повинна відтворювати значення об'ємної витрати від $2,77 \cdot 10^{-7}$ м³/с (1 л/год). Отже, у випадку застосування дивертора типової конструкції, за перенаправлення потоку рідини, залишки рідини, маса яких може становити долі грама, які стікають за стінкою ди-

вертора, можуть внести суттєву похибку до результату вимірювання. Тому виготовлений у такому виді дивертор використовується як комплексне рішення, яке забезпечує одночасно вирішення кількох завдань. Дивертор з'єднано з гребінкою еталонних сопел установки за допомогою дев'яти гідравлічних шлангів у відповідності з кількістю еталонних сопел. Еталонні сопла встановлено у гребінці перпендикулярно до зливного трубопроводу з метою зменшення та стабілізації швидкісного напору. Таке технічне рішення, на відміну від типових [11], зумовлює формування струменя потоку не безпосередньо перед дивертором, а у верхній частині гідравлічного шланга. У типовій схемі дивертора авторами виявлено недоліки, оскільки за перенаправлення потоку дивертор повинен сприйняти швидкісний напір потоку, наслідком чого є потрапляння мастила за межі дивертора. Удосконалений дивертор виконано із трьох розподілених елементів: одного рухомого та двох нерухомих. Рухомий елемент дивертора є комплектом гідравлічних шлангів 12, на вході яких встановлено еталонні сопла 11, а на виході — зливні патрубки 13, причому патрубки закріплено на квадратній рамі 14, рух якої забезпечує встановлений двопозиційний симетричний електромагнітний привід 15. Використання гідравлічних шлангів як пружних елементів дало можливість реалізувати

переміщення рухомої частини дивертора. Два нерухомі елементи дивертора 16, 17 закріплені й є складовими частинами зважувальної 4 та зливної 3 ємностей, у результаті чого, за перемикання дивертора і перенаправлення потоку зі зважувальної ємності до зливної, залишки мастила на стінці елемента 16 дивертора містяться безпосередньо у зважувальній ємності.

Отже, реалізовано перехід від умовно високого тиску у проміжній ємності 1, який забезпечений стовпом рідини постійного рівня 10, до низького тиску на виході сопел 11 установки. Таке рішення забезпечує умову неперервності потоку, відсутність швидкісного напору в гідравлічних шлангах дивертора та відсутність розбризкування, тобто залишку мастила на стінках дивертора, що спричиняє недостовірність проведених вимірювань.

Для заповнення проміжної ємності мастилом застосовано типовий шестеренний насос. За його роботи можливі

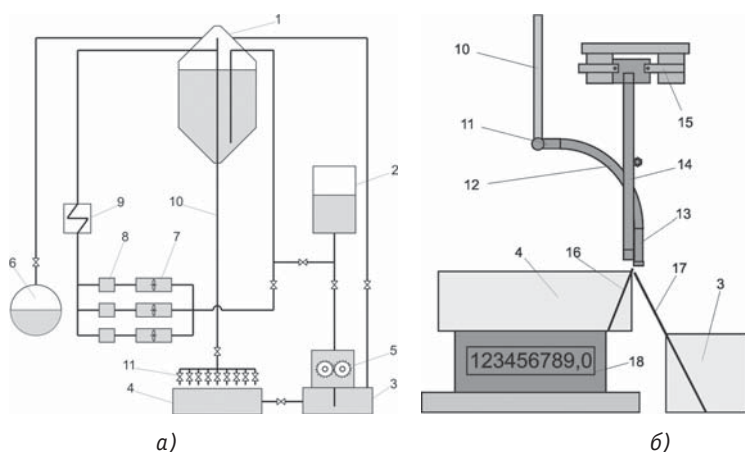


Рис. 1. Гідравлічна схема вторинного еталона (а) та конструкція дивертора (б):

Fig. 1. Hydraulic scheme secondary standards (s) and construction of diverter (b)

- 1 — проміжна ємність, 2 — наповнювальна ємність, 3 — зливна ємність, 4 — зважувальна ємність, 5 — гідравлічний насос, 6 — лічильник газу, 7 — насоси для перекачування мастила та подавання до проміжної ємності, 8 — мастильні фільтри, 9 — теплообмінник з повітряним охолодженням, 10 — вертикальний зливний трубопровід стабільного рівня, 11 — секція еталонних сопел, 12 — гідравлічні шланги, 13 — зливні патрубки, 14 — рама дивертора, 15 — двопозиційний симетричний електромагнітний привід, 16, 17 — нерухомі елементи дивертора, 18 — ваги.

поява повітряних бульбашок та приріст температури у процесі наповнення ємності. Для зменшення цих негативних проявів вирішено встановити додаткову наповнювальну ємність 2 (рис. 1 а). Її встановлено в лінії наповнення проміжної ємності мастилом. Наповнювальна ємність за принципом дії є гідралічним акумулятором [12], тобто вона завжди заповнена повітрям з певним статичним тиском, яке за наповнення ємності стискається і створює додатковий надлишковий тиск. Після перекачування насосом мастила зі зливної ємності до наповнювальної потрібен певний час для його стабілізації. У наповнювальній ємності здійснюється зменшення насичення мастила повітрям, виключається піноутворення та нормується температура мастила, після чого наповнення проміжної ємності здійснюється за допомогою надлишкового тиску наповнювальної ємності. Крім того, наповнювальна ємність у такому виді додатково відіграє роль демпфера пульсацій потоку рідини [13].

На основі фізичної моделі вторинного еталона досліджено впливні фактори та розроблено рівняння вимірювання одиниць об'єму та об'ємної витрати газу. Згідно з принципом дії еталона, на основі балансу мас, об'єм повітря, що перемістився до проміжної ємності V_c , дорівнює об'єму мастила V_M , яке міститься у зважувальній ємності. У такий спосіб, за показаннями прецизійних вагів, можна визначити еквівалентний об'єм мастила V_M , який, з урахуванням виштовхувальної сили за зважування у повітрі згідно з [14] визначається як:

$$V_M = \frac{m_M}{\rho_M} \cdot \frac{1 - \rho_p / \rho_c}{1 - \rho_p / \rho_M}, \quad (2)$$

де m_M — маса робочої рідини (мастила) за показами вагів, кг; ρ_c — густина стандартних зважуваних об'єктів, приймається 8000 кг/м^3 [14]; ρ_p — густина робочого середовища (повітря), кг/м^3 ; ρ_M — густина робочої рідини (мастила), кг/м^3 , яка, з урахуванням температурного розширення, визначається як:

$$\rho_M = \rho_{0M} \cdot (1 + \beta \cdot (293,15 - T_M)), \quad (3)$$

де ρ_{0M} — густина робочої рідини (мастила) за 20°C , кг/м^3 ; β — коефіцієнт теплового розширення робочої рідини (мастила), $1/\text{K}$; T_M — температура робочої рідини (мастила), K .

Згідно з [15] густина повітря визначається так:

$$\rho_p = \frac{0,0034848 \cdot P_H - 0,009 \cdot \phi \cdot e^{0,061 \cdot (T_H - 273,15)}}{T_H}, \quad (4)$$

де P_H — тиск, Па , T_H — температура, K , ϕ — вологість, %, навколишнього середовища (повітря).

Відповідно, з урахуванням балансу мас повітря, яке облікував еталонний лічильник, та повітря, яке перемістилося до проміжної ємності:

$$V_{\text{ЛЧ}} \cdot \rho_p = V_c \cdot \rho_p \quad (5)$$

та рівняння приведення об'єму газу до стандартних умов:

$$V_{\text{ЛЧ}} = V_c \cdot (P_c / T_c) \cdot (T_{\text{ЛЧ}} / P_{\text{ЛЧ}}), \quad (6)$$

де P_c — тиск, Па , T_c — температура, K , робочого середовища (повітря) у верхній ємності; $P_{\text{ЛЧ}}$ — тиск, Па , $T_{\text{ЛЧ}}$ — температура, K , робочого середовища (повітря) у лічильнику газу.

Рівняння вимірювання вторинного еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу після перетворення (2), нехтуючи доданком $\rho_p^2 / (\rho_c \cdot \rho_M)$, з урахуванням (3) — (6), має вид:

$$V_{\text{ЛЧ}} = \frac{P_c}{T_c} \cdot \frac{T_{\text{ЛЧ}}}{P_{\text{ЛЧ}}} \cdot \frac{m_M}{\rho_{0M} \cdot (1 + \beta \cdot (293,15 - T_M))} \times \\ \times \left(1 + \frac{\rho_p}{\rho_{0M} \cdot (1 + \beta \cdot (293,15 - T_M))} \right) \times \\ \times \left(1 - \frac{\rho_{0M} \cdot (1 + \beta \cdot (293,15 - T_M))}{\rho_c} \right). \quad (7)$$

На його основі сформовано метрологічну модель вторинного еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу.

Для визначення метрологічних характеристик еталона розроблено методику метрологічної атестації, згідно з якою визначаються довірчі границі похибки $t_{\Sigma} \cdot S_{\Sigma}$ передавання одиниць об'єму та об'ємної витрати та невизначеності вимірювання за типами А, В, сумарна та розширена.

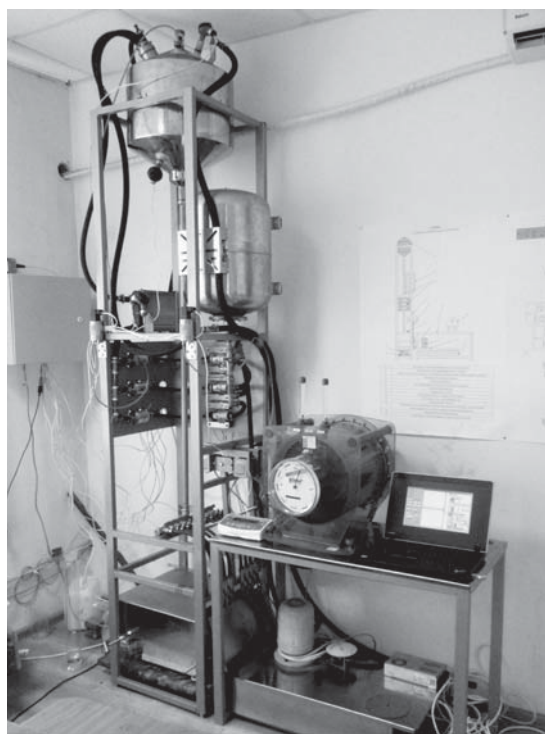


Рис. 2. Зовнішній вид вторинного еталона
Fig. 2. The appearance of secondary standard

Визначення характеристик НСП (θ), СКВ (S) та невизначеностей за типом $A(u_A)$ та $B(u_B)$ передавання одиниці об'єму газу вторинним еталоном виконувалося з урахуванням коефіцієнтів впливу, які подані як частинні похідні формули (7), та результатів атестації відповідних каналів вимірювання фізичних параметрів робочого середовища.

Дослідження з метою визначення довірчих границь сумарної похибки та невизначеності передавання розміру одиниці об'єму газу проводилися для значень 0,003, 0,01 та 0,016 м³, а для одиниці об'ємної витрати газу — для значень $2,78 \cdot 10^{-7}$ м³/с (1 л/год) за контрольного об'єму 0,003 м³, $4,44 \cdot 10^{-6}$ м³/с (16 л/год) за об'єму 0,01 м³ та $8,33 \cdot 10^{-5}$ м³/с (300 л/год) за об'єму 0,016 м³. Із множини значень похибок та невизначеностей за кінцеве приймається максимальне значення.

За результатами метрологічної атестації отримано результати, які зведено до таблиці.

На рис. 2 наведено зовнішній вид вторинного еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу на базі установки еквівалентного витіснення рідини.

До складу вторинного еталона, окрім основних елементів конструкції, входять:

- прецизійні ваги для зважування еквівалентної кількості витісненого малов'язкого та низьковипаровуваного мастила;
- первинні перетворювачі вимірювань тиску, температури та інтервалів часу;
- секції еталонних сопел для забезпечення відтворення значень об'ємної витрати;
- дослідна лінія для встановлення еталонних лічильників та еталонів порівняння;
- під'єднувальні трубопроводи та запірно-відсічна арматура.

Вторинний еталон обладнано комп'ютерною системою збирання, опрацювання та представлення ін-

Таблиця. Результати досліджень вторинного еталона одиниць об'єму газу від 0,003 до 0,016 м³ та об'ємної витрати газу в діапазоні від $2,78 \cdot 10^{-7}$ до $8,33 \cdot 10^{-5}$ м³/с

Table. Results of research the secondary standard units gas volume from 0,003 to 0,016 m³ and gas flow rate in the range from $2,78 \cdot 10^{-7}$ to $8,33 \cdot 10^{-5}$ m³/s

Параметри (об'єм V , витрата q)	Характеристики						
	θ	S	$t_{\Sigma} \cdot S_{\Sigma}$	u_A	u_B	u_C	U
$V(0,003)$	$3,33 \cdot 10^{-6}$	$1,04 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,04 \cdot 10^{-6}$	$1,87 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
$V(0,01)$	$8,71 \cdot 10^{-6}$	$2,93 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$2,93 \cdot 10^{-6}$	$5,04 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
$V(0,016)$	$1,37 \cdot 10^{-5}$	$4,62 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$4,62 \cdot 10^{-6}$	$7,941 \cdot 10^{-6}$	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
$q(2,78 \cdot 10^{-7})$	$3,29 \cdot 10^{-10}$	$9,56 \cdot 10^{-11}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$9,56 \cdot 10^{-11}$	$1,73 \cdot 10^{-10}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$
$q(4,44 \cdot 10^{-6})$	$4,27 \cdot 10^{-9}$	$1,3 \cdot 10^{-9}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-9}$	$2,25 \cdot 10^{-9}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
$q(8,33 \cdot 10^{-5})$	$8,15 \cdot 10^{-8}$	$2,85 \cdot 10^{-8}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$2,85 \cdot 10^{-8}$	$5,19 \cdot 10^{-8}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$

формації для забезпечення автоматизації процесу вимірювання.

Результатом проведеної роботи стала атестація еталона комісією за участі представника ННЦ «Інститут метрології», яка надала висновок про можливість затвердження еталона у статусі вторинного. За результатами атестації вторинного еталона підтверджено його заявлені метрологічні характеристики, а саме:

1. Діапазон вимірювання об'єму газу від 0,003 до 0,016 м³, діапазон вимірювання об'ємної витрати газу від $2,78 \cdot 10^{-7}$ до $8,33 \cdot 10^{-5}$ м³/с.

2. Довірчі границі похибки $t_{\Sigma} \cdot S_{\Sigma}$ передавання одиниць об'єму та об'ємної витрати становлять відповідно $t_{\Sigma} \cdot S_{\Sigma V} = 1,5 \times 10^{-3}$ та $t_{\Sigma} \cdot S_{\Sigma q} = 1,5 \times 10^{-3}$.

3. Невизначеності вимірювання:


■ за об'ємом: $u_A = 1 \times 10^{-6}$, $u_B = 1,9 \times 10^{-6}$, $u_C = 7,5 \times 10^{-4}$, $U_V = 1,5 \times 10^{-3}$ з коефіцієнтом охоплення $K = 2$ та довірчою ймовірністю $P = 0,95$;

■ за об'ємною витратою: $u_A = 9,6 \times 10^{-11}$, $u_B = 1,7 \times 10^{-10}$, $u_C = 7 \times 10^{-4}$, $U_q = 1,4 \times 10^{-3}$ з коефіцієнтом охоплення $K = 2$ та довірчою ймовірністю $P = 0,95$.

Комплект документації та необхідні матеріали щодо вторинного еталона одиниць об'єму газу від 0,003 до 0,016 м³ та об'ємної витрати газу в діапазоні від $2,78 \cdot 10^{-7}$ до $8,33 \cdot 10^{-5}$ м³/с направлено до ННЦ «Інститут метрології» для занесення до Реєстру державних первинних і вторинних еталонів одиниць вимірювань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу: ДСТУ 3383: 2007. — [Чинний від 2007-07-01; на заміну ДСТУ 3383-96]. — К.: Держспоживстандарт України (Metrolohiia. Derzhavna povirochna skhema dlia zasobiv vymirivannia obiemu ta obiemnoi vytraty

- hazu: DSTU 3383: 2007. — [Chynnyi vid 2007-07-01; na zaminu DSTU 3383-96]. — K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy), 2007. — III, 9 c/s.
2. John D.Wright. What is the «Best» Transfer Standard for Gas Flow? / John D.Wright // Flomeko Conference 11th FLOMEKO 2003. — 2003. — May 12—14. — Groningen, Netherlands.
 3. Петришин І.С. Науково-методологічні та технічні засади забезпечення точності вимірювань витрати природного газу: дис. докт. техн. наук. / Петришин Ігор Степанович. — Івано-Франківськ, (Petryshyn I.S. Naukovo-metodolohichni ta tekhnichni zasady zabezpechennia tochnosti vymiruvann vytraty pryrodnoho hazu: dys. dokt. tekhn. nauk. / Petryshyn Ihor Stepanovych. — Ivano-Frankivsk), 2007. — 381 c/s.
 4. Петришин І.С. Математична та метрологічна моделі вторинного еталона одиниці об'єму та об'ємної витрати газу / І.С. Петришин, Я.В. Безгачнюк // Український метрологічний журнал (Petryshyn I.S. Matematychna ta metrolohichna modeli vtorynnoho etalona odyntsi obiemu ta obiemnoi vytraty hazu / I.S. Petryshyn, Ya.V. Bezghachniuk // Ukrainskyi metrolohichnyi zhurnal). — 2007. — № 2. — C/S. 40—42.
 5. Чалий В. Адаптивна технологія побудови еталона одиниці потужності ультразвуку у водному середовищі / В. Чалий, Т. Ільницька, С. Чалий // Стандартизація сертифікація якості (Chalyi V. Adaptivna tekhnolohiia pobudovy etalona odyntsi potuzhnosti ultrazvuku u vodnomu seredovyshchi / V. Chalyi, T. Ilnytska, S. Chalyi // Standartyzatsiia sertyfikatsiia yakist). — 2009. — № 3. — C/S. 37—43.
 6. Присяжнюк Т.І. Вдосконалення методичних засад та технічних засобів відтворення витрати газу в діапазоні від 0,001 до 0,016 м³/год: дис. канд. техн. наук. / Присяжнюк Тарас Ігорович. — Івано-Франківськ (Prysiashniuk T.I. Vdoskonalennia metodychnykh zasad ta tekhnichnykh zasobiv vidtvorennia vytraty hazu v diapazoni vid 0,001 do 0,016 m³/hod: dys. kand. tekhn. nauk. / Prysiashniuk Taras Ihorovych. — Ivano-Frankivsk), 2013. — 120 c/s.
 7. Top level of metrological services for petrochemical and gas industry — Czech Metrology Institute — Brno. — 2007. — 43p.
 8. ISO 4185:1980/Cor. 1:1993 Measurement of liquid flow in closed conduits — Weighing method: — Geneva: International Organization for Standardization, 1993. — 26p.
 9. Косач Н.І. Принцип побудови перекидного пристрою еталона одиниць об'ємної та масової витрати рідини / Н.І. Косач // Український метрологічний журнал (Kosach N.I. Pryntsyp pobudovy perekydnoho prystroiu etalona odyntsi obiemnoi ta masovoi vytraty ridyny / N.I. Kosach // Ukrainskyi metrolohichnyi zhurnal). — 2004. — № 2. — C/S. 37 — 41.
 10. Jongerins P.F.M., M.P. van der Beek and J.G.M. van der Grinten. Calibration facilities for industrial gas flow meters in the Netherlands. // Flow Meas. Instrum. — 1993. — №2. — P.p. 77—84.
 11. А.с. 821941 СССР: МКИ G 01F25/00. Перекидное устройство расходомерной установки / К.М. Блажковский, В.Г. Хорошун. — № 2700961/18-10, заявл. 25.12.78; опубл. 15.04.81, Бюл. № 14. (A.s. 821941 SSSR: MKY G 01F25/00. Perekydnoe ustroistvo raskhodomernoi ustanovky / K.M. Blazhkovskiy, V.H. Khoroshunov. — № 2700961/18-10, zaiaavl. 25.12.78; opubl. 15.04.81, Biul. № 14.).
 12. Башта Т.М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика. — Москва: Машиностроение (Bashta T.M. Hydropryvod y hydropnevmoavtomatyka. — Moskva: Mashynostroenye), 1972. — 320 c/s.
 13. ISO/TR 3313:1998 Measurement of fluid flow in closed conduits — Guidelines on the effects of flow pulsations on flow-measurement instruments: — Geneva: International Organization for Standardization, 1998. — 25p.
 14. Гирі класів E1, E2, F1, F2, M1, M1-2, M2, M2-3 та M3. Частина 1. Загальні технічні вимоги та методи випробувань: ДСТУ OIML R111-1:2008 (OIML R111-1:2004, IDT). — [Чинний від 01-01-2010]. — K.: Держспоживстандарт України (Hyri klasiv E1, E2, F1, F2, M1, M1-2, M2, M2-3 ta M3. Chastyna 1. Zahalni tekhnichni vymohy ta metody vyprobuvann: DSTU OIML R111-1:2008 (OIML R111-1:2004, IDT). — [Chynnyi vid 01-01-2010]. — K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy), 2010. — 72 c/s.
 15. Умовне значення зважування в повітрі: ДСТУ OIML D28:2008 (OIML D28:2004, IDT). — [Чинний від 01-01-2010]. — K.: Держспоживстандарт України (Umovne znachennia zvazhuvannia v povitri: DSTU OIML D28:2008 (OIML D28:2004, IDT). — [Chynnyi vid 01-01-2010]. — K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy), 2010. — 13 c/s. 

Отримано / received: 19.12.2014.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н. В. Б. Большаковим (Україна).
D. Sc. (Techn.) V.B. Bolshakov, Ukraine, recommended this article to be published.

УДК 681.518+621.373

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЦИФРОВИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ З ЧАСТОТНИМИ АВТОГЕНЕРАТОРНИМИ ДАТЧИКАМИ

С. Кондрашов, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри,
О. Гусельніков, аспірант,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Розглянуто питання щодо використання тестових методів підвищення точності цифрових вимірювальних приладів з частотними автогенераторними датчиками, що мають нелінійні характеристики перетворення. Представлено метод лінеаризації характеристики перетворення таких вимірювальних приладів та реалізацію тестового методу для зменшення адитивної та мультиплікативної складових результативної похибки. Наведено результати використання методу лінеаризації та тестового методу підвищення точності.

The article focuses on the use of test methods to improve the accuracy of digital measuring devices with frequency self-oscillating sensors which have non-linear conversion characteristic. The method for linearization conversion characteristic of such digital measuring devices and implementation of a test method for reducing additive and multiplicative components of the resulting error are shown. The results of using the method of linearization and the test method to improve the accuracy are given.

Ключові слова: частотний автогенераторний датчик, лінійна характеристика перетворення, тестові методи контролю, підвищення точності.
Keywords: frequency self-oscillating sensors, linear conversion characteristic, test control methods, improving the accuracy of.

Широкое використання в усіх сферах діяльності людей вимірювальних приладів та інформаційних систем контролю і керування зумовлює необхідність розроблення та створення засобів вимірювання різноманітних фізичних величин [1, 2]. Одними з найбільш поширених вимірювальних приладів є цифрові вимірювальні прилади (ЦВП) з частотними автогенераторними датчиками (ЧАД) [3, 4]. Основні переваги таких приладів — простота і точність передавання вихідної величини їх датчиків (частоти) за каналами зв'язку, а також відносна простота цифрового відліку результату вимірювання за допомогою кодувальних перетворювачів. Широкого поширення серед таких приладів отримали прилади з автогенераторними датчиками з високочастотним (1–5) МГц вихідним сигналом. Такі прилади призначені для вимірювання різноманітних фізичних величин (тиску, переміщення, зусилля, електричної ємності тощо). У певних випадках такі прилади мають недостатній діапазон вимірювання, до того ж похибка вимірювання може коливатися у діапазоні (0,5 ... 5) %, що не завжди задовольняє вимогам за точністю. Більшість методів підвищення точності вимагає значного ускладнення конструкції та алгоритму роботи ЦВП з ЧАД, а отже і збільшення його вартості. Одним із можливих варіантів підвищення точності ЦВП з ЧАД є використання сумісного тестового методу підвищення точності [5,6]. Такий метод дозволяє виключити адитивну та мультиплікативну складові результативної похибки вимірювання, при цьому конструкція та алгоритм роботи ЦВП зазнають мінімальних змін. Найменшу кількість тестів та найпростіший алгоритм їх формування маємо за отримання рівняння перетворення ЦВП першого степеня.

Як показано у [7], ЦВП з ЧАД мають у загальному випадку вихідні сигнали датчика, наведені в таблиці.



С. Кондрашов



О. Гусельніков

Таблиця. Вихідні сигнали ЧАД
Table. Initial signals of frequency self-oscillating sensors

Схема включення ЧАД	Вихідний сигнал ЧАД
1	2
Однотензорна	$\begin{cases} f_1 = f_0 (1 + KX)^{-1/n} \\ f_2 = f_0 \end{cases}$ <p>Умова $f_1 = f_0$ виконується за відсутності на вході ЧАД вимірювальної величини</p>
Двотензорна (з вимірювальним та компенсаційним автогенераторами)	$\begin{cases} f_1 = f_0 (1 + KX)^{-1/n} \\ f_2 = f_0 \end{cases}$
Диференційна	$\begin{cases} f_1 = f_0 (1 + KX)^{-1/n} \\ f_1 = f_0 (1 - KX)^{-1/n} \end{cases}$

де f_1 — значення вихідного сигналу вимірювального каналу датчика, f_2 — значення вихідного сигналу компенсаційного каналу датчика, f_0 — значення вихідних сигналів вимірювального та компенсаційного каналів датчика за відсутності на вході вимірювальної величини, K — коефіцієнт перетворення частотозадавального елемента датчика, X — вимірювальна величина, n — показник степеня, що залежить від виду частотозадавального елемента автогенераторного датчика, який для більшості таких датчиків міститься у межах ± 8 .

Як видно з рівнянь, наведених у таблиці 1, вимірювальна величина X нелінійно пов'язана з вихідним сигналом — частотою f_1 , що робить використання тестових методів підвищення точності трудомістким через необхідність опрацювання й оцінювання рівнянь другого і вищих порядків та призводить до значного ускладнення і подорожчання конструкції.

Для використання тестових методів, без значного ускладнення конструкції вимірювачів, вид яких описується рівняннями першого ступеня, необхідно отримати лінійну характеристику перетворення вимірювача.

Метод лінеаризації характеристики перетворення ЦВП розроблено у [8]. Реалізацію методу продемонструємо на прикладі ЦВП з ЧАД, включеним за схемою з вимірювальним та компенсаційним автогенераторами.

Процес лінеаризації здійснюється у такий спосіб: вихідні сигнали ЧАД, один з яких формується під дією вимірювальної величини X за допомогою частотозадавального елемента (ПП) вимірювально-

го генератора (АГ1) та дорівнює $f_1 = f_0 (1 + KX)^{-1/n}$, а другий є незмінним і формується за допомогою компенсаційного генератора (АГ2) та дорівнює $f_2 = f_0$, подаються на перший та другий частотні входи кодувального перетворювача (КП), де формуються інтервал часу τ_1 , що заповнюється імпульсами з частотою f_1 , отриманою від вимірювального автогенератора АГ1 за виконання умови $f_2 \geq f_1$, або інтервал часу τ'_1 , що заповнюється імпульсами з частотою f_2 , отриманою від компенсаційного автогенератора АГ2 за виконання умови $f_1 \geq f_2$ до досягнення заздалегідь встановленого в пам'яті КП числа N_0 . Інтервал часу $\tau_1 = N_0 f_1^{-1}$ або $\tau'_1 = N_0 f_2^{-1}$ зберігається у пам'яті КП. Далі за сформований інтервал часу τ_1 підраховується кількість імпульсів $N_1 = \tau_1 f_2 = N_0 f_2 f_1^{-1}$, надісланих на другий вхід КП з частотою f_2 , за виконання умови $f_2 \geq f_1$, або кількість імпульсів $N'_1 = \tau'_1 f_1 = N_0 f_1 f_2^{-1}$, надісланих на перший вхід КП з частотою f_1 , за виконання умови $f_1 \geq f_2$. Число імпульсів N_1 або N'_1 зберігається у пам'яті КП, після чого формується часовий інтервал τ_2 , який заповнюється імпульсами з частотою f_1 до досягнення збереженого у пам'яті КП значення N_1 , за виконання умови $f_2 \geq f_1$, або часовий інтервал τ'_2 , який заповнюється імпульсами з частотою f_2 , за виконання умови $f_1 \geq f_2$, до досягнення збереженого у пам'яті КП значення N'_1 . Часовий інтервал $\tau_2 = N_1 f_1^{-1} = N_0 f_2 f_1^{-2}$ або $\tau'_2 = N'_1 f_2^{-1} = N_0 f_1 f_2^{-2}$ зберігається у пам'яті КП, далі послідовні операції формування часових імпульсів та чисел імпульсів продовжуються до формування числа імпульсів, що дорівнює $N_n = \tau_n f_2 = N_0 f_2^n f_1^{-n}$, за виконання умови $f_2 \geq f_1$, або $N'_n = \tau'_n f_1 = N_0 f_1^n f_2^{-n}$, за виконання умови $f_1 \geq f_2$, після чого у блоці обчислення КП формується число імпульсів

$$\begin{aligned} N_{Xn} &= N_n - N_0 = N_0 f_2^n f_1^{-n} - N_0 = \\ &= N_0 \left(f_0^n \left(f_0 (1 + KX)^{-1/n} \right)^{-n} - 1 \right) = N_0 KX, \end{aligned} \quad (1)$$

за виконання умови $f_1 \geq f_2$ або

$$\begin{aligned} N'_{Xn} &= N'_n - N_0 = N_0 f_1^n f_2^{-n} - N_0 = \\ &= N_0 \left(f_0^{-n} \left(f_0 (1 + KX)^{-1/n} \right)^n - 1 \right) = N_0 KX, \end{aligned} \quad (2)$$

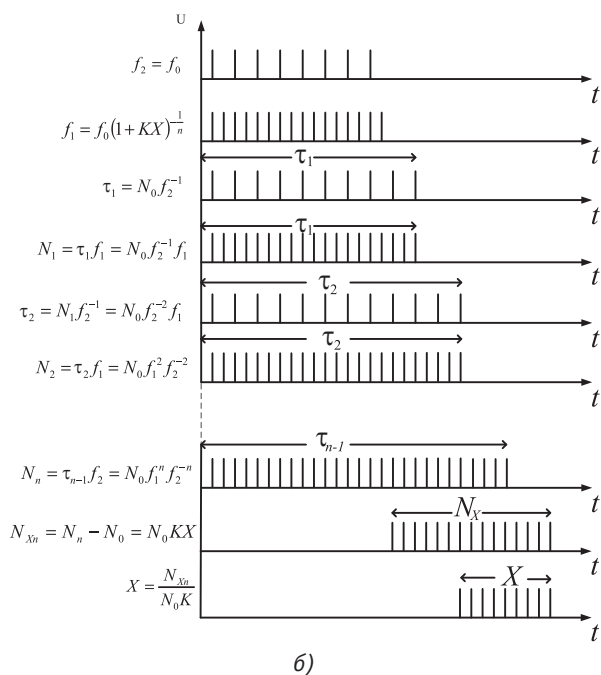
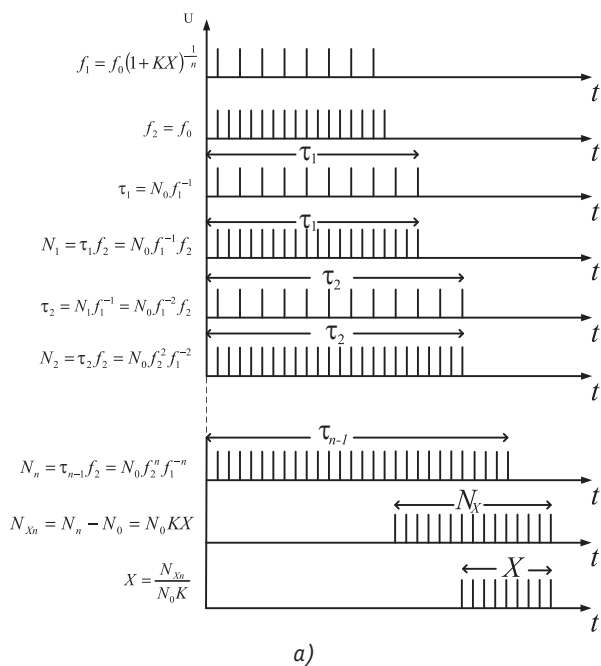
за виконання умови $f_1 \geq f_2$.

Як видно з рівнянь 1 і 2, вихідний сигнал вимірювача N_{Xn} або N'_{Xn} лінійно залежить від вимірювальної величини X . Останню з урахуванням рівнянь 1 і 2, можна описати таким рівнянням:

$$X = N_{Xn} / N_0 K. \quad (3)$$

Графічно процес лінеаризації представлено на рис. а, б для варіантів $f_2 \geq f_1$, $f_1 \geq f_2$, відповідно.

Метод лінеаризації можна застосовувати до будь-яких автогенераторних датчиків з частотним вихідним сигналом.



Процеси лінеаризації характеристики перетворення ЦВП ЧАД

а) за $f_2 \geq f_1$; б) за $f_1 \geq f_2$

Processes of conversion characteristic linearization for digital measuring devices with frequency self-oscillating sensors

а) $f_2 \geq f_1$; б) $f_1 \geq f_2$

Ураховуючи наявність у результаті вимірювання адитивних (Δ_{ad}) та мультиплікативних (δ_M) складових результувальної похибки, результат вимірювання можна представити у виді

$$N_X = N_0 KX (1 + \delta_M) + \Delta_{ad} \quad (4)$$

Лінеаризація характеристики перетворення дає змогу застосувати тестові методи підвищення точності, що можуть бути описані рівняннями першого ступеня. У цьому випадку алгоритм реалізації сумісного тестового методу такий:

у разі дії на вході ЦВП вимірюваної величини X формується вихідний сигнал $N_1 = N_0 KX (1 + \delta_M) + \Delta_{ad}$, який зберігається в пам'яті КП. Після цього чутливість ЦВП змінюється у A разів, формується вихідний сигнал $N_2 = AN_0 KX (1 + \delta_M) + \Delta_{ad}$ (мультиплікативний тест).

Далі до вимірюваної величини X , додається еталонне значення величини ΔX і формується вихідний сигнал $N_3 = N_0 K (X + \Delta X) (1 + \delta_M) + \Delta_{ad}$ (адитивний тест). Ці сигнали зберігаються в пам'яті КП. За результатами проведених вимірювань у КП складається система із трьох рівнянь:

$$\begin{cases} N_1 = N_0 KX (1 + \delta_M) + \Delta_{ad}, \\ N_2 = AN_0 KX (1 + \delta_M) + \Delta_{ad}, \\ N_3 = N_0 K (X + \Delta X) (1 + \delta_M) + \Delta_{ad}. \end{cases} \quad (5)$$

Розв'язавши її, отримаємо систему різницевих рівнянь:

$$\begin{cases} \Delta N_{21} = N_2 - N_1 = N_0 KX (A - 1) (1 + \delta_M), \\ \Delta N_{31} = N_3 - N_1 = N_0 K \Delta X (1 + \delta_M). \end{cases} \quad (6)$$

Із неї можна отримати реляційно-різницеву модель оператора корекції системи тестового контролю:

$$\psi = \frac{N_{21}}{N_{31}} = \frac{X (A - 1)}{\Delta X} \quad (7)$$


З урахуванням цього рівняння оцінка вимірювальної величини має вид:

$$X = \frac{N_{21}}{N_{31}} \frac{\Delta X}{(A - 1)} = \psi \frac{\Delta X}{(A - 1)} \quad (8)$$

Як видно з останнього рівняння, застосування спільного (адитивного і мультиплікативного) тестового методу дозволяє виключити вплив адитивної і мультиплікативної складових результувальної похибки на результат вимірювання. Похибка результату вимірювань визначається точністю формування тестів.

Отже, застосування сумісного тестового методу до розробленого авторами автогенераторного вимірювача тиску з робочим діапазоном (0,01 ÷ 0,1) Н [9, 10] дозволяє зменшити результувальну похибку з 2 до 1 %, що підтверджує ефективність використання тестових методів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Туричин А.М., Электрические измерения неэлектрических величин. Изд. 5-е, перераб. и доп./ Туричин А.М., Новицкий П.В. — Л.: «Энергия» (Turichin A.M., Jeletricheskie izmerenija nejelektricheskikh velichin. Izd. 5-e, pererab. i dop./ Turichin A.M., Novickij P.V. — L.: «Jenergija»), 1975. — 576 с/р.
2. Левшина Е.С. Электрические измерения физических величин: (Измерительные преобразователи): учеб. пособие для ВУЗов./ Левшина Е.С., Новицкий П.В.: «Энергоатомиздат». Ленингр. отд-ние (Levshina E.S. Jeletricheskie izmerenija fizicheskikh velichin: (Izmeritel'nye preobrazovateli): ucheb. posobie dlja VUZov./ Levshina E.S., Novickij P.V.: «Jenergoatomizdat». Leningr. otd-nie), 1983. — 320 с/р.
3. Новицкий П.В. Цифровые приборы с частотными датчиками/ Новицкий П.В., Кнорринг В.Г., Гутников В.С. — Л.: «Энергия» (Novickij P.V. Cifrovye pribory s chastotnymi datchikami/ Novickij P.V., Knorring V.G., Gutnikov V.S. — L.: «Jenergija»), 1970. — 424 с/р.
4. Арш Э.И. Автогенераторные измерения. М., «Энергия» (Arsh Je.I. Avtogeneratedornye izmerenija. M., «Jenergija»), 1977. — 136 с/р.
5. Кондрашов С.И. Методы підвищення точності систем тестових випробувань електричних вимірювальних перетворювачів у робочих режимах. Монографія/ Кондрашов С.И. — Харків: НТУ «ХПІ» (Kondrashov S.I. Metodi pidvishhennja tochnosti sistem testovih viprobuvan' elektrichnih vimirjuval'nih peretvorjuvachiv u robochih rezhimah. Monografija/ Kondrashov S.I. — Harkiv: NTU «HPI»), 2004. — 224 с/р.
6. Бромберг Э.М., Куликовский К.Л. Тестовые методы повышения точности измерений. — М.: Энергия (Bromberg Je.M., Kulikovskij K.L. Testovye metody povyshenija tochnosti izmerenij. — M.: Jenergija), 1978 — 176 с/р.
7. Кондрашов С.И. Метод построения универсальных преобразователей физических величин с частотным представлением измерительной информации / С.И. Кондрашов, А.В. Гусельников // Украинский метрологический журнал (Kondrashov C.I. Metod postroenija universal'nyh preobrazovatelej fizicheskikh velichin s chastotnym predstavleniem izmeritel'noj informacii / C.I. Kondrashov, A.V. Gusel'nikov // Ukrainskij metrologicheskij zhurnal). — 2011. — №2. — С/Р. 55—58.
8. Рішення про видачу Патента на винахід за заявою № а 2013 13692. Спосіб лінеаризації характеристики перетворення вимірювачів фізичних величин з частотними автогенераторними датчиками / О.В. Гусельников; заявник: О.В. Гусельников (Rishennja pro vidachu Patentu na vinahid za zajavkoju № a 2013 13692. Sposib linearizacii harakteristiki peretvorennja vimirjuvachiv fizichnih velichin z chastotnimi avtogeneratedornimi datchikami / O.V. Gusel'nikov; zajavnik: O.V. Gusel'nikov).
9. Кондрашов С.И. Зменшення похибки вимірювача тиску з автогенераторним датчиком/ С.И. Кондрашов, О.В. Гусельников // Украинский метрологический журнал (Kondrashov C.I. Zmenshennja pohibki vimirjuvacha tisku z avtogeneratedornim datchikom/ C.I. Kondrashov, O.V. Gusel'nikov // Ukrainskij metrologicheskij zhurnal). — 2011.
10. Шпак Ю.А. Программирование на языке «С» для AVR и PIC микроконтроллеров./ Шпак Ю.А. — К.: «МК-Пресс» (Shpak Ju.A. Programirovanie na jazyke «S» dlja AVR i PIC mikrokontrollerov./ Shpak Ju.A. — K.: «MK-Press»), — 2006. — 400 с/р. 

Отримано / received: 16.01.2015.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Б.М. Горкуновим, Україна.
Prof. B.M. Gorkunov, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.



М. Кошовий, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри авіаційних приладів та вимірювань, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків,
О. Ноженко, старший науковий співробітник науково-дослідного відділу військових еталонів, Метрологічний центр військових еталонів Збройних Сил України, м. Харків

Запропоновано метод комплексного оцінювання показників метрологічного забезпечення, який застосовується під час проведення метрологічної експертизи документації продукції.

The method of indices comprehensive evaluation for metrological provision that applies during metrological examination of documentation produce is proposed.

Ключові слова: метрологічне забезпечення, оцінювання показників, метод, метрологічна експертиза, документація.
Keywords: metrological provision, evaluation of indices, method, metrological examination, documetation.

Попередні дослідження щодо аналізу робіт, які виконуються під час проведення метрологічної експертизи документації (МЕД) на складні технічні системи, зразки та комплекси (продукцію) показали, що достатньо складно за обмежений час у неавтоматизованому режимі виконати повний обсяг роботи з аналізу та оцінювання показників метрологічного забезпечення (МлЗ) для всієї номенклатури документації, яка підлягає та використовується в процесі проведення МЕД [1]. На рис. 1 представлено сучасний порядок оцінювання показників МлЗ.

Із рис. 1 видно, що оцінювання показників МлЗ проводиться «ручним» способом обчислювань з мінімальним застосуванням обчислювальної техніки та на основі суб'єктивних поглядів осіб, що його виконують, тому загальне рішення має низьку достовірність. Ураховуючи зазначене, можна стверджувати, що актуальною задачею є розроблення нових методів та засобів для автоматизованого оцінювання показників МлЗ.

У [2, 3] запропоновано вирішення цієї проблеми шляхом розроблення та впровадження у практику проведення МЕД методу комплексного оцінювання значень кількісних та якісних показників МлЗ як складової частини автоматизованої системи вирішення основних завдань експертизи із використанням автоматизованих процесів на базі персональної електронно-обчислювальної машини.

Мета статті — вибір та обґрунтування такого методу, який би дозволив визначити комплексний показник, що одночасно враховує якісні (експертні оцінки) та кількісні (числові) значення показників МлЗ та здійснити оцінку відповідності вимогам тактико-технічного завдання (ТТЗ) або нормативних документів (НД). В основу методу комплексного оцінювання значень кількісних та якісних показників МлЗ повинно бути покладено розроблення механізму оцінювання досягнутого рівня стану МлЗ продукції під час проведення МЕД та визначення узагальненого показника якості МлЗ, який об'єднував би у загальну комплексну оцінку досягнутий рівень якості як якісних, так і кількісних значень показників МлЗ. Зазначений метод



М. Кошовий



О. Ноженко

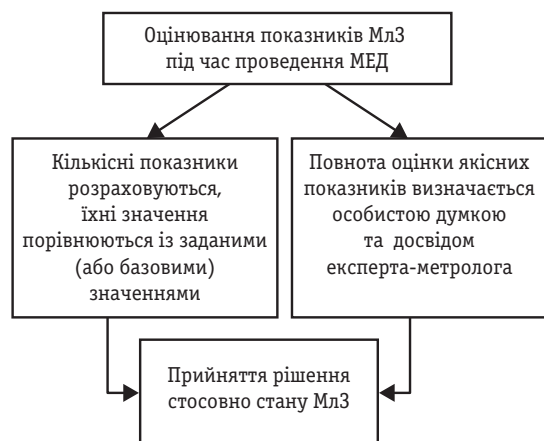


Рис. 1. Сучасний порядок оцінювання показників

Fig. 1. Modern order of indicators evaluation

на основі проведених математичних розрахунків має показувати на скільки відсотків або часток відповідає визначена сукупність показників МлЗ порівняно з базовими або заданими [3].

РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧІ

Для розроблення методу комплексного оцінювання значень кількісних та якісних показників МлЗ проаналізовано основні методи оцінювання рівня якості будь-якої продукції [4–6]. Відомо, що оцінка якості продукції проводиться методами прикладної кваліметрії [6, 7]. Сучасна наука і практика виробили вже систему кількісної оцінки властивостей продукції, що характеризує показники якості, визначені у стандартах, ТТЗ та технічних умовах. Якість продукції кількісно визначається: технічним рівнем продукції, рівнем якості виготовлення продукції та рівнем якості продукції в експлуатації. Для отримання значень показників якості продукції використано дві групи методів: за способами і за джерелами отримання інформації (рис. 2).

Із рис. 2 видно, що для кожного показника якості продукції (кількісного або якісного) існує метод, за допомогою якого можливо знайти його кількісне значення. На основі аналізу наведеної класифікації методів для розроблення методу комплексного оцінювання значень кількісних та якісних показників МлЗ основними способами отримання інформації обрано: вимірювальний, реєстраційний та експертний методи, що належать до спеціальної сфери наукових знань — кваліметрії.

Згідно з принципами кваліметрії кількісні значення показників якості продукції визначаються на основі фізичних експериментів — методами вимірювання (або розрахунками), а якісні показники — за рахунок психологічних експериментів, а саме, методом експертного оцінювання властивостей продукції.

Для оцінки якості продукції використовується система показників, які групуються на одиничні, узагальнювальні та комплексні. Одиничні показники якості характеризують одну із властивостей продукції й класифікуються за багатьма групами, серед яких є і показники МлЗ [2, 3]. Узагальнювальні показники характеризують загальний рівень якості продукції, а комплексні — декілька властивостей продукції [7].

Як відомо із [8, 9], рівень якості продукції (або технічний рівень) може визначатися за допомогою диференційованих, узагальнювальних, змішаних та комплексних методів, кожний із яких має своє призначення та особливості (табл. 1). На основі розгляду таблиці та рис. 2, де наведені методи визначення рівня якості продукції та способи отримання інформації щодо показників якості, можна стверджувати, що для оцінювання кількісних показників доцільно використовувати диференційований та узагальнювальний методи. Застосування диференційованого методу дозволяє отримати фактичні значення показників у певній фізичній розмірності (кг, В, А, м, Вт, м/с, кВт·год/грн. тощо) привести до безрозмірної форми, тобто навести показники у відсотках або частках одиниці, а застосування узагальнювального методу дозволяє об'єднання всіх кількісних показників до однієї групи з одним загальним показником.

Диференційований метод базується на використанні одиничних показників якості продукції, суть його полягає у порівнянні показників якості продукції, що оцінюється, з відповідними базовими (або заданими) показниками [7–9]. При цьому кожний відносний показник P_B розраховується за такими формулами [7]:

$$P_B = P_i / P_{iB}, i = 1 \dots n, \quad (1)$$

$$P_B = P_{iB} / P_i, i = 1 \dots n, \quad (2)$$

де: P_i — значення i -го показника якості продукції, що оцінюється;

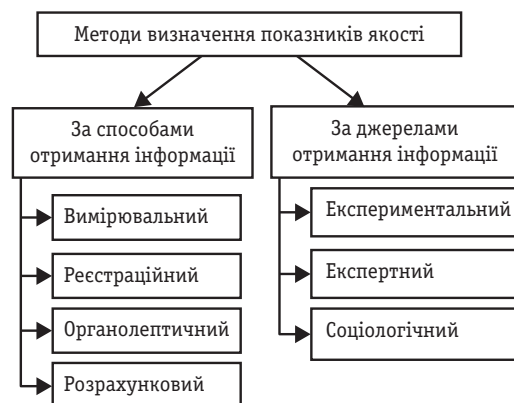


Рис. 2. Класифікація методів визначення показників якості продукції

Fig. 2. Classification of methods for definition of production quality indicators

Таблиця. Перелік методів визначення рівня якості продукції

Table. The list of methods for definition of production quality standard

№ з/п	Перелік методів для визначення рівня якості продукції	Призначення методу
1	Диференційований метод або метод відносних показників ґрунтується на зіставленні одиничних показників якості оцінюваного та базового показника	Використовується для оцінювання найважливіших одиничних показників
2	Узагальнювальний метод ґрунтується на об'єднанні великої кількості показників у групи, і для кожної групи визначається свій показник.	Використовується, коли важко надати перевагу будь-якому показнику з великої їх кількості
3	Змішаний метод ґрунтується на поєднанні диференційованого та узагальнювального методів	Застосовується у випадках недостатньо повного урахування узагальнювальним методом усіх властивостей виробу
4	Комплексний метод ґрунтується на використанні узагальненого показника якості продукції, який є функцією від одиничних, групових або комплексних показників	Використовується за оцінювання якості продукції, що складається із різних груп оцінюваних показників і може бути представлений головним показником, що відображає основне призначення продукції, інтегральним або середньозваженим показником якості продукції

P_{ib} — значення i -го базового (або заданого) показника.

n — кількість показників.

Формула (1) використовується, коли збільшенню абсолютного значення показника якості відповідає покращання якості продукції. За цією формулою можна визначити відносний показник якості для потужності, терміну, ефективності, продуктивності, точності, коефіцієнта корисної дії тощо.

За формулою (2) відносний показник якості визначається тоді, коли збільшення абсолютного значення показника якості продукції відповідає її погіршенню. За цією формулою визначають відносний показник для собівартості витрати матеріалу, палива, енергії, вмісту шкідливих домішок, трудомісткості, параметра потоку відмов тощо, оскільки в цих випадках покращання якості визначається зменшенням абсолютного значення одиничного показника.

За використання диференційного методу оцінки

рівня якості продукції можуть виникати такі випадки:

а — всі відносні показники більші за одиницю;

б — всі відносні показники менші від одиниці;

в — всі відносні показники дорівнюють одиниці;

г — частина відносних показників більша за одиницю, а інша частина — дорівнює одиниці;

д — частина відносних показників менша від одиниці, а інша частина — дорівнює одиниці;

е — частина відносних показників більша за одиницю або дорівнює їй, а інша частина — менша від одиниці.

Для випадків а, в, г однозначно можна зробити висновок — рівень якості оцінюваної продукції не нижчий від базового, а для випадків б, д — нижчий від базового. Для останнього випадку потрібно всі показники розділити за значимістю на відповідні групи. До однієї групи повинні належати всі відносні показники, які більші за одиницю або дорівнюють їй, а до другої — ті, що менші від одиниці. При цьому можна стверджувати, що для подальшої оцінки рівня якості продукції доцільно використовувати інший метод, а саме, комплексний метод оцінки рівня якості продукції. ґрунтується він на використанні узагальненого показника якості, який застосовується в тих випадках, коли доцільно рівень якості подати лише одним числом, а також у разі наявності великої кількості показників. Узагальнювальний показник розраховується за формулою [8]:

$$U_{\text{я}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{Bi}} / n, i = 1 \dots n, \quad (3)$$

де: $U_{\text{я}}$ — узагальнювальний показник якості;

P_{Bi} — відносний показник якості (формули 1, 2);

n — кількість відносних показників.

За оцінювання технічно-складної продукції, яка має широкую номенклатуру показників якості, за допомогою лише диференційного методу важко зробити конкретний висновок, а використання лише одного узагальнювального методу не дозволяє в повному обсязі врахувати всі значимі властивості оцінюваної продукції. З цією метою для найбільш повного урахування всіх властивостей оцінюваної продукції слід використовувати разом із одиничними і узагальненими показниками одночасно інші методи, а саме, — експертний метод кваліметрії, який враховує оцінювання якісних показників [2].

Упровадження експертного методу кваліметрії дозволяє за рахунок експертного опитування визначеною кількістю фахівців (експертів) проаналізувати поставлені завдання, виставити бал (за бальною шкалою від 0 до 10), який на думку експерта відповідає рівню виконання якісного показника, та за рахунок статистичного опрацювання результатів опитування отримати оцінку ступеня виконання якісної вимоги кількісними показниками [6, 7]. Групова оцінка

B_j визначається на основі застосування методів усереднення, тобто виконання кожного якісного показника МЛЗ оцінюється середнім балом — рівнем виконання та розраховується за формулою [6]:

$$B_j = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m b_{ij}, i = 1 \dots n, j = 1 \dots m, \quad (4)$$

де: b_{ij} — оцінка, виставлена i -му показнику j -м експертом;

n — кількість якісних показників;

m — кількість експертів.

Для практичного застосування зазначеного методу експертного оцінювання якісних показників МЛЗ розроблено методику та відповідне програмне забезпечення, яке дозволяє автоматизоване опрацювання експертної інформації, розрахунок показників узгодженості та узагальнених групових оцінок, побудову діаграм і графіків тощо.

Отже, для оцінки рівня якості продукції одночасно використовуються декілька методів, а саме: для оцінювання кількісних значень показників МЛЗ — диференційний та узагальнювальний методи, а для оцінювання якісних показників — експертний метод кваліметрії [2].

Результати оцінювання кількісних та якісних показників МЛЗ представлені у безрозмірній формі, кількісні показники представлені узагальнювальним показником — U_j , а якісні показники — груповою оцінкою — B_j . Зазначене вище дозволяє впровадити комплексний метод оцінювання якості продукції, заснований на використанні узагальненого показника U_j та групової оцінки B_j , що є функцією від одиничних, групових та комплексних показників якості продукції.

Загальна оцінка досягнутого рівня якості МЛЗ продукції розраховується комплексним показником якості, який може бути поданий через середнє арифметичне зважене, середнє гармонічне зважене, середнє квадратичне зважене або середнє геометричне зважене.

Найбільш універсальним та поширеним є середнє геометричне зважене, оскільки його застосування можливе для неоднорідних показників якості, які мають значний розкид [4, 5, 8]. Тому для визначення комплексного показника стану МЛЗ доцільно використовувати середнє геометричне зважене. Основна формула для визначення така [8]:

$$K_{\text{МЛЗ}} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n U_i}, i = 1 \dots n, \quad (5)$$

де: $K_{\text{МЛЗ}}$ — комплексний показник досягнутого рівня якості МЛЗ продукції;

U_i — відповідні одиничні, групові або узагальнені показники якості продукції;

n — кількість одиничних, групових (узагальнених) або комплексних показників.

На рис. 3 представлено методичний підхід, що пояснює порядок оцінювання одночасно значень кількісних та якісних показників МЛЗ. Порівняно із сучасним порядком оцінювання показників (рис.1) запропонований методичний підхід відрізняється доповненням новим методом комплексного оцінювання показників МЛЗ.

Як видно із рис. 3, визначення комплексного показника стану МЛЗ продукції ґрунтується на застосуванні диференційованого та узагальнювального методів для визначення кількісних показників МЛЗ та експертного методу кваліметрії — для якісних показників. У відповідності з наведеними методами отримано остаточну формулу для обчислення комплексного показника стану МЛЗ:

$$K_{\text{МЛЗ}} = \sqrt[2]{\left(\frac{k \sum P_{\text{BS}}}{s} \right) \cdot \left(\frac{\frac{1}{m} \sum_j b_{ij}}{n} \right)}, \quad (6)$$

де: $s = 1 \dots k$ — кількість кількісних показників;

$i = 1 \dots n$ — кількість якісних показників;

$j = 1 \dots m$ — кількість експертів;

b_{ij} — оцінка, виставлена i -му показнику j -м експертом;

P_{BS} — відносний показник якості.

Представлений вище метод дозволяє за допомогою проведених математичних розрахунків показати на скільки

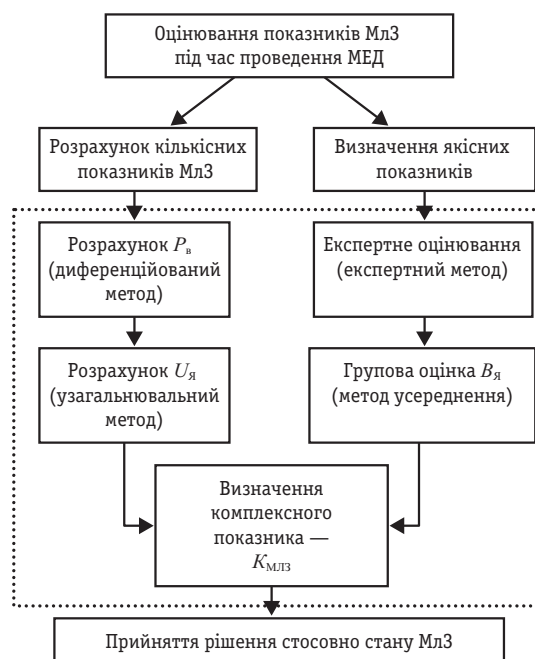


Рис. 3. Метод комплексного оцінювання показників метрологічного забезпечення

Fig 3 Method of complex evaluation for indicators of metrological maintenance

часток або відсотків відповідає визначена сукупність показників МлЗ порівняно з базовими (або заданими). На основі отриманого комплексного показника стану МлЗ експерт-метролог формує висновок щодо рівня виконання кількісних та якісних показників МлЗ, а також відповідності або невідповідності вимог з МлЗ з вимогами, встановленими у НД та (або) ТТЗ. Це, в свою чергу, дає можливість експертній комісії з проведення МЕД прийняти більш обґрунтоване рішення щодо ефективності МлЗ продукції за результатами проведеної експертизи.

ВИСНОВКИ

У запропонованому новому методі комплексного оцінювання показників МлЗ, за рахунок визначення та оцінювання кількісних та якісних показників МлЗ, виконується оцінка стану МлЗ. Це дозволяє отримати значення комплексного показника стану МлЗ поділити умовно на декілька зон ефективності:

- МлЗ не відповідає вимогам НД або ТТЗ;
- МлЗ частково відповідає вимогам НД або ТТЗ та документація потребує суттєвого доопрацювання;


• МлЗ у цілому відповідає вимогам НД або ТТЗ та документація потребує незначного доопрацювання;

- МлЗ відповідає вимогам НД та ТТЗ.

Отже, виходячи із значення комплексного показника стану МлЗ продукції, доцільно його урахувати за формування висновку за результатами проведеної МЕД.

Проведені дослідження є актуальними, адже від правильно обраного методу залежить точність оцінки та надання рекомендацій стосовно підвищення ефективності МлЗ продукції, що розробляється, для визначення подальших дій підприємства. Відтак, перспективним напрямом подальших досліджень за визначеною тематикою, в межах створення автоматизованої інформаційної системи вирішення основних завдань метрологічної експертизи, є розроблення методики комплексного оцінювання кількісних та якісних показників МлЗ технічно-складної продукції та програмного забезпечення до неї.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Фоменко О.М. Вдосконалення науково-методичного апарату проведення метрологічної експертизи зразків озброєння та військової техніки шляхом впровадження сучасних засобів та методів автоматизації / О.М. Фоменко, О.М. Ноженко // Харківський військовий університет, Збірник наукових праць. Системи обробки інформації (Fomenko O.N. Improvements of the scientifically-methodical device of carrying out of metrological examination of samples of arms and the military technics by introduction of modern means and automation methods / O.N. Fomenko, A.N. Nozhenko // The Kharkov military university, the Collection of scientific jobs. Systems of processing of the information). — 2002. — № 4(42). — С/Р. 42—44.
2. Кошовий М.Д. Аналіз методу експертного оцінювання показників метрологічного забезпечення продукції / Кошовий М.Д., Ноженко О.М. // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. Сборник научных трудов Национального Аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» — Харьков (Koshevoj N.D. Analysis of a method expert indicators of metrological maintenance of production / N.D. Koshevoj, A.N. Nozhenko // The open information and computer integrated technologies. The collection of proceedings of National Space university of a name of N.E.Zhukovsky of «KhAI». — Kharkov), — 2014. — № 63 — С/Р. 185—191.
3. Кошовий М.Д. Дослідження методичних підходів щодо оцінювання кількісних та якісних показників метрологічного забезпечення зразків озброєння та військової техніки / Кошовий М.Д., Ноженко О.М. // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Т.Г. Шевченка — Київ (Koshevoj N.D. Research of methodical approaches rather evaluation quantitative and quality indicators of metrological maintenance of samples of arms and the military technics / N.D. Koshevoj, A.N. Nozhenko // The collection of scientific jobs of Military institute. The Kiev national university of name T.G. Shevchenko. — Kiev), — 2014. — № 45 — С/Р. 34—45.
4. Клименко С.М., Дуброва О.С., Барабас Д.О. Управление конкурентоспособностью предприятия. — К.: КНЕУ (Klimenko S.M., Dubrova O. S, Barabas D.O. Management of competitiveness of the enterprise. — K: KNEU), 2006. — 527 с/р.
5. Серединська В.М., Загородна О.М., Федорович Р.В. Економічний аналіз. Навчальний посібник. — Тернопіль: Видавництво Астон (Seredinskaja V.M, Zagorodnaja O.M., Fedorovich R.V. The economic analysis. The manual. — Ternopol: Publishing house Aston), 2010. — 624 с/р.
6. Фомін В. Н. Кваліметрія. Управління якістю. Сертифікація: Навчальний посібник. — М.: Віс — 89 (Fomin V.N. Quality metering. Quality managements. Certification: the Manual. — M.: Axis — 89). — 2002. — 384 с/р.
7. Мурашев, Ю.Г., Гайков-Алехов А.А. Кваліметрический анализ. Учебное пособие. — СПб.: Балт. гос. техн. ун-т (Murashev J.G., Gajkov-Alekhov A.A. The kvalimetrichesky analysis. The manual. — St.-Petersburg: the Baltic state technical university), 2006. — 108 с/р.
8. Шишкин И.Ф. Метрология, стандартизация и управление качеством. Учеб. для вузов / Под ред. акад. Н.С. Соломенко. — М.: Изд-во стандартов (Shishkin I.F. Metrology, standardization and quality management. The textbook for high schools / Under edition of academician N.S. Solomenko. — M: Standards Publishing House), — 1990. — 342 с/р.
9. Леонов И.Г., Аристов О.В. Управление качеством продукции. Учеб. пос. для спец. учеб. заведений. 2-е изд., перераб. и доп. — М. (Leonov I.G., Aristov O.V. The manual for special educational institutions. 2 edition processed and added — M): 1990. — 226 с/р. 

Отримано / received: 12.12.2014.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. С.І. Кондрашовим, Україна.
Prof. S.I. Kondrashov, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.

УДК 53.008:006.9:629.018

ОЦІНКА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ СЕРЕДНЬОГО КОЕФІЦІЄНТА ВІДНОСНОГО ТЕРТЯ ФРИКЦІЙНИХ ДЕМПФЕРІВ ЗА ВИПРОБУВАНЬ РЕСОРНИХ ПІДВІСІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

Г. Черепашук, кандидат технічних наук, доцент кафедри авіаційних приладів і вимірювань,
О. Потильчак, кандидат технічних наук, доцент кафедри,
Т. Бикова, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри,
 Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», м. Харків

Представлено структуру та програмне забезпечення вимірювального комплексу ВК-100 виробництва ТОВ «Інженерне бюро Авіаційного інституту», призначеного для вимірювання коефіцієнта відносного тертя фрикційних гасників коливань ресорних підвісів вантажних вагонів за їх випробувань. Наведено методику виконання вимірювань та запропоновано методику розрахунку невизначеності вимірювання середнього коефіцієнта відносного тертя.

A structure and software of measuring complex VK-100, which is produced OOO «The Engineering bureau of the Aviation institute» and intended for measuring of average coefficient of relative friction of friction shock absorber of freight carriages at their tests, are described in the article. The implementation of measuring method is resulted and the uncertainty calculation method of average coefficient of relative friction is offered. The equations for weighting coefficients are received by authors and uncertainty calculation in the point of 20 ton of force is made.

Ключові слова: коефіцієнт відносного тертя, методика виконання та невизначеність вимірювання, випробування вагонів.

Keywords: coefficient of relative friction, implementation method and uncertainty of measuring, carriage tests.

На сьогодні інтеграція залізничного транспорту України до загальноєвропейської транспортної системи є одним із пріоритетних завдань. Для створення рухомого складу, здатного інтегруватися до цієї системи, необхідно здійснювати пошук прогресивних технічних рішень відносно розроблення і впровадження нових конструкцій. Виникає необхідність оцінювання технічних показників елементів рухомого складу відповідно до міжнародних норм та угод [1, 2]. Одним із таких технічних показників є середній коефіцієнт відносного тертя фрикційних демпферів [3–6], який характеризує якість останніх і, відповідно, умов перевезення вантажу.

Коефіцієнт відносного тертя фрикційних гасників коливань — це відношення середньої за розтягнення і стискання сили тертя, яка створюється фрикційним гасником коливань у вертикальному напрямку, до величини статичного навантаження на ресорний підвіс. За умов експериментальних досліджень дійсний коефіцієнт відносного тертя визначають шляхом побудови функціональної залежності прогину ресорного підвісу від навантаження на ресорний комплект в певному діапазоні навантаження за стискання пружин та їх розтягнення. При цьому постає необхідність оцінки результатів експериментів. Наразі якість результатів вимірювань за випробувань вантажних вагонів ґрунтується на понятті «похибка», що є застарілим і не відповідає сучасним вимогам науки і техніки. Коли виникає потреба у визнанні й порівнянні результатів вимірювання на міжнародному рівні, постає необхідність у виборі підходів до оцінок у термінах «невизначеності». Закон України «Про зміни



Г. Черепашук



О. Потильчак



Т. Бикова

до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» дозволяє існування двох підходів до оцінки результатів вимірювань [7]. Така ситуація спричинює те, що оцінки просто перераховуються із одних в інші, що часто призводить до отримання некоректних результатів. Аналіз літератури показує, що зроблено кілька спроб оцінювання невизначеності вимірювання параметрів автомобільних конструкцій [8–10], але публікацій щодо оцінки невизначеності вимірювань за випробувань вантажних вагонів майже немає. Отже, вирішення питання щодо оцінки невизначеності вимірювань параметрів випробувань конструкцій залізничного транспорту, зокрема, коефіцієнта відносного тертя фрикційних демпферів є актуальною задачею.

Для визначення коефіцієнта відносного тертя фрикційних гасників коливань у ТОВ «Інженерне бюро Авіаційного інституту» спроектовано та виготовляється вимірювальний комплекс ВК-100. Це комп'ютеризована багатоканальна вимірювальна система, до програмного забезпечення якої закладено методику опрацювання результатів вимірювань з метою визначення такого параметра, як середній коефіцієнт відносного тертя фрикційних демпферів. *Мета статті* — розроблення методики оцінювання невизначеності вимірювання цього параметра.

СТРУКТУРА ВІМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ВК-100 ТА ЙОГО ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Вимірювальний комплекс ВК-100 призначений для вимірювання середнього коефіцієнта відносного тертя фрикційних гасників коливань ресорних підвісів візків вантажних вагонів. Комплекс складається з одного каналу вимірювання сили та двох каналів вимірювання лінійного переміщення, які пов'язані з персональним комп'ютером за допомогою інтерфейсу RS-485. Комплекс виконує такі функції: введення вихідних даних, вимірювання поточних значень сили та переміщення, опрацювання результатів вимірювань, формування звітності стосовно випробування, інші допоміжні функції.

Структурну схему комплексу наведено на рис. 1.

До складу вимірювального каналу сили входить тензOMETричний сенсор сили стис-

кання HSC-100 з верхньою границею вимірювання 100 тс, який монтується в під'ятникове місце надресорної балки та вимірює силу, що діє на візок.

До складу вимірювальних каналів лінійного переміщення входять потенціометричні сенсори RC20 200 G1R8K з верхньою границею вимірювання 200 мм, які встановлюються між надресорною балкою і боковими рамами в околах пружин ресорних комплектів.

ТензOMETричний і потенціометричні сенсори підключені до одностипних блоків нормувальних перетворювачів БНП1, БНП2, БНП3, які здійснюють живлення сенсорів і перетворення їх вихідних сигналів, пропорційно вимірюваним величинам. До складу БНП також входять аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), які перетворюють вимірюваний сигнал у послідовний цифровий код. БНП встановлюються на відстані (0,5...1) м від сенсорів і з'єднуються між собою, із блоком живлення і адаптером інтерфейсів RS-485/USB кабелями довжиною 5 м. Довжини кабелів живлення та інтерфейса можна подовжити до 100 м з можливістю підключення до них до 5 аналогічних вимірювальних каналів.

Комплекс ВК-100 підключається до персонального комп'ютера (ПК) через адаптер інтерфейсів RS-485/USB, який створює в ПК віртуальний COM-порт. Живлення вимірювальних каналів здійснює мережевий блок живлення з вихідною напругою 9 В.

На ПК встановлюється прикладне програмне забезпечення, яке здійснює введення вихідних даних, управління вимірювальними каналами, введення кодів поточних значень сили та переміщення, сигналізацію щодо перевантаження та несправності, накопичення та запам'ятовування результатів вимірювань, візуалізацію процесу вимірювання, опрацювання результатів вимірювання, обчислення необхідних параметрів, формування та видавання звіту.

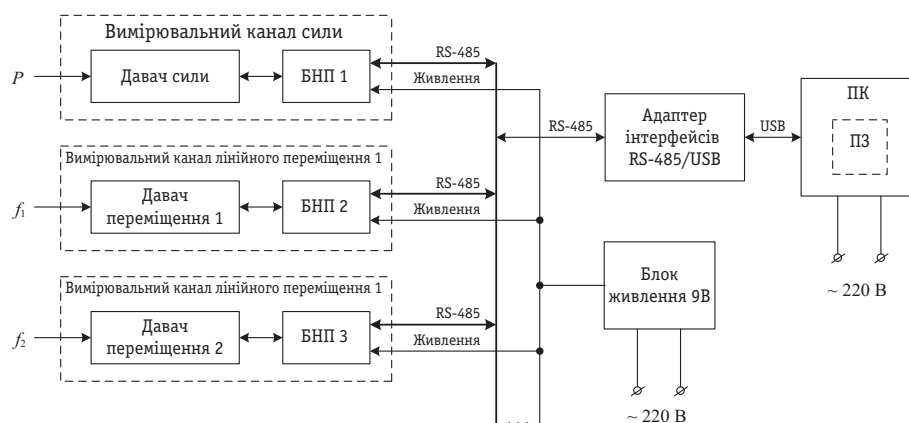


Рис. 1. Структурна схема вимірювального комплексу ВК-100

Fig. 1. Block diagram of measuring complex VK-100

Для розрахунку коефіцієнта відносного тертя виконується введення вихідних даних (рис. 2).

До таблиці вихідних даних у графі, позначені сірим кольором (1), дані вводяться вручну, в графі, позначені темно-сірим кольором (2), заносяться результати розрахунків. Розрахунок виконується після натискання кнопки «Рассчитать» в лівій нижній частині вікна.

Процес вимірювання включає поступове навантаження візка через сенсор сили до досягнення максимального значення навантаження. Швидкість навантаження — зміна значення сили від 0 до 60 тс — здійснюється за 5 хв. Після досягнення максимального навантаження виконується поступове зменшення сили також приблизно за 5 хв.

Запуск процесу реєстрації починається після натискання кнопки «ПУСК» (рис. 3).

Рис. 2. Вікно введення вихідних даних

Fig. 2. Initial data window

Таблиця. Вагові коефіцієнти

Table. Weight coefficients

№ з/п	Вираз для вагового коефіцієнта C_i	Значення вагового коефіцієнта
1.	$C_1 = \frac{\partial \varphi}{\partial P_{px1}} = \frac{\left[(P_{3x2} - P_{3x1})(f_{px2} - f_{px1}) - (P_{px} - P_{3x1})(f_{3x2} - f_{3x1}) \right] Z + \left[(P_{px} - P_{3x1})(f_{3x2} - f_{3x1}) + (P_{3x2} - P_{3x1})(f_{px2} - f_{px1}) \right] S}{Z^2}$	0,098
2.	$C_2 = \frac{\partial \varphi}{\partial P_{px2}} = \frac{2(P_{px} - P_{3x1})(f_{3x2} - f_{3x1})(P_{3x2} - P_{3x1})(P_{px} - P_{px1})(f_{px2} - f_{px1})}{Z^2}$	0,098
3.	$C_3 = \frac{\partial \varphi}{\partial P_{3x1}} = \frac{\left[(P_{px} - P_{px1})(f_{px2} - f_{px1}) - (P_{px2} - P_{px1})(f_{3x2} - f_{3x1}) \right] Z + \left[(P_{px2} - P_{px1})(f_{3x2} - f_{3x1}) + (P_{px} - P_{px1})(f_{px2} - f_{px1}) \right] S}{Z^2}$	0,097
4.	$C_4 = \frac{\partial \varphi}{\partial P_{3x2}} = \frac{2(P_{px} - P_{px1})^2 (f_{px2} - f_{px1})^2 (P_{3x2} - P_{3x1})}{Z^2}$	0,00097
5.	$C_5 = \frac{\partial \varphi}{\partial f_{px1}} = \frac{-2(P_{3x2} - P_{3x1})^2 (P_{px} - P_{px1})^2 (f_{px2} - f_{px1})}{Z^2}$	-0,00049
6.	$C_6 = \frac{\partial \varphi}{\partial f_{px2}} = \frac{-2(P_{3x2} - P_{3x1})^2 (P_{px} - P_{px1})^2 (f_{px2} - f_{px1})}{Z^2}$	-0,00049
7.	$C_7 = \frac{\partial \varphi}{\partial f_{3x2}} = \frac{-2(P_{px} - P_{3x1})(P_{px2} - P_{px1})(P_{3x2} - P_{3x1})(P_{px} - P_{px1})(f_{px2} - f_{px1})}{Z^2}$	-0,098
8.	$C_8 = \frac{\partial \varphi}{\partial f_{3x2}} = \frac{2(P_{px} - P_{3x1})(P_{px2} - P_{px1})(P_{3x2} - P_{3x1})(P_{px} - P_{px1})(f_{px2} - f_{px1})}{Z^2}$	0,098

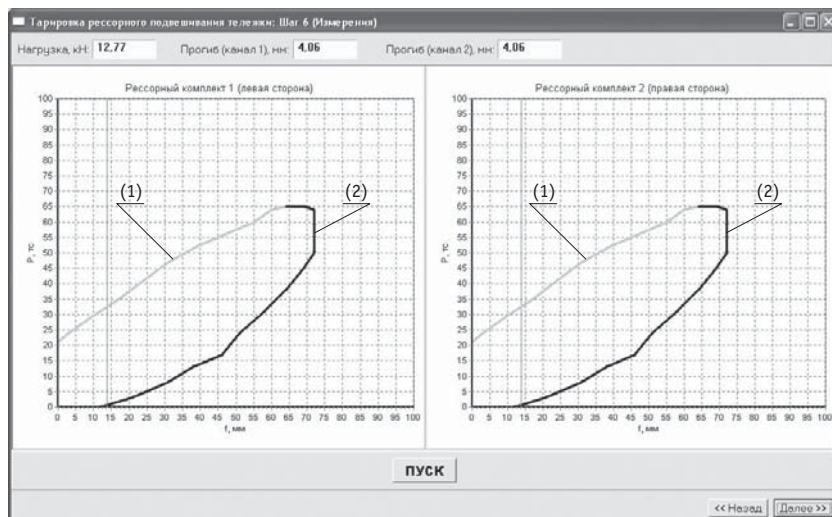


Рис. 3. Вікно реєстрації процесу вимірювання

Fig. 3. Measuring process registration window

Після досягнення навантаженням значення 1 кН (100 кгс) починається реєстрація даних у ПК та одночасна індикація поточних значень сили та переміщення у виді графіків. Закінчення реєстрації здійснюється за навантаження, меншого 1 кН (100 кгс). Частота реєстрації даних може бути в межах від 1 до 5 Гц.

На графіку (рис. 3) сірим кольором (1) зображено процес навантаження, а чорним (2) — процес розвантаження. Крім того, в ході вимірювання під кожним графіком з'являється напис «НАГРУЗКА» або

яється під час гальмування вагона, утворюється так звана петля гістерезису (рис. 4).

Крива навантаження реєструється спеціальними засобами вимірювальної техніки, потім у потрібних точках, які відповідають деформаціям порожнього і навантаженого вагонів, розраховується середній коефіцієнт відносного тертя за формулою:

$$\phi = (P_{\text{пх}} - P_{\text{зх}}) / (P_{\text{пх}} + P_{\text{зх}}), \quad (1)$$

де $P_{\text{пх}}$, $P_{\text{зх}}$ — сили, що діють на ресорний комплект під час його стиснення (прямий хід) і розтягнення (зворотний хід).

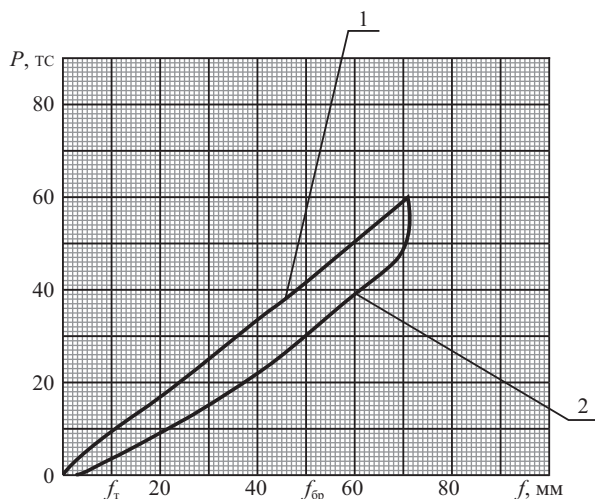


Рис. 4. Крива навантаження ресорного комплекту: прямий хід (крива 1), зворотний хід (крива 2)

Fig. 4. Load-graph of spring set: forward way (curve 1), back way (curve 2)

P — сила навантаження на ресорний комплект;
 f — величина деформації пружини;
 f_t , f_{br} — деформації пружини, що відповідають вазі порожнього вагона (тара) і навантаженого (брутто)

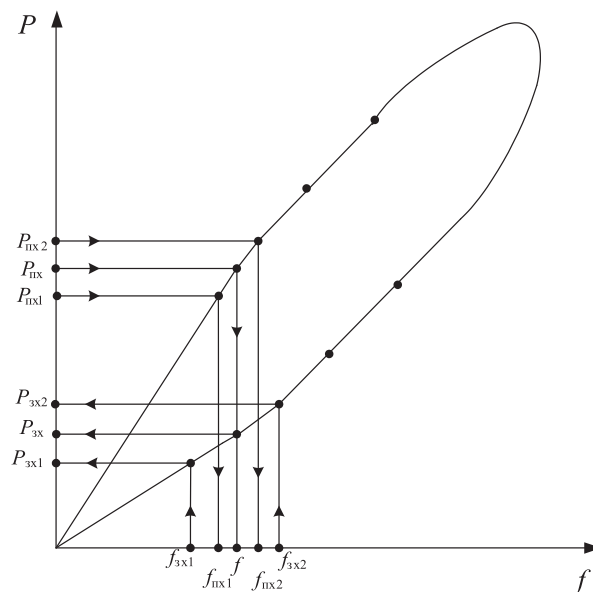


Рис. 5. Крива навантаження ресорного комплекту з використанням лінійної інтерполяції в околах $P_{\text{пх}}$

Fig. 5. Curve of spring set load with use of linear interpolation at $P_{\text{пх}}$

«РАЗГРУЗКА» залежно від наявного режиму.

Після закінчення реєстрації на графіках проводяться вертикальні лінії, що відповідають прогину $f_{\text{пх}}$ для вагона з мінімальною та максимальною розрахунковими масами.

АНАЛІЗ МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ВИМІРЮВАНЬ

Крива навантаження ресорного підвісу в ході його стиснення і розтягнення має вид функціональної залежності величини навантаження від прогину. За рахунок поглинання демпфером енергії, що вивіль-

Найбільша проблема, яка виникає за обчислення коефіцієнта відносного тертя, — це отримання значень $P_{\text{пх}}$ та $P_{\text{зх}}$ для однієї і тієї ж величини деформації, оскільки процеси стискання та розтягнення не синхронізуються, а є послідовними у часі. Оскільки характеристики прямого і зворотного ходів мають приблизно вид лінійних функцій, дослідники часто апроксимують їх функціями цього виду і розраховують за ними значення $P(f)$. При цьому, окрім інструментальної невизначеності, результат розрахунків коефіцієнта відносного тертя містить невизначеність, зумовлену апроксимацією.

Сучасний рівень технічного обладнання дозволяє автоматизувати процес випробувань ресорних підвісів, підвищити роздільну здатність реєстрації кривої навантаження і зменшити невизначеність вимірювання шляхом переходу від апроксимації всієї характеристики до її інтерполяції в околах потрібних значень деформацій.

Фактично характеристика навантаження має такий вид (рис. 5).

Припустимо, що, наприклад, значення ваги по-рожного вагона, яке для цього випадку відповідає величині $P_{\text{пх}}$ у формулі (1), миститься між відліками $P_{\text{пх1}}$ і $P_{\text{пх2}}$, тоді деформація, що відповідає цій силі, дорівнює

$$f = f_{\text{пх1}} + \frac{f_{\text{пх2}} - f_{\text{пх1}}}{P_{\text{пх2}} - P_{\text{пх1}}} \cdot (P_{\text{пх}} - P_{\text{пх1}}). \quad (2)$$

Визначаємо силу, що відповідає цій деформації на зворотному ході:

$$P_{\text{зх}} = P_{\text{зх1}} + \frac{P_{\text{зх2}} - P_{\text{зх1}}}{f_{\text{зх2}} - f_{\text{зх1}}} \cdot (f - f_{\text{зх1}}). \quad (3)$$

Підставивши (3) у вираз (1), отримаємо залежність середнього коефіцієнта відносного тертя від вимірюваних параметрів:

$$\varphi = \frac{\left((P_{\text{пх}} - P_{\text{зх1}})(P_{\text{пх2}} - P_{\text{пх1}})(f_{\text{зх2}} - f_{\text{зх1}}) - \right.}{\left((P_{\text{пх}} - P_{\text{зх1}})(P_{\text{пх2}} - P_{\text{пх1}})(f_{\text{зх2}} - f_{\text{зх1}}) + \right.}} \cdot \left((P_{\text{зх2}} - P_{\text{зх1}})(P_{\text{пх}} - P_{\text{пх1}})(f_{\text{пх2}} - f_{\text{пх1}}) \right). \quad (4)$$

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ КОЕФІЦІЄНТА ВІДНОСНОГО ТЕРТЯ ФРИКЦІЙНИХ ДЕМПФЕРІВ

Для оцінювання комбінованої невизначеності вимірювання коефіцієнта відносного тертя скористаємося формулою для опосередкованих вимірювань:

$$u_c(\varphi) = \sqrt{\sum_{i=1}^n C_i^2 u_c^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n C_i C_j r_{ij} u_c(x_i) u_c(x_j)}, \quad (5)$$

де C_i , C_j — вагові коефіцієнти, які є частинними похідними $C_i = \partial\varphi/\partial x_i$;

x_i — аргументи функції φ ;

r_{ij} — коефіцієнти кореляції між результатами вимірювань.

Вирази для вагових коефіцієнтів наведені в таблиці, де використовуються такі позначення:

$$Z = (P_{\text{пх}} - P_{\text{зх1}})(P_{\text{пх2}} - P_{\text{пх1}})(f_{\text{зх2}} - f_{\text{зх1}}) + (P_{\text{зх2}} - P_{\text{зх1}})(P_{\text{пх}} - P_{\text{пх1}})(f_{\text{пх2}} - f_{\text{пх1}}),$$

$$S = (P_{\text{пх}} - P_{\text{зх1}})(P_{\text{пх2}} - P_{\text{пх1}})(f_{\text{зх2}} - f_{\text{зх1}}) - (P_{\text{зх2}} - P_{\text{зх1}})(P_{\text{пх}} - P_{\text{пх1}})(f_{\text{пх2}} - f_{\text{пх1}}).$$

Оскільки значення сил $P_{\text{пх1}}$, $P_{\text{пх2}}$, $P_{\text{зх1}}$, $P_{\text{зх2}}$ та відповідних деформацій $f_{\text{пх1}}$, $f_{\text{пх2}}$, $f_{\text{зх1}}$, $f_{\text{зх2}}$ отримані за допомогою одного вимірювального каналу і мають однакові статистичні характеристики, вираз (5) можна привести до виду:

$$u_c(\varphi) = \sqrt{\left[(C_1^2 + C_2^2 + C_3^2 + C_4^2 + 2(C_1 C_2 + C_3 C_4) r(P)) \cdot u_c^2(P) + \right.} \quad (6)$$

$$\left. + \left[(C_5^2 + C_6^2 + C_7^2 + C_8^2 + 2(C_5 C_6 + C_7 C_8) r(f)) \cdot u_c^2(f) \right] \right.}$$

де $u_c(P)$, $u_c(f)$ — відповідно комбіновані невизначеності вимірювання сили, що діє на підвіс, та його деформації;

$r(P)$, $r(f)$ — відповідно коефіцієнти кореляції результатів вимірювання сили та деформації.

У виразі (6) виконані спрощення, які зумовлені таким. Відліки сили (деформації) вимірюються одними і тими ж засобами за одних і тих же умов в автоматичному режимі з достатньо високою частотою, тому сусідні результати вимірювань будуть корельовані. Визначення коефіцієнтів кореляції потребує додаткових досліджень вимірювальних каналів, на яких у цій роботі зупинятися не будемо. Зазначимо, що для одного із екземплярів вони становлять $r(P) = 0,42$, $r(f) = 0,18$.

Отже, методика оцінювання комбінованої невизначеності вимірювання коефіцієнта відносного тертя фрикційних гасників коливань полягає в такому.

1. Оцінка невизначеностей вимірювання сили, що діє на демпфер, $u_c(P)$ та його деформації $u_c(f)$.

2. Оцінка відповідних коефіцієнтів кореляції $r(P)$, $r(f)$.

3. Визначення вагових коефіцієнтів C_i .

4. Розрахунок невизначеності вимірювання коефіцієнта відносного тертя за формулою (5).


Розрахунки невизначеності показали, що для точки $P_{\text{пх}} = 20$ тс за умови $u_c(P) = 0,06$ тс та $u_c(f) = 0,12$ мм невизначеність коефіцієнта відносного тертя становить 1,17.

ВИСНОВКИ

Отже, розроблена методика оцінювання невізначеності коефіцієнта відносного тертя фрикційних демпферів знайшла застосування у складі про-

грамного забезпечення вимірювального комплексу ВК-100 і може використовуватися в подібних системах для експериментальних досліджень ресорних підвісів візків вагонів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Донченко А.В. Стратегія розвитку транспортно-го машинобудування залізниць України [Текст] / А.В. Донченко // Збірник наукових праць УкрДАЗТ (Donchenko A.V. Development strategy of transport building of Ukrainian railways / A.V. Donchenko // Scientific works collection of UkrDAZT). — 2013. — № 139. — С/Р. 16—24.
2. До питання оцінки надійності гальмівних систем рухомого складу [Текст] / Донченко А.В., Водяников Ю.Я., Гречко А.В., Корабельников О.Л. // Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад» ДП «УкрНДІВ» (To the question of reliability estimation of the brake systems of rolling stock [Text] / Donchenko A.V., Vodyannikov U.A., Grechko A.V., Korabelnikov O.L. // Scientific works collection «Rail moving train» of DP «UKRNDIV»). — 2013. — № 9. — С/Р. 57—59.
3. Губачева, Л. О. Моделювання динамічних процесів транспортних засобів [Текст]: навчальний посібник / Л.О.Губачева. — Луганськ: Вид-во СХУ ім. В. Даля (Gubacheva, L. O. Modeling of dynamic processes of transport vehicles [Text]: train aid / L.O.Gubacheva. — Lugansk: Publ. of SNU by name of V. Daliy), 2009. — 120 с/р.
4. Тележки двухосные трехэлементные грузовых вагонов железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия (ГОСТ 9246 — 2013). — [Введен 01.07.2014]. — Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М.: Стандартиформ (Light carts biaxial trekhelementnye freight carriages of railways of track 1520 mm. General tts (GOST 9246 — 2013). — [Intr. 01.07.2014]. Minsk: Mezghos. council of standardization, metrologii and certification; M.: Standartinform), 2014. — 24 с/р.
5. Конструирование и расчет вагонов: учеб. для вузов ж.-д. трансп. [Текст] / В.В. Лукин [и др.]; под ред. В.В. Лукина. — М.: УМК МПС России (Constructing and calculation of carriages: studies. for the institutes of transp. [Text] / V.V. Lukin [and other]; under red. V.V. Lukina. М.: УМК MPS to Russia), 2000. — 731 с/р.
6. Соколов, М.М. Гасители колебаний подвижного состава: справочник [Текст] / М.М. Соколов, В.И. Варавва, Г.М. Левит. — М.: Транспорт (Sokolov M.M. Shock absorbers of rolling stock: reference book / M.M. Sokolov, V.I. Varrava, G.M. Levit. — Transport), 1985. — 215 с/р.
7. Закон України № 1314-VII від 05.06.2014 «Про метрологію та метрологічну діяльність» [Електронний ресурс] // Офіційний веб-портал Верховної Ради України. — Електрон. дан. (2 файли). — Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>. (Law of Ukraine № 1314-VII from 05.06.2014 «About metrology and metrological activity»)
8. Мерзиевська, В.В. Оцінювання невизначеності вимірювання параметрів автомобільних двигунів під час стендового випробовування [Текст] / В.В. Мерзиевська // Системи обробки інформації. — Харків (Merzhyevska V. Evaluation of measurement uncertainty in automobile engine bench tests / V. Merzhyevska // Processing information systems. Kharkov). — 2008. — № 4(71). С/Р. 112—116.
9. Жарко, Ю.Г. Испытания автотранспорта: стандартизация, сертификация, оценивание неопределенности измерений [Текст] / Ю.Г. Жарко // Системи обробки інформації. — Харків (Zharko Y. Tests of motor transport: standardization, certification, uncertainty estimation of measurement / Y. Zharko Processing information systems. Kharkov). — 2008. — № 4(71). С/Р. 108—111.
10. Кашканов, А.А. Оцінювання невизначеності значень коефіцієнта зчеплення та її вплив на результати автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод [Текст] / А.А. Кашканов // Вісник НТУ «ХПІ» (Uncertainties estimation of the factor of the traction and its influence upon results auto technical expert operations of the road adventures / A.A. Kashkanov // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Car and tractorbuilding. — Kharkiv: NTU «KhPI»), 2014. — № 8 (1051). — С/Р. 61—66.
11. Guide to the Expression Uncertainty in Measurement / First Edition — ISO/Switzerland. 1993/—101 p. Руководство по выражению неопределенностей измерения. Русский перевод. Научный редактор Слаев В.А. — Санкт-Петербург. — НПО ВНИИМ им. Менделеева, 1999. — 134 с.
12. Захаров, И.П. Теория неопределенности в измерениях: учеб. пособ. [Текст] / И.П. Захаров, В.Д. Кукуш. — Харьков: Консум (Zakharov, I.P. The theory of uncertainty in measurements: studies. book / I.P. Zakharov, V.D. Kukush. — Kharkov: Konsum), 2002. — 256 с/р.
13. Дорожовець, М. Опрацювання результатів вимірювань: навч. посіб. // М. Дорожовець — Львів: Вид-во Нац. Ун-ту «Львівська політехніка» (Dorozhovez M. Treatment of measuring results: train aid. — Lviv: Publishing house of national university «Lvivska politechnika»), — 2007. — 624 с/р. 

Отримано / received: 12.12.2014.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. І.П. Захаровим (Україна).
Prof. I.P. Zakharov, D.Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.

УДК: 535.241.42

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ СВІЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІМІТАТОРІВ СВІЛОВИХ ПРИЛАДІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

В. Терещенко, інженер,

Національний науковий центр «Інститут метрології», м. Харків

Проведено аналіз приладів, які застосовуються для повірки та калібрування вимірників параметрів світла зовнішніх світлових приладів транспортних засобів. Як об'єкт дослідження використано еталонний телецентричний освітлювач «ЕТО-2». Основними напрямками дослідження стали конструктивні особливості приладу, його відмінності від аналогічних та характеристики вихідного оптичного випромінювання.

A comprehensive analysis of devices intended for testing and calibration light gauges, headlights lighting characteristics and car

light driving. The object of investigation was selected reference illuminator telecentric «RTI-2». The main areas of research are the design features of the device, its differences with devices analogues, as well as characteristics of the output of the optical radiation. Obtained diagrams spatial distribution of radiation at different distances. Apply different attenuators radiation and aperture. Estimated change in the basic photometric quantities - intensity, depending on the distance. Work on the analysis of the measurement errors of light intensity when using «RTI-2». The obtained results of the study are summarized and tabulated.

Ключові слова: сила світла, люксеметр, довжина, похибка, освітленість, фара автомобільна, освітлювач

Keywords: intensity, light meters, distance, error, lighting, headlamp, illuminator

Убезпечення життєдіяльності людей є головним завданням усіх світових держав. Світло, як один із головних засобів нашого пізнання навколишнього середовища, повинно правильно сприйматися нашим оком. Це залежить від багатьох чинників, зокрема, від якісного виробництва джерел світла та приймачів, що забезпечують їх контроль. Один із напрямків забезпечення дорожнього руху, що потребує детального розгляду, — якість повірки та калібрування зовнішніх світлових приладів (ПЗС) транспортних засобів. Це обумовлено тим, що під час руху за темної або сутінкової частини доби безпека водія, його пасажирів, пішоходів, інших водіїв залежить від інформації, яку водій отримує оком від об'єктів, освітлених ПЗС його автомобіля. В Україні, як і в усьому світі, ведуться постійні роботи з підвищення безпеки дорожнього руху [1–3]. Контроль ПЗС дорожньо-транспортних засобів (ДТЗ) забезпечується у декілька етапів. На першому контролюють прилади, які мають властивості фар ДТЗ [4–7] — імітатори ПЗС типу «ЕТО-2» [8]. Вони необхідні для проведення повірки приладів-приймачів оптичного випромінювання фар ДТЗ, які, у свою чергу, проводять вимірювання сили світла автомобільних фар. У [1–5] наведено два методи вимірювання сили світла ПЗС. Перший засновано на приладі — реглоскопі [9], що реєструє світлотіньову характеристику оптичного випромінювання. Другий — на реєстрації оптичного випромінювання на екрані. Однак, для проведення повірки приймачів необхідно використовувати еталонні освітлювачі, що мають відомі оптичні характеристики джерела світла високої якості.

У Національному науковому центрі «Інститут метрології» [4–7] сконструйовано та досліджено стенд [4], який вирішує одразу обидва завдання. Конструкція стенда передбачає використання як еталонного фотоприймача з пересувним екраном, так і джерела оптичного випромінювання.



Мета роботи — дослідження пристроїв, призначених для проведення повірки та калібрування вимірників сили світла ПЗС. Об'єктом дослідження є еталонний телецентричний освітлювач «ЕТО-2» фірми «Мета» (Росія). У рамках дослідження проводиться аналіз методики роботи приладу, його конструктивні особливості та похибки, що виникають під час проведення вимірювання сили світла.

ЕТАЛОННИЙ ТЕЛЕЦЕНТРИЧНИЙ ОСВІТЛЮВАЧ «ЕТО-2»

Еталонний телецентричний освітлювач «ЕТО-2» [8] (рис. 1) призначений для калібрування та повірки приладів, що застосовуються для вимірювання параметрів ПЗС автотранспортних засобів. Принцип передавання одиниці сили світла в процесі повірки приладів регулювання фар засновано на теорії фотометрування за допомогою лінз і проводиться на фокусній відстані лінзи приладу.

Освітлювач реалізовано на основі змішаної системи відбивача оптичного випромінювання та лінзи. Ця система формує телецентричний хід променів. Отримання еталонного оптичного випромінювання забезпечується стабілізацією сили струму лампи освітлювального блока. Як джерело оптичного випромінювання використовується лампа зі спектральними характеристиками, близькими до таких джерела типу А ($T_k = 2856 \pm 100\text{K}$).

Повірка ЗВТ проводиться згідно з паспортом приладу і настановою з експлуатації. Вимірювання виконуються у світлоізольованому приміщенні на відстані $L = 7\text{ м}$ від лінзи освітлювача. Необхідно контролювати положення освітлювача та приладу приймача так, щоби вони містилися на одній оптичній осі. У паспорті приладу наведені значення сили світла, які повинні бути у ході проведення повірки приладу. Фіксовані значення сили світла отримуються за допомогою послаблення оптичного випромінювання комбінацією послаблювачів та діафрагм (діаметром 40 та 30 мм), за умов підтримання стабіль-

ності сили струму на лампі. Необхідні значення сили світла встановлюються світлофільтрами і діафрагмами із комплекту поставки приладу.

ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ СИЛИ СВІТЛА

Дослідження еталонного телецентричного освітлювача «ЕТО-2» виконувалося на стенді ННЦ «Інститут метрології». Проведено роботи з визначення похибок вимірювання сили світла та встановлення можливості їх корекції або усунення. Аналіз похибок базувався на методах, представлених у [4].

Першою виконувалася повірка роботи блока живлення освітлювача, його джерела оптичного випромінювання та з'єднувальних контактів. Встановлено, що для виходу на режим роботи освітлювача потрібно 25 хв. Значення сили світла у цей час різко змінювалося у різні сторони. Причиною цьому є недостатнє прогрівання джерела оптичного випромінювання. Після стабілізації оптичного випромінювання дрейф лампи не перевищував 0,5 %.

Далі досліджувався вплив похибки подавання електричного струму на освітлювач, зумовленої опором перехідних контактів. Завдяки використанню сучасних з'єднувальних кабелів системи живлення отримано мінімальні значення похибки (1 %), значно менші від результатів (3 %) за досліджень на стенді ННЦ «Інститут метрології». Причиною цьому є загальний принцип роботи стенда — повна імітація ПЗС транспортного засобу, а тому наявність більш істотного опору на контактах.

Одним із найсуттєвіших джерел похибки вимірювання сили світла є точність встановлення сили струму лампи та її подальша стабілізація. Як вже зазначалося, для отримання стабільного оптичного випромінювання необхідно проводити вимірювання через 25 хв — це час, необхідний для виходу на режим роботи не лише джерела світла, а й джерела живлення приладу. Однак, навіть після остаточної стабілізації та встановлення сили струму, регламентованої у настанові з експлуатації, є можливість періодичного коливання. Похибка вимірювання, зумовлена таким джерелом, не перевищує 3 %.

Окремого розгляду потребують похибки, зумовлені умовами проведення вимірювань, а саме, обладнанням приміщення. В [1–4, 8] описано вимоги до приміщень, у яких проводяться відповідні вимірювання.

До таких похибок належить наявність небажаних відбивань оптичного випромінювання від навколишніх об'єктів. Еталонний телецентричний освітлювач застосовується для проведення періодичної повірки ЗВТ, призначених для вимірювання сили світла ПЗС транспортних засобів. Методика повірки вимагає отримання результатів, наведених у настанові з експлуатації,

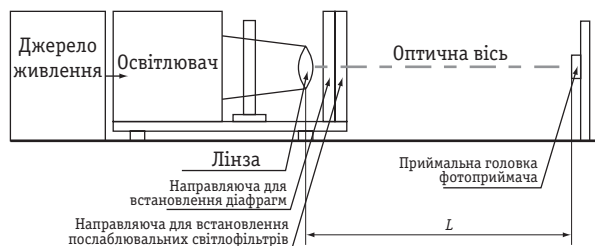


Рис. 1. Схема еталонного телецентричного освітлювача «ЕТО-2»

Fig.1. The scheme of the reference illuminator telecentric «RTI-2»

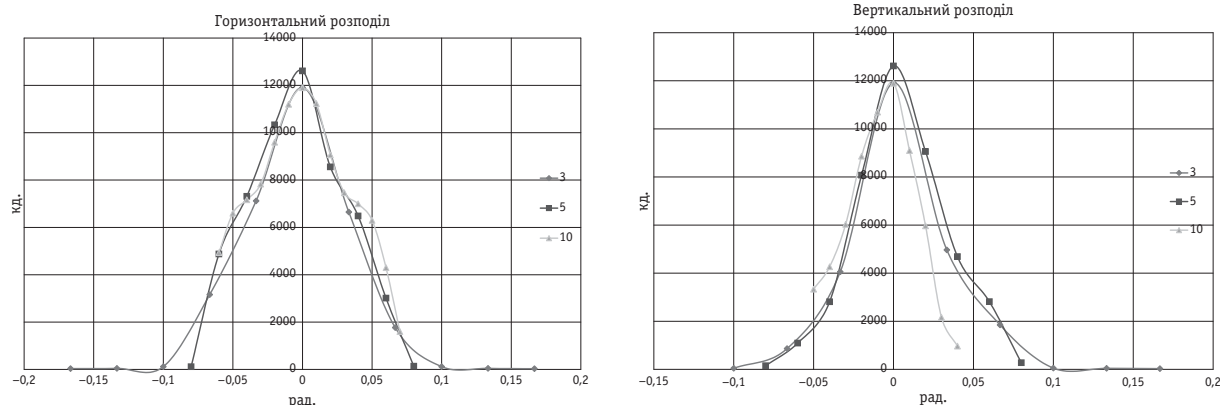


Рис. 2. Розподіл сили світла на екрані
Fig. 2. Dispatch of light intensity on the screen

які подаються у виді таблиці зі значеннями сили світла за різних режимів роботи приладу, отриманими за первинної повірки приладу. Вимірювання проводилися із застосуванням діафрагм 40 і 30 мм та спеціальних послаблювачів випромінювання. Багатократні вимірювання у режими використання діафрагм показали результати, які задовольняли результати первинної повірки (2,5 %). Однак, за повного вихідного отвору відбивача результати були на 8 % більші, ніж отримані на стенді. Причиною такої похибки може бути похибка первинної повірки. Ураховуючи, що діаметр вихідного отвору відбивача значно більший, ніж за використання діафрагм, то і випромінювання поширюватиметься під більшим кутом, що призводить до відбивання від навколишнього середовища. Наявність діафрагм зменшує вплив розсіяного оптичного випромінювання.

Виконувалися вимірювання просторового розподілу сили світла. На рис. 2 зображено результати вимірень просторового розподілу за застосування діафрагми діаметром 40 мм. Як вже зазначалося, реєстрація оптичного випромінювання може здійснюватися за допомогою реглоскопа або на вимірювальному стенді. У такому випадку для отримання характеристики оптичного випромінювання використовувався екран стенда ННЦ «Інститут метрології» з розміткою (крок розмітки 100 мм). Юстування екрана проводилося у такий спосіб, щоб максимум інтенсивності випромінювання містився у центрі координат екрана.

За допомогою сформованих діаграм розподілу сили світла від кута відхилення випромінювання відносно максимуму інтенсивності, оцінено вплив діаметра вихідного оптичного отвору на подальший розподіл світла у просторі. На основі цієї серії вимірювань сформовано таблицю 1, у якій наведено максимальну та середню похибку вимірювання сили світла на трьох відстанях: 3, 5, 10 м від лінзи освіт-

лювача, — та з трьома діаметрами вихідного отвору оптичного відбивача (без діафрагми, з діафрагмами діаметром 40 та 30 мм).

Із результатів, наведених у табл. 1, видно суттєву відмінність між максимальною та середньою похибками. Значення максимальної похибки значно більші від середньої. Основним чинником настільки суттєвої розбіжності результатів є необхідність переюстування екрана після кожної серії вимірювань. Зважаючи на те, що юстування екрана виконується за трьома координатами, забезпечення єдності результатів можливе лише за багаторазових вимірювань. Також на рис. 2 та з табл. 1 видно, що результати, отримані з використанням діафрагм, мають більш істотну похибку. Це зумовлено зменшенням освітленої поверхні, завдяки чому важче досягти повторюваності вимірювань.

Ще одним важливим критерієм роботи будь-якого освітлювача є зберігання значення сили світла на всіх відстанях, а саме, дотриманість закону квадратів відстані. Загально відомо, що сила світла має

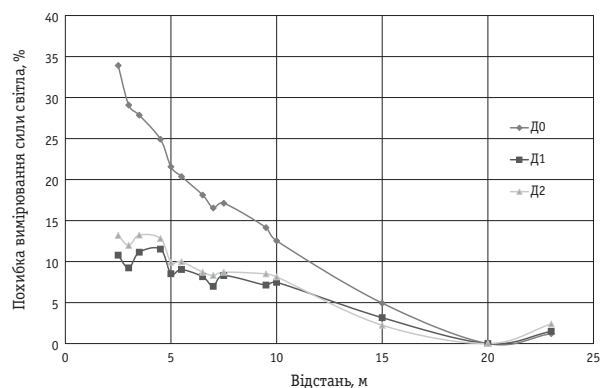


Рис. 3. Похибка вимірювання сили світла залежно від відстані

Fig. 3. Measurement error of light intensity at different distances

Таблиця 1. Максимальна та середня відносні похибки вимірювань сили світла
Table 1. The maximum and average relative errors of light intensity measurement

I	Освітлювальна система	Горизонтальний розподіл		Вертикальний розподіл	
		максимальна	середня	максимальна	середня
3	Без діафрагм	0,110	0,050	0,101	0,039
	Діафрагма 40 мм	0,147	0,071	0,070	0,052
	Діафрагма 30 мм	0,089	0,046	0,092	0,063
5	Без діафрагм	0,069	0,045	0,094	0,051
	Діафрагма 40 мм	0,021	0,009	0,056	0,029
	Діафрагма 30 мм	0,063	0,009	0,030	0,023
10	Без діафрагм	0,014	0,006	0,033	0,009
	Діафрагма 40 мм	0,040	0,007	0,059	0,015
	Діафрагма 30 мм	0,060	0,007	0,038	0,007

бути однаковою на всіх відстанях, однак на практиці вона постійно зростає. Як опорне значення для розрахунків взято максимальне значення сили світла (20 м), та за його допомогою отримано значення похибки зміни сили світла з відстанню.

На рис. 3 наведено графік розподілу сили світла від відстані. Зображені на рисунку криві належать до трьох діаметрів вихідного оптичного отвору (Д0 — відбивач без діафрагми; Д1 — з діафрагмою 40 мм; Д2 — з діафрагмою 30 мм).

Із графіку видно, що найбільше значення похибки наявне за вимірювання без діафрагм. Використання діафрагм дало суттєвий результат для зменшення похибки сили світла на відстані.

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ

Розглянуті прилади використовуються для проведення повірки та калібрування вимірників сили світла методом передавання сили світла до приладу, що повіряється. Базуючись на одній моделі реалізації одиниці сили світла, вони мають конструктивні відмінності. Стенд, розроблений у ННЦ «Інститут метрології», сконструйовано за ідеєю імітатора фари транспортного засобу з можливістю заміни як джерела оптичного випромінювання, так і всієї оптичної системи. За допомогою стенда виявлено, проаналізовано і скориговано похибки, що виникають за проведення відповідних вимірювань та недоступні

Таблиця 2. Порівняльна характеристика похибки вимірювання сили світла освітлювача та стенда
Table 2. Comparative characteristics of the measurement error for intensity illuminator and stand

Джерело похибки	Похибка стенда, %	Похибка «ЕТО-2», %	Примітка до результатів вимірювання «ЕТО-2»
Перехідні контакти	3	1	Використовується сучасна система контактних з'єднань
Похибки блока живлення	0,5	3	Вплив коливання сили струму на вихідне випромінювання
Стабільність у часі	0,5	0,5	Дрейф джерела випромінювання
Відбите випромінювання	1	8	Похибка отримувалася за зрівняння отриманих результатів вимірювання та паспорта приладу
Фонове засвічення	0,5...9,5	0,5...9,5	Залежить від приміщення
Юстування екрана (за довжиною)	3	5	Залежить від розміщення (освітлювача та приймача)
Юстування екрана (за координатою)	2...6	3...13	Залежить від діаметра вихідного отвору та відстані до приймача
Усереднення за діаметром голівки фотометричної	2,5...5	2,5...5	Залежить від діаметра приймача
Корекція за $V(\lambda)$	3...5	—	Похибка належить приймачу оптичного випромінювання
Температурна залежність чутливості приймача	6	—	Похибка належить приймачу оптичного випромінювання

за звичайних досліджень. У свою чергу, «ЕТО-2» повністю замінює автомобільну фари на освітлювач з відомим та стабільним джерелом оптичного випромінювання, близьким за характеристиками до джерела світла типу А. Використання такого приладу дозволяє проводити вимірювання на високому рівні, однак лише на режимах, регламентованих настановою з експлуатації.

У табл. 2 наведено значення похибки вимірювання сили світла для стенда ННЦ «Інститут метрології» [4] і еталонного телецентричного освітлювача «ЕТО-2» фірми «Мета».


ВИСНОВКИ

Проведено порівняльний аналіз еталонного телецентричного освітлювача «ЕТО-2» та стенда, розробленого в ННЦ «Інститут метрології». Основними напрямками дослідження стали конструктивні особливості приладу, принцип дії та специфічні похибки вимірювання сили світла. Отримані результати ек-

периментальних досліджень дозволили сформувати таблицю похибок роботи приладів, які використовуються для проведення повірки та калібрування вимірників сили світла зовнішніх світлових приладів транспортних засобів. Додатково сформовано діаграми просторового розподілу оптичного випромінювання на різних відстанях із застосування обмежувальних діафрагм, що дозволило оцінити характер зміни ходу оптичного сигналу. Також проведено роботи з аналізу зберігання рівня сили світла залежно від відстані. Зазначені експериментальні дослідження дозволили оцінити методику роботи з відповідними приладами та звернути увагу на їх недоліки.

Обидва прилади спрямовані на вирішення типових завдань, однак необхідно відзначити, що в основі кожного з приладів є різні принципи дії. Стенд, розроблений в ННЦ «Інститут метрології», базується на принципі повної імітації фари транспортного засобу, а «ЕТО-2» — на заміні фари на досліджений освітлювач зі стабільним джерелом випромінювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. ДСТУ 3687-97 Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги з експлуатаційного стану / керівник розробки З. Дерех. — Офіційне видання Київ: Держстандарт України (State Standard 3687-97 Road Safety. Highways, streets and rail road crossings. The requirements of the operational status / head of development Z. Dereh. — official edition. — Kiev: National Standard of Ukraine), 1997. — 22 с/р.
2. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання / керівник розробки В. Б. Агєєв. — Проект, остаточна редакція. — Київ: Держспоживстандарт України (State Standard 3649:2010 Wheeled transport vehicles. Requirement in relation to the unconcern of the technical state and methods of controlling / head of development V. B. Ageev. Project, final formulation. Kyiv: National Standard of Ukraine), 2011. — 56 с/р.
3. ГОСТ 3544-75 Фары дальнего и ближнего света автомобилей. Технические условия / редактор В. П. Огурцов. — Официальное издание. — М.: ИПК Издательство стандартов (State Standard 3544-75 Headlights and driving lights of cars. Specifications / head of development V. Ogurcov. — Official edition. — M.: Publisher IPC standards), 2000. — 20с/р.
4. Купко О.Д. Аналіз похибок вимірювання сили світла автомобільних фар / О.Д. Купко, В.В. Терещенко // Метрологія та прилади (Kupko A.D. Analysis of measurement errors strength headlights / A.D. Kupko, V.V. Tereshchenko // Metrology and instruments). — 2014. — №4. — С/Р. 32—37.
5. Купко О.Д. Теоретичний аналіз систематичних похибок вимірювання яскравості / О.Д. Купко, Б.Г. Шабашкевич, Ю.Г. Добровольський // Український метрологічний журнал (Kupko A.D. Theoretical analysis of systematic measurement errors brightness / A.D. A.D. Kupko, B.G. Schabashevich, U.G. Dobrovolskii // Ukrainian Metrology Journal). — № 4. — 2013. — С/Р. 33—37.
6. Купко О.Д. Особливості вимірювання світлотехнічних параметрів на транспорті / О.Д. Купко // Метрологія та прилади (Kupko A.D. Features measuring lighting parameters on transport / A.D. Kupko // Metrology and instruments). — 2010. — в. 5. — С/Р. 56—61.
7. Купко А.Д. О необходимости оптимизации методик измерения световых величин при большом числе объектов. Світлолюкс (Kupko A.D. About the necessity of optimization of methods of measuring of light sizes at the large units of objects. Svitlolyuks), №4, 2012, С/Р. 27—29.
8. Настанова з експлуатації. Еталонний телецентричний освітлювач «ЕТО-2» (Instruction Manual. Reference telecentric illuminator «RTI-2»). — 2009 р.
9. Айзенберг Ю.Б. Справочная книга по светотехнике / Ю.Б. Айзенберг. — М: Знак (Ayzenberg U.B. Reference book on lighting technology / U.B. Ayzenberg. — Moscow: Znak), 2006. — 972 с/р. 

Отримано / received: 17.11.2014.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Ю.П. Мачехінін (Україна).

Prof. Yu. P. Machehin, Dr. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.

УДК 389.64:531.733

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБЛІКУ ОБ'ЄМУ СКРАПЛЕНОГО ГАЗУ ПІД ЧАС ЙОГО ПРОДАЖУ НА АВТОГАЗОЗАПРАВНИХ СТАНЦІЯХ (АГЗС)

А. Демченко, начальник відділу,
В. Коваль, заступник начальника відділу,
Г. Леонов, начальник лабораторії,
ДП «Укрметртестстандарт», м. Київ

Викладено організаційні й технічні аспекти метрологічного забезпечення обліку скрапленого вуглеводневого газу (LPG) під час його продажу на автогазозаправних станціях і пунктах (АГЗС).

Показано пріоритетну роль ДП «Укрметртестстандарт» у створенні еталонної й нормативної баз для метрологічного забезпечення обліку LPG за його продажу на АГЗС, проведення державних випробувань колонок для відпуску скрапленого вуглеводневого газу (колонок LPG) вітчизняного й закордонного виробництва, освоєння масової повірки колонок LPG, надання методичної й технічної допомоги органам державної метрологічної служби в технічному оснащенні й освоєнні повірки колонок.

The article discusses organizational and aspects of metrological assurance of liquefied petroleum gas (LPG) volume metering when the gas is sold at gas filling stations and stations (GFS).

The strategic role of the SE «Ukrmetrteststandard» is shown in the following areas: in creating reference standards and regulatory framework for metrological assurance of LPG volume metering when it is sold at GFSs, in carrying out state tests of fuel filling dispensers of liquefied petroleum gas (LPG FFD) of domestic and foreign manufacture, in utilizing large-scale calibration of LPG FFDs, in provision of methodological guidance and technical assistance to state metrological-service organizations in terms of equipment and utilizing calibration of FFDs.

Ключові слова: облік, об'єм, скраплений газ, метрологічне забезпечення, автогазозаправні станції.

Keywords: accounting, volume, liquefied gas, metrological assurance, gas station.

Перспективність застосування LPG як моторного палива очевидна: підвищення витрати палива за роботи на LPG становить лише 10 % порівняно з бензином, а світова ціна LPG становить приблизно 0,6 від ціни бензину.

Дефіцит нафтопродуктів і необхідність їх імпорту з одного боку і можливість забезпечення потреби в LPG на 80 % за рахунок вітчизняного виробництва з іншого роблять застосування LPG в Україні достатньо перспективним. Не випадково Україна входить до першої десятки країн світу за кількістю автомобілів, що працюють на газовому паливі (більше 200 тис. автомобілів).

Зазначаючи перспективи застосування LPG в Україні, не можна залишити без уваги питання стосовно його якості. На жаль, наразі на АГЗС повсюдно застосовується скраплений газ, не призначений для використання як моторне паливо [1], а проект ДСТУ EN589-20XX «Палива автомобільні. Газ нафтовий скраплений. Технічні умови», розроблення якого УкрНДІНП «МАСМА» завершив у 2009 році, донині не затверджено і не впроваджено у виробництво, і такий газ в Україні не випускається.

На сьогодні в Україні діє, за різними джерелами, від 1300 до 1800 АГЗС (включаючи пункти при АЗС), облік відпуску скрапленого газу технічно й метрологічно забезпечений задовільно.

Основи метрологічного забезпечення закладалися в ДП «Укрметртестстандарт» з 2000 року, коли кількість АГЗС в Україні не перевищувала двохсот, а єдиним



А. Демченко



В. Коваль



Г. Леонов

нормативним документом, у якому (побічно) містилися метрологічні вимоги до колонок LPG, був і нині чинний для рідин, крім води, державний стандарт [2].

У червні 2000 року ДП «Укрметртестстандарт» придбав на фірмі Adast Systems a.s. (м. Адамів, Чеська Республіка), еталонний лічильник Adast 8533.25/G/1, N007/00 з діапазоном витрати

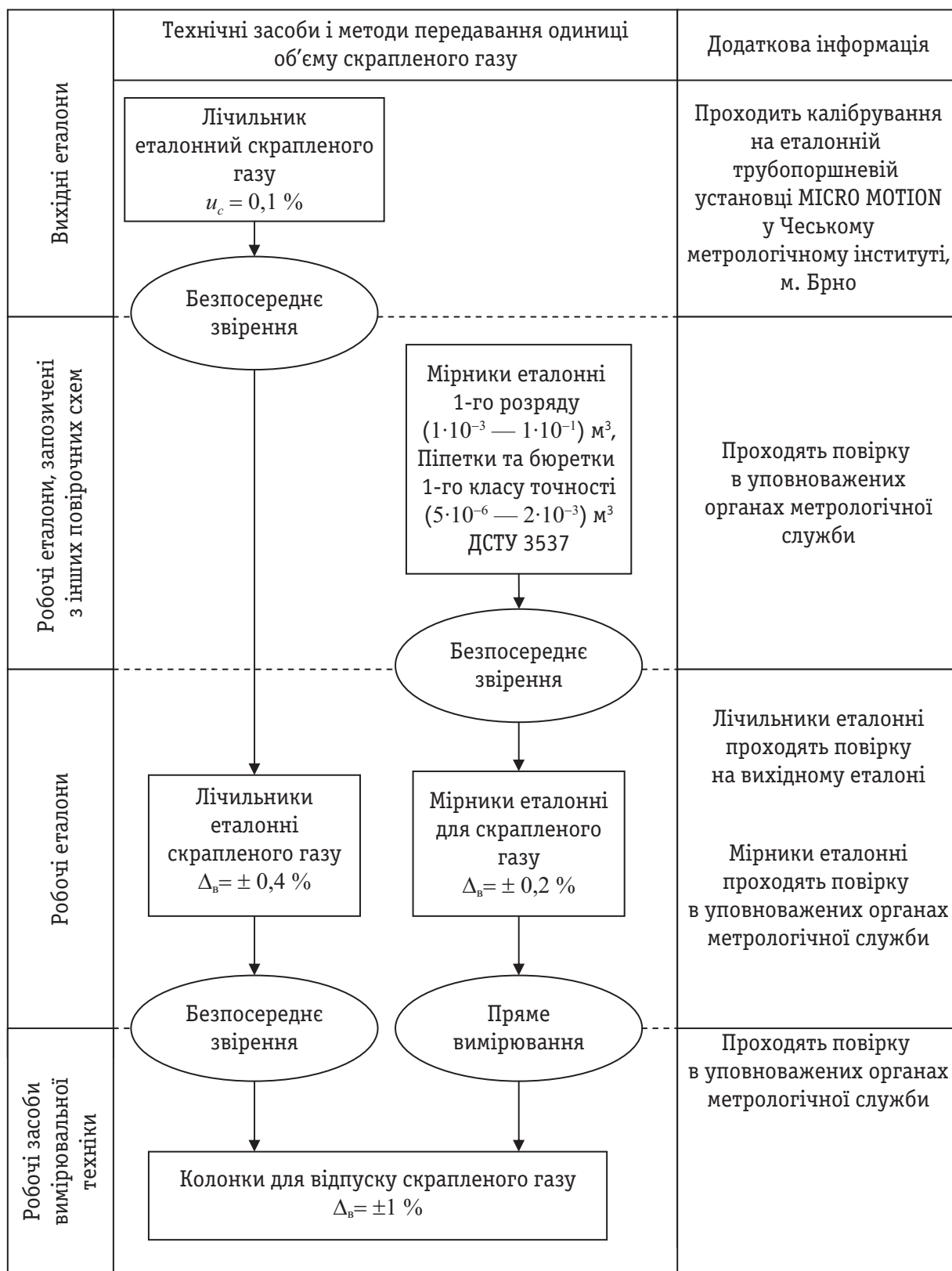


Рис. 1. Локальна повірочна схема для засобів вимірювання об'єму скрапленого вуглеводневого газу

Fig. 1. Local verification scheme for means of measuring the volume of liquefied petroleum gas

(5—50) dm^3/min і провів його калібрування у Чеському метрологічному інституті (ЧМІ) (м. Брно), з відносною розширеною невизначеністю вимірювання об'єму $U = 0,12\%$ ($k = 2$).

Держстандарт України листом №5534/5-4-13 від 26.12.2000 на основі свідоцтва про повірку лічильника LPG, проведену ЧМІ, дозволив його застосування в Україні як робочого еталона.

Наявність робочого еталона дозволила розробити локальну повірочну схему, затверджену у травні 2001 року. На рис. 1 показано доопрацьовану й чинну на сьогодні у ДП «Укрметртестстандарт» «Локальну повірочну схему для засобів вимірювання об'єму скрапленого газу.

Були також розроблені Програма й методика державної метрологічної атестації (ПМА) і Методика повірки (МП) колонок для відпуску скрапленого газу. Нині в Україні діє затверджена Методика повірки [3].

Слід зазначити, що всі ці документи передбачають можливість повірки колонок LPG як еталонними лічильниками, так і еталонними мерниками. Однак практика показала незаперечні переваги повірки еталонними лічильниками: повне повернення LPG до резервуара АГЗС, простота монтажу еталонного лічильника, спрощення розрахунків похибки колонки, істотне скорочення тривалості повірки. На рис. 2 показано повірку колонки LPG еталонним лічильником.

Створена технічна й нормативна база дозволила приступити до масової державної метрологічної атестації (ДМА) і повірки колонок LPG, яка спочатку виконувалася силами ДП «Укрметртестстандарт» на всій території України, а на сьогодні освоєна багатьма органами державної метрологічної служби.

Важливими етапами створення й удосконалення системи метрологічного забезпечення відпуску скрапленого вуглеводневого газу стали:

- проведення державних приймальних випробувань колонок для відпуску скрапленого вуглеводневого газу. У результаті наразі в Україні застосовуються колонки трьох українських виробників і семи закордонних;
- розроблення Мінтопенерго за участі ДП «Укрметртестстандарт» «Інструкції про порядок приймання, зберігання, відпуску й обліку газів вуглеводневих скраплених для комунально-побутового споживання й автомобільного транспорту» [4];
- придбання ДП «Укрметртестстандарт» нового еталонного лічильника скрапленого газу підвищеної точності, М406-25 № 002/10, його калібрування в ЧМІ (м. Брно), з відносною розширеною невизначеністю вимірювання об'єму $U = 0,10\%$



Рис. 2. Повірка еталонним лічильником колонки для відпуску скрапленого вуглеводневого газу

Fig. 2. Verification of LPG fuel dispenser by LPG reference

($k = 2$). Цей лічильник включено до затвердженого Минекономрозвитку Переліку вихідних еталонів України як вихідний еталон у сфері вимірювань об'єму скрапленого газу;

- освоєння двома українськими виробниками (ТОВ «Автоматика-Сервіс» і НВК «Шельф») виготовлення еталонних лічильників скрапленого газу;
- оснащення еталонними лічильниками органів державної метрологічної служби й ряду компаній-власників АГЗС;
- удосконалювання локальної повірочної схеми, яка передбачає отримання розміру одиниці об'єму скрапленого газу в ЧМІ (м. Брно) і повірку в ДП «Укрметртестстандарт» за допомогою лічильника — вихідного еталона України ($U = \pm 0,10\%$) лічильників — робочих еталонів ($\Delta_0 = \pm 0,4\%$), призначених для повірки колонок ($\Delta_0 = \pm 1,0\%$);
- розроблення ДП «Укрметртестстандарт» ПМА й Методики повірки еталонних лічильників LPG для повірки колонок для відпуску скрапленого газу (МП 34/5-2005);
- державна метрологічна атестація (і подальша повірка) виготовлених еталонних лічильників у ДП «Укрметртестстандарт».

На жаль, наявність технічних засобів і можливостей метрологічного забезпечення не гарантує єдності й правильності вимірювань під час відпуску скрапленого газу споживачам.

Відсутність державного метрологічного нагляду й ослаблення контролю з боку органів захисту прав споживачів призвело до того, що до 50 % колонок LPG на АГЗС не подаються на повірку, не опломбовані

й мають вільний доступ до регулювання дози палива, що відпускається. У такий спосіб вірність дози палива, що відпускається, повністю «на совісті» продавця — а це слабка надія для покупця.

Питання обліку скрапленого газу на АГЗС не обмежуються повіркою колонок *LPG*. Це й облік кількості скрапленого газу в резервуарах АГЗС, і повірка лічильників, установлених на газовозах, і співвідношення об'єму й маси (а також теплотворної здатності) *LPG*, що відпускається споживачам.

Що стосується ДМА й повірки лічильників скрапленого газу на газовозах, то ДП «Укрметр-тестстандарт» розробив разом із НВК «Шельф» повірочну установку для витрат до 320 л/хв з межами відносної допустимої похибки вимірювання об'єму $LPG \pm 0,4\%$ за застосування установки, виготовленої НВК «Шельф», яка може забезпечити ДМА й повірку лічильників газовозів для всіх організацій України. Основною перевагою розробленої методики є можливість повірки лічильника без зняття з газовоза.

Завдання автоматизованого комплексного обліку приймання, зберігання й відпуску *LPG* розглядаються в іншій публікації.


ВИСНОВКИ

1. На сьогодні в Україні створена й діє достатньо надійна система метрологічного забезпечення обліку скрапленого вуглеводневого газу колонками *LPG* під час відпуску споживачам.

2. Ця система може ефективно забезпечувати єдність і правильність вимірювань за відпуску споживачам скрапленого газу лише за умов чинного державного метрологічного нагляду й постійного контролю з боку органів захисту прав споживачів.

3. Проблемні питання співвідношення теплотворної здатності, маси й об'єму *LPG* повинні стати предметом глибокого аналізу розроблювачів і виробників засобів вимірювання кількості *LPG*, а також органів державної метрологічної служби.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. ДСТУ 4047-2001 «Гази вуглеводневі скраплені паливні для комунально-побутового споживання. Технічні умови» (State Standards of Ukraine DSTU 4047 «Liquefied Hydrocarbon Petroleum Gases for Domestic Use. Specifications»).
2. ГОСТ 8.510-84 «ГСИ. Державна повірочна схема для засобів вимірювань (лічильників) обсягу рідини» (All-Union State Standards GOST 8.510-84 «State System for Ensuring Uniform Measurements. State Verification Schedule for Measuring Instruments (Meters) of Liquid Volume»).
3. МПУ 363/03-2014 «Колонки паливороздавальні для скрапленого вуглеводневого газу» (MPU 363/03-2014 «Fuel Filling Dispensers for Liquefied Petroleum Gas»).
4. Інструкція про порядок приймання, зберігання, відпуску та обліку газів вуглеводневих скраплених для комунально-побутового споживання та автомобільного транспорту. Затверджена Наказом Міністерства палива та енергетики України 03.06.2002 за № 332. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 24.04.2003 за № 331/7652 (Instruction on the procedure of the acceptance of delivery, storage, distribution, and accounting of liquefied petroleum gases for domestic use and motor vehicles. Approved by order No. 332 of the Ministry of Fuel and Energy of Ukraine on June 03, 2002. Registered with the Ministry of Justice of Ukraine on April 24, 2003 under No. 331/7652). 

Отримано / received: 29.12.2014.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н. О.М. Самойленком (Україна).
D. Sc. (Techn.) O. M. Samoylenko, Ukraine, recommended this article to be published.

УДК 006.91

СТАТИСТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ СКВ ВИПАДКОВОЇ ПОХИБКИ ЗВТ ЗА УМОВИ ЛІНІЙНОГО ДРЕЙФУ СИСТЕМАТИЧНОЇ ПОХИБКИ

А. Коцюба, кандидат фізико-математичних наук, завідувач кафедри,
Відокремлений структурний підрозділ «Інститут підвищення кваліфікації фахівців
у галузі технічного регулювання та споживчої політики»
Одеської державної академії технічного регулювання та якості, м. Київ,
В. Заїка, завідувач кафедри,
Державне підприємство «Український науково-дослідний і навчальний центр
проблем стандартизації, сертифікації та якості», м. Київ

Проаналізовано вплив лінійного дрейфу систематичної похибки засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) на статистичну оцінку середнього квадратичного відхилення (СКВ) їх випадкової похибки в межах нормальної області впливних величин. Встановлено критерії допустимої зміни систематичної похибки, які дозволяють, спираючись на функції впливу, обґрунтувати допустимі зміни впливних величин під час дослідження СКВ випадкової похибки ЗВТ.

The work is devoted to analysis of the impact of linear drift bias of measuring instruments for statistical evaluation standard deviation of accidental errors within normal values impact the region. Established criteria for acceptable bias changes that allow, based on the influence function, ground admissible changes impact the variables in the study of standard deviation of random error of measurement devices.

Ключові слова: засоби вимірювальної техніки, середнє квадратичне відхилення, випадкова похибка, систематична похибка, лінійний дрейф.
Keywords: measuring equipment, standard deviation, random error, systematic error, linear drift.

Оцінювання СКВ випадкової похибки ЗВТ — достатньо поширена в метрологічній практиці задача, зокрема, під час випробування, оцінювання відповідності, метрологічної атестації, іноді повірки чи калібрування. У процесі оцінювання приймається, що систематична похибка є постійною [1]. Разом із тим для надійного визначення СКВ потрібен значний обсяг вибірки, а отже і значний проміжок часу для дослідження. Забезпечити незмінність значень впливних величин за тривалий проміжок часу проблематично, а систематичний дрейф значень впливних величин призводить до відповідної зміни систематичної похибки ЗВТ, що, як показано у [2, 3], дає внесок до статистичної оцінки СКВ.

Мета роботи — аналіз впливу лінійного дрейфу систематичної похибки ЗВТ на статистичну оцінку СКВ їх випадкової похибки та встановлення критеріїв прийнятності дрейфу за дослідження зазначеної характеристики.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Як показано у [2, 3], лінійний дрейф систематичної похибки дає внесок до статистичної оцінки СКВ випадкової похибки, значення якого оцінюється виразом:

$$S_c = (\delta\Delta / 2\sqrt{3}) \cdot \sqrt{(n^2 + n) / (n - 1)^2}, \quad (1)$$

де $\delta\Delta$ — зміна (дрейф) систематичної похибки за час дослідження; n — обсяг вибірки.



А. Коцюба



В. Заїка

Отже, вираз для статистичної оцінки СКВ випадкової похибки $\tilde{\sigma}$ ЗВТ можна подати у виді:

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{S^2(\Delta) + S_c^2}, \quad (2)$$

де $S^2(\Delta)$ — внесок до статистичної оцінки дисперсії, зумовлений власне випадковими ефектами.

Згідно з ДСТУ ГОСТ 8.009:2008 [4], випадкову складову складової основної похибки аналогових засобів вимірювань та цифрових аналогових перетворювачів вважають істотною за одночасного виконання двох умов:

$$\tilde{\sigma} / H_0 \geq 0,9 \quad (3)$$

та

$$\tilde{\sigma} / \Delta_0 \geq 0,1, \quad (4)$$

де H_0 — варіація за нормальних умов; Δ_0 — границя допустимої систематичної складової основної похибки.

Якщо нерівності (3), (4) одночасно не виконуються, випадкову складову основної похибки засобів вимірювань вважають неістотною.

Із (4), з урахуванням (2) та (1) за наявності лінійного дрейфу, отримуємо таку умову істотності випадкової похибки:

$$\sqrt{S^2(\Delta) + (\delta\Delta^2 / 12) \cdot (n^2 + n) / (n-1)^2} / \Delta_0 \geq 0,1. \quad (5)$$

Для аналізу можливого впливу дрейфу систематичної похибки в межах нормальної області впливних величин на висновок стосовно істотності чи неістотності випадкової похибки ЗВТ розглянемо випадок, коли випадкова похибка взагалі відсутня, тобто $S^2(\Delta) = 0$. Тоді умова (5) набуває виду:

$$(\delta\Delta / 2\sqrt{3}) \cdot \sqrt{(n^2 + n) / (n-1)^2} / \Delta_0 \geq 0,1,$$

звідки після нескладних перетворень отримуємо:

$$\delta\Delta / \Delta_0 \geq 0,35 \cdot \frac{(n-1)}{\sqrt{n^2 + n}} = f(n). \quad (6)$$

Значення функції $f(n)$ для деяких значень n наведені у таблиці 1.

Згідно з ДСТУ ГОСТ 8.395:2008[5] нормальні умови — це такі, за яких похибка ЗВТ від дії сукупності впливних величин не перевищує 35 % від границі допустимої основної похибки, тобто значення $\delta\Delta / \Delta_0$ може сягати 0,35. Як видно з таблиці, незважаючи на те, що значення функції $f(n)$ зростає зі збільшенням n , за значення відношення $\delta\Delta / \Delta_0 = 0,35$ умова істотності випадкової похибки виконуватиметься для яких завгодно великих обсягів вибірки. Отже, внесок дрейфу систематичної похибки до статистичної оцінки СКВ випадкової може призвести до висновку щодо її істотності навіть за повної її відсутності, особливо, коли врахувати, що на практиці обсяг вибірки найчастіше міститься

Таблиця 1. Значення функції $f(n)$

Table 1. Senses of the function $f(n)$

n	2	3	4	5	6	7	8	10	12	15
$f(n)$	0,14	0,20	0,24	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32

n	20	25	30	40	50	60	80	100	120	∞
$f(n)$	0,32	0,33	0,33	0,34	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,35

в межах $10 \leq n \leq 30$. Звичайно, таке істотне значення $\delta\Delta / \Delta_0$ (0,35) за дослідження випадкової похибки малоімовірне, однак це демонструє можливу значимість впливу дрейфу.

Знайдемо умови, за яких внеском дрейфу систематичної похибки можна знехтувати, тобто він суттєво не впливатиме на рішення щодо істотності чи неістотності випадкової похибки. Умова неістотності випадкової похибки із [4] з урахуванням [2] набуває виду:

$$\sqrt{S^2(\Delta) + S_c^2} / \Delta_0 < 0,1. \quad (7)$$

Припустимо, що внеском від дрейфу до оцінки СКВ випадкової похибки можна знехтувати, якщо він менший від внеску власне випадкової похибки в α разів, тобто $S(\Delta) = \alpha \cdot S_c$. Тоді із (7) отримуємо:

$$\sqrt{(\alpha^2 + 1) \cdot S_c^2} / \Delta_0 < 0,1$$

або

$$\sqrt{(\alpha^2 + 1) \cdot (\delta\Delta^2 / 12) \cdot (n^2 + n) / (n-1)^2} / \Delta_0 < 0,1.$$

Після нескладних перетворень отримуємо нерівність:

$$\delta\Delta / \Delta_0 < \frac{0,346}{\sqrt{(\alpha^2 + 1)}} \cdot \frac{n-1}{\sqrt{n^2 + n}} = g(\alpha, n). \quad (8)$$

Припустимо, що часто приймається на практиці, $\alpha = 3$. Тоді

$$g(3, n) = \frac{0,346}{\sqrt{10}} \cdot \frac{n-1}{\sqrt{n^2 + n}} = \frac{0,11 \cdot (n-1)}{\sqrt{n^2 + n}}.$$

Значення функції $g(3, n)$ для певних n наведені у таблиці 2.

Щоби лінійний дрейф систематичної похибки не впливав на висновок стосовно істотності (чи неістотності) випадкової похибки ЗВТ, необхідно забезпечити для кожного обсягу вибірки виконання нерівності (8). Це ставить вимоги щодо необхідності достатньо жорсткого контролю зміни впливних величин під час дослідження, особливо, як видно з таблиці 2, за незначних обсягів вибірки. За $n > 10$ нерівність (8) можна задовольнити, якщо покласти $\delta\Delta / \Delta_0 < 0,09$.

Отже, нерівність (8) встановлює обмеження на допустимий дрейф систематичної похибки ЗВТ за дослідження СКВ його випадкової похибки.

Таблиця 2. Значення функції $g(3, n)$ Table 2. Senses of the function $g(3, n)$

n	2	3	4	5	6	7	8	10	12	15
$g(3, n)$	0,045	0,064	0,074	0,080	0,085	0,088	0,091	0,096	0,097	0,099

n	20	25	30	40	50	60	80	100	120	∞
$g(3, n)$	0,103	0,104	0,105	0,106	0,107	0,107	0,108	0,108	0,109	0,11

Це дозволяє, знаючи функцію впливу, встановити вимоги до допустимої зміни впливної величини (впливних величин) за дослідження СКВ випадкової похибки ЗВТ. Наприклад, якщо відомо, що функція впливу температури, яка для ЗВТ у цьому прикладі є єдиною впливною величиною, лінійна, а нормальна область температури становить $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, то допустима зміна температури за $n > 10$ становить $5 \cdot (0,09 / 0,35)^\circ\text{C} \approx 1,3^\circ\text{C}$. Звичайно, для кількох впливних величин необхідно враховувати їх сумарний вплив на змінну частину систематичної похибки ЗВТ.

Усе зазначене вище стосується і цифрових вимірювальних приладів та аналогово-цифрових перетворювачів з тією різницею, що у відповідних виразах Δ_0 необхідно замінити на $\sqrt{q_{sf}^2 + H_0^2}$, де q_{sf} — номінальна ступінь квантування.

Необхідно зазначити, що проведені у цій роботі розрахунки справедливі для випадку, коли СКВ ви-

падкової похибки та систематичну похибку ЗВТ оцінювали за даними різних експериментів, тобто, відповідні оцінки незалежні. Якщо оцінки σ та Δ_0 отримані за даними спільного експерименту, потрібно додатково врахувати вплив дрейфу зовнішніх впливних величин на оцінку систематичної похибки.

ВИСНОВКИ


На основі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Наявність лінійного дрейфу систематичної похибки ЗВТ під час дослідження СКВ його випадкової похибки в межах нормальної області впливних величин може призвести до хибного висновку щодо істотності неістотної випадкової похибки.

2. Визначено критерії допустимої зміни систематичної похибки ЗВТ за дослідження випадкової похибки залежно від обсягу вибірки в процесі дослідження.

3. Встановлені критерії допустимої зміни систематичної похибки ЗВТ дозволяють, спираючись на функції впливу, обґрунтувати допустимі зміни впливних величин під час дослідження СКВ випадкової похибки зазначеного засобу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Земельман М.А. Метрологические основы технических измерений. — М.: Изд-во стандартов (Zemelman M. A. Metrological basis of technical measurements. — М.: Publisher standards), 1991. — 228 с/р.
2. А.М. Коцюба, В.П. Заїка, Л.Г. Коцюба. Вплив лінійного тренду результатів повторних спостережень на статистичну оцінку стандартного відхилення випадкової похибки // Метрологія та прилади (A.M. Kotsyuba, V.P. Zaika, L.G. Kotsyuba. Influence of linear trend of results for repeated supervision on statistical assessment of standard deviation of random error // Metrology and instruments). — 2012. — № 2 (34). — с/р. 52—54.
3. А.М. Коцюба, В.П. Заїка. Оцінювання стандартної невизначеності за типом А за наявності лінійного трен-
4. ДСТУ ГОСТ 8.009:2008. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений (DSTU GOST 8.009:2008. GSI. Standardized metrological characteristics of measuring instruments).
5. ДСТУ ГОСТ 8.395:2008. ГСИ. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования (DSTU GOST 8.395:2008. GSI. Normal conditions of measurements for verification. General requirements). 

Отримано / received: 16.12.2014.

Стаття рекомендована до публікації д.ф.-м.н., проф. В.М. Новіковим (Україна).
Prof. V.M. Novikov, D. Sc. (Phys.-Math.), Ukraine, recommended this article to be published.

УДК 550.34.035

МЕТРОЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЬ ГЕОФІЗИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ УКРАЇНИ

В. Петров, академік НАН України, директор,
О. Бріцький, кандидат технічних наук, доцент,
Інститут проблем реєстрації інформації (ІПРІ) НАН України, м Київ,
Е. Олещук, провідний інженер,
А. Фещенко, провідний інженер,
С. Щербіна, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник,
Інститут геофізики ім. С.І. Суботіна НАН України, м. Київ

Зростання сучасного міського будівництва на території України, розташованих близько до сейсмічно небезпечних зон Румунії, вимагає проводити достатньо великі обсяги вимірювань рівнів реакцій нових будівель на сейсмічні хвилі великої інтенсивності. Для вирішення цих питань необхідно використовувати метрологічно повірені сейсмометричні прилади, розроблення та метрологічний контроль яких засновані на сучасних лазерних технологіях

Height of modern urban construction on the territory of Ukraine, located close to the seismically dangerous zones Romania needs to spend quite a large amount of measurement levels reactions of new buildings on seismic waves of great intensity. To solve these problems we must use attorneys seismological metrological instruments, development and metrological control are based on modern laser technologies

Ключові слова: геофізичні прилади, сейсмометри, калібрування, повірка, сейсмічна небезпека, землетруси, лазери, нанометрія.
Keywords: geophysical instruments, seismometers, calibration, verification, seismic hazard, earthquakes, lasers, nanometrics.

Система сейсмологічних спостережень будь-якої країни, розташованої на тектонічно активній території або поблизу від неї, повинна мати достатню кількість сейсмометричних або сейсмологічних приладів та інформаційних систем, які можуть забезпечити роботу усіх необхідних для цього комплексів збирання та аналізування сейсмологічної інформації. Україна достатньо близько розташована до сучасної сейсмічно-тектонічної активної геологічної структури — зони Вранча, що міститься в Румунії (рис. 1).

Небезпечні сейсмічні події цього регіону можуть достатньо інтенсивно впливати на стан будівель, розташованих у південних (Крим, Одеса) та західних районах (Карпати, Закарпаття) нашої країни [1, 2, 3]. Для забезпечення високої якості результатів будівельного процесу за цих складних геолого-тектонічних умов необхідно проводити дослідження рівня коливань поверхні землі сейсмометричним повіреним обладнанням, що відповідає державним метрологічним нормам і вимогам для таких обладнань.

На сьогодні в національній мережі сейсмічних спостережень України використовується значна кількість призначених для цього геофізичних приладів. Вони зосереджені в інженерно-сейсмометричній мережі Мінрегіонбуду України, сейсмологічній службі НАН України, геофізичній службі Мінтопенерго України. Загальним проблемним питанням у використанні геофізичних приладів є відсутність їх метрологічного забезпечення, що значною мірою збільшує сейсмічні ризики.

Для отримання і вивчення результатів вимірень метрологічних параметрів сейсмометричних пристроїв повинні використовуватися якісні калібрувальні та повірочні віброплатформи. Разом з тим добре відомо, що основна проблемність питання цього метрологічного забезпечення геофізичних засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) зумовлена відсутністю в Україні атестованих широкосмугових прецизійних віброплатформ, які є основним елементом ідентифікації таких параметрів і характеристик

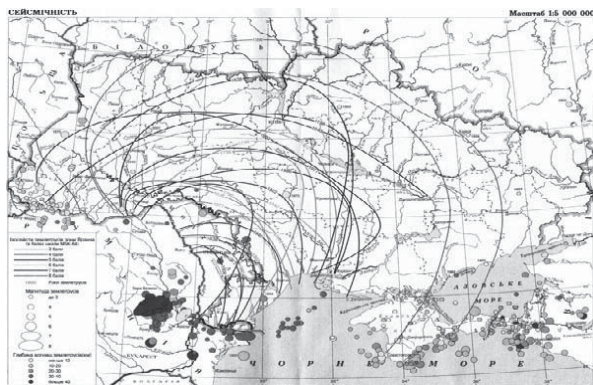


Рис. 1. Мапа сейсмічної небезпеки України, що використовується за вирішення питань щодо будівництва споруд у сейсмонебезпечних районах
Fig. 1. Map Ukraine of seismic hazard used for building structures in earthquake-prone areas

геофізичних ЗВТ, як чутливість, лінійність, частотні характеристики, нулі й полюси передаткових функцій. Відомі вітчизняні та закордонні віброплатформи [4—9] не можуть використовуватися повністю у потрібних напрямках сейсмологічної метрології через відсутність офіційних документів проходження ними Державної метрологічної атестації.

Для вирішення цих питань в нашій країні вже багато років проводяться роботи щодо створення та використання калібрувальних пристроїв власного розроблення, які б могли забезпечити виконання всіх робіт, необхідних для досліджень властивостей сейсмометрів, всіх каналів сейсмічних станцій, інших геофізичних ЗВТ. Тому є необхідність проаналізувати сучасний стан метрологічного забезпечення геофізичних ЗВТ в Україні та визначити перспективні напрямки його удосконалення.

ПЕРВИННІ МОДЕЛІ КАЛІБРУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

Дослідження сейсмічних коливань будь-якої природи або походження та інтенсивності вимагають використовувати для їх реєстрації відповідну апаратуру, яка дозволяє отримувати необхідну інформацію стосовно різноманітних властивостей цих сейсмічних записів. Як відомо, наразі основною формою сейсмічних записів є цифрова форма, отримувана за допомогою АЦП — аналогово-цифрових перетворювачів, що розміщуються у сейсмостанціях або поруч з ними.

Вони можуть мати різні параметри, базовими з яких є їхня розрядність. У таблиці 1 представлені можливі варіанти розрядності — від мінімального до максимального значення. Діапазони розрядності АЦП визначаються властивостями напрямів досліджень, у яких вони повинні використовуватися оптимальним способом.

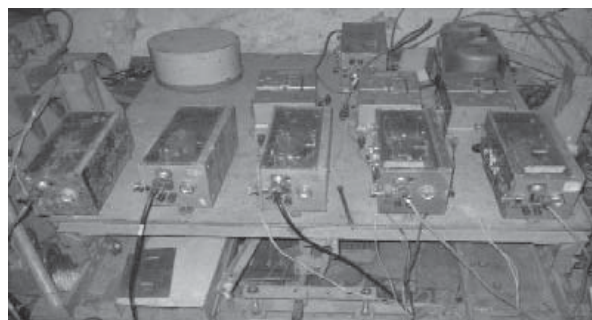


Рис. 2. Первинний калібрувальний пристрій ІГ НАНУ для тестування сейсмометричних приладів — їх механічного стану та змін магнітних та електронних параметрів.
Fig. 2. Initial calibration device IG NASU seismometers test — their mechanical condition and changes of magnetic and electronic parameters

Аналіз табличних значень параметрів АЦП показує, що оптимальним за мінімальним значенням для використання у сейсмології повинен бути не менше, ніж 16-розрядний АЦП, який вже дозволяє реєструвати землетруси з магнітудою, не більшою, ніж 4,5. Максимальним значенням бітів АЦП може бути число 32, яке може забезпечити реєстрацію землетрусів з магнітудою понад 9.0 і вище, що трапляються достатньо рідко (раз на 250 — 300 років), але ж які є максимальними за енергією реалізації тектонічних процесів. Для вивчення й уточнення метрологічних параметрів систем реєстрації сейсмічних подій повинна використовуватися метрологічно повірена апаратура.

Останнім часом в ІГ НАНУ розроблено декілька цифрових сейсмічних станцій, які мають АЦП з розрядністю 24 біта. [5,11,12] Основна частина цих сучасних станцій власного українського розроблення проходила тест на спеціальному калібрувальному пристрої (рис. 2), що має достатньо обмежені можливості за власними технічними параметрами. Основним його недоліком є відсутність у нього можливості калібрувати вертикальні сейсмометри, які у процесах первинного калібрування доводилося перекладати на бік. Відсутність механічного приводу

Таблиця 1.

Table 1.

Біти АЦП	Динамічний діапазон	Децибелі, dB	Максимальна магнітуда
8	256/2	42	2
12	4096/2	66	3
16	65536/2	90	4.5
20	1048576/2	114	6
24	16777216/2	138	7

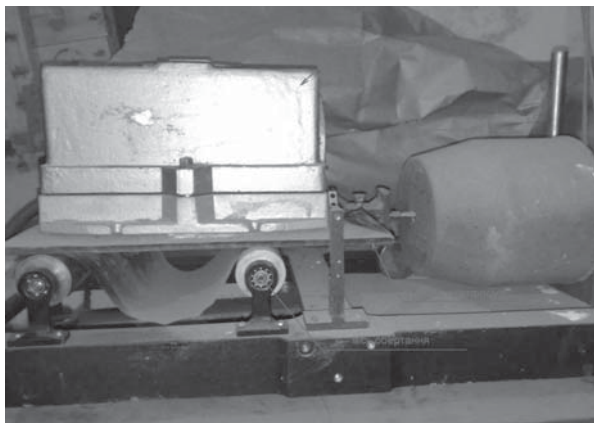


Рис. 3. Макет калібрувального пристрою
Карпатського відділення ІГ НАНУ
Fig. 3. Model of calibration device in Carpathian
Department IG NASU

з різними формами руху не дозволяла перевіряти сейсмометри за допомогою вхідних сигналів на сейсмометри у періодичних або імпульсних формах.

Для розвитку процесу калібрування в Україні у Карпатському відділі ІГ НАНУ розроблено макет іншого калібрувального пристрою для калібрування горизонтальних складових сейсмометрів (рис. 3). Принцип калібрування полягає в приведенні до руху скляної платформи за допомогою електричного генератора, під'єданого до магніта. Платформа міститься на металевих циліндрах, осі яких перебувають у середині підшипників і є рухомими. На одній осі є дзеркальце, яке відбиває промінь нерухомого лазера на лінійку (рис. 4). За рахунок збільшення плеча променя до лінійки задається коефіцієнт механічного підсилення амплітуди коливання зайчика на лінійці. Маючи амплітуду коливання зайчика і довжини плечей, обчислюється амплітуда коливання платформи.

Практично визначити характеристики за допомогою платформи можна лише в межах до 0,5 Гц, оскільки на високих частотах виникають паразитні резонанси. На низьких частотах сильно знижується відношення сигнал/шум за рахунок нерівномірності зчеплення з рухомою платформою.

Платформа не відтворює строго заданого синусоїдального зміщення. Додатково виникають кутові коливання, які сумуються зі сейсмічним сигналом. Катастрофічні наслідки похибки є для горизонтальних компонентів, де похибка на низьких частотах доходить до квадрата частоти коливань платформи, оскільки горизонтальні сейсмометри чутливі до нахилу.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що спосіб не є точним, і його взагалі не можна застосувати

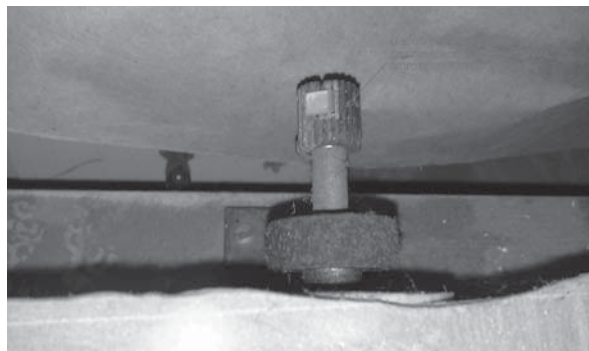


Рис. 4. Лазерний вимірювач зміщень віброплатформи
розроблення відділу сейсмічності
Карпатського регіону

Fig. 4. The laser displacement meter of vibration
platform made by seismic department
of Carpathian region

для широкосмугових сейсмометрів, але сумісно з використанням ПАЗ генератора можна перевірити точність визначення амплітуди коливань.

Класична теорія перехідних функцій маятника з електродинамічною котушкою вперше описана графом Б. Поліциним [14] у 1914 році. Вона дозволяє визначити коливання ґрунту, якщо відомі генераторна константа котушки G , власна резонансна частота коливань маятника ω_0 , коефіцієнт демпфування (загасання) на виході h і маса маятника m .

Перехідні функції сейсмометра пов'язують відносні зміщення (швидкості, прискорення) маси маятника до зміщення (швидкості, прискорення) ґрунту. Ці залежності детально описані у [18]. Розв'язок диференціальних рівнянь механічного маятника згідно з [15, 18] і перетворення Лапласа [17] дають перехідні функції сейсмічного приймача.

Перехідна функція для відтворення швидкості ґрунту в комплексному виді, де $s = j \cdot \omega$, $j = \sqrt{-1}$, а ω — кругова частота, має вид:

$$H_V(s) = -\frac{G_e \cdot s^2}{s^2 + \omega_0^2 + 2 \cdot h \cdot \omega_0 \cdot s} = \frac{D_V(s)}{s},$$

де ω_0 — резонансна частота коливань маятника,

h — коефіцієнт демпфування (загасання) на виході,

G_e — зовнішня ефективна генераторна константа:

$$G_e = \frac{G \cdot R_e}{R_e + R_c} = \frac{G R_e}{R_T},$$

де R_e [Ом] — зовнішній опір навантаження,

R_c [Ом] — внутрішній опір котушки,

$R_e + R_c = R_T$ — загальний опір джерела напруги.

Для прискорення

$$B_V(s) = \frac{D_V(s)}{s^2}.$$

Для сигналів, вищих від резонансної частоти маятника, велосиметр мірятиме швидкість з лінійною амплітудною частотною характеристикою. Звідси походить його назва.

Зареєстровані сигнали мають розмірність одиниць АЦП. Цифрова форма запису дозволяє за допомогою обчислення перейти до істинного виду коливання ґрунту під станцією. Для цього необхідно мати частотні характеристики реєструвальних каналів. З метою їх визначення розроблено методу калібрування, яка полягає у використанні запису відгуку реєструвального тракту на калібрувальний імпульс.

Останній фізично є максимальним наближенням до математичного імпульсу $\delta(t)$ Дірака з безмежною амплітудою і нульовою тривалістю (Oppenheim & Willsky, 1983) [18]. Згідно з визначеннями перетворень Лапласа і Фур'є обидва перетворюють імпульс Дірака у спектр, що містить усі частоти з однаковою амплітудою. Завдяки цій властивості відгук на калібрувальний імпульс вимірювальної системи пропорційний частотній характеристиці каналу (signal theory, Scherbaum, 1996) [17]. Методом половини потужності зі спектра відгуку програмно визначаються f_0 і h :

$$\frac{1}{2}|H|^2 \Rightarrow \left\{ \frac{h}{f_0} \right\}, h = \frac{f_U - f_L}{2 \cdot f_0} \text{ і } f_U \cdot f_L = f_0^2;$$

$$|B| \approx \frac{f_0}{2 \cdot h} \text{ для частот } \frac{f_0}{2 \cdot h} \approx f_L < f < f_U \approx f_0 \cdot 2 \cdot h,$$

де: f_L, f_U — верхня і нижня частоти рівня 3 дБ ($1/\sqrt{2}$) за зрізом,

f_0 — резонансна частота вільних коливань маятника,

B — ширина смуги пропускання половини потужності.

Аналітично виконується розрахунок генераторної константи G за чутливості одиниці молодшого розряду каналу S_k за алгоритмом:

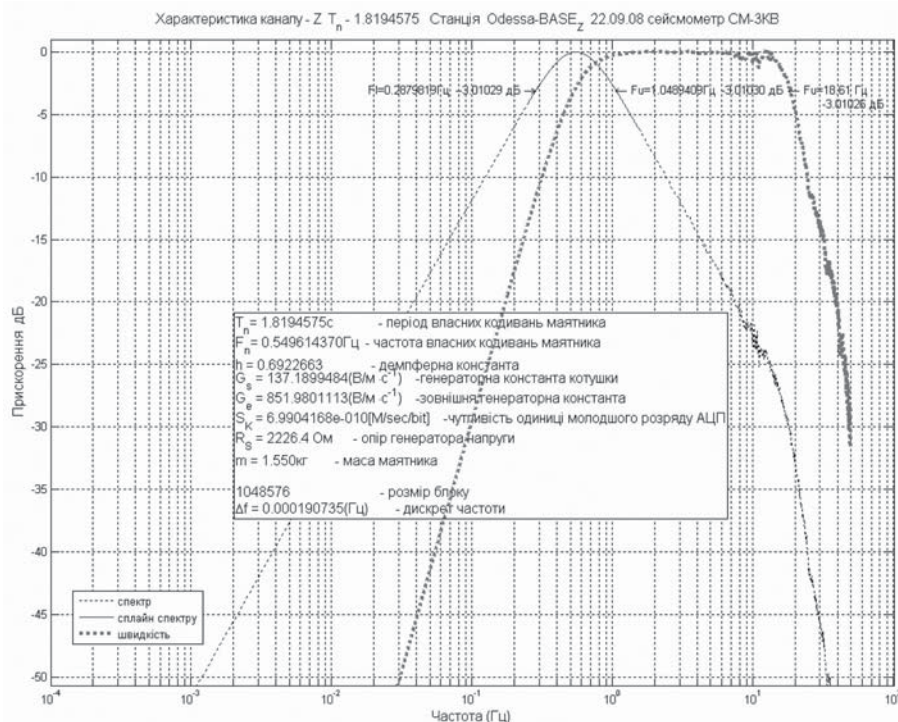


Рис. 5. Частотна характеристика каналу Z з підсилювачем, визначена за допомогою відгуку на калібрувальний імпульс та програми ПАЗ

Fig. 5 Frequency response of the amplifier channel Z determined with using an impulse response to a calibration and PAZ program

$$\frac{1}{2}|H|^2 \Rightarrow \left\{ \frac{h}{f_0} \right\} \Rightarrow \Rightarrow \left\{ \frac{h - h_0}{m, R_T, f_0, h} \Rightarrow G \quad f_0, g \rightarrow \ell_p \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow G, \ell_p \rightarrow S_{body},$$

де: f_0 — резонансна частота маятника,
 h — коефіцієнт загасання,
 ℓ_p — приведена довжина маятника.

Рис. 5 демонструє частотну характеристику сейсмометра ВЕГІК, що використовується для польових вимірювань під час дослідження заданого майдану, частота дискретизації 100 Гц, фільтр нижніх частот 5-го порядку з частотою зрізу 20 Гц, щоб уникнути дзеркального ефекту на частоті Найквіста. Додатково контролер має цифровий ФІР фільтр нижніх частот 9-го порядку. Внутрішня частота дискретизації цифрового контролера становить 800 Гц за дискретизації даних 100 Гц, за рахунок чого зростає ефективність ФІР фільтра. Програма PAZ-generator автоматично знаходить відгуки і визначає нулі та полюси.

Зразок розрахованих пазів для сейсмометра ВЕГІК: Полюси каналу Z в радіанах ω ($\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$):

-94.7170888138602
 -76.6277345081349 + 55.6733079448634i
 -76.6277345081349 - 55.6733079448634i
 -29.2691901012042 + 90.0813045209291i
 -29.2691901012042 - 90.0813045209291i
 -6.17220761693597
 -1.58510456725701

$S_n = 1.43468E-9$ [м] $A = 7623277101.9212$

де A — нормувальний коефіцієнт, який нормує функцію передавання до одиниці та стосується перших 5 полюсів контролера з АЦП і сейсмометрів ВЕГІК. Зазначені полюси характеризують низькочастотні антизавадні фільтри контролерів. Останні два полюси є функцією передавання самого механічного маятника сейсмометра з котушкою, де S_n — чутливість одного біта АЦП для Z каналу (м/с/біт).

На рис. 6 як приклад представлено обчислену нормовану характеристику вимірювального каналу, побудовану за пазами порівняно зі спектром відгуку на калібрувальний імпульс, для швидкості ґрунту. На графіку є незначні розбіжності зумовлені присутністю в записах, окрім сигналу, зумовленого калібрувальним імпульсом, ще і сигналу, зумовленого коливаннями ґрунту під сейсмометром.

Проведено безліч експериментів з програмою ПАЗ-генератор, розраховано істинні коливання ґрунту за різних сейсмометрів, які завжди порівнювалися з еталонним сейсмометром GURALP CMG40TD. Характеристики відрізнялися максимум на (0,1—1,8) %, що є наслідком класу точності ЗВТ,

якими проводилися вимірювання котушок і мас сейсмометрів, які перевірялися, оскільки цифрові розрахунки практично не вносять похибок.

Для вирішення важливих проблем сейсмічної небезпеки в Україні кількість сейсмометричних приладів у сучасному стані будівель на геотектонічно активних територіях нашої країни повинна зростати. Це особливо важливо для тих районів, які розташовані поблизу Румунії, Карпат, Закарпаття, а також Кримського півострова (рис. 1). Для кожного знову розробленого сейсмометра та реєструвального напрямку потрібні спеціальні процедури метрологічного контролю цього обладнання — повірочні та калібрувальні, які встановлюють відповідність пристрою, що вивчається, міжнародним технічним вимогам до сейсмологічних систем вимірювань різного типу.

Для первинної роботи за цим напрямком у відділі сейсмічної небезпеки ІГ НАНУ розроблено калібрувальний пристрій IGAN-02, який запатентовано [13]. Загальну схему цього пристрою подано на рис. 7, а на рис. 8 представлено його реальну експериментальну роботу з одночасного процесу калібрування двох сейсмометричних систем різних конструкцій — власного розроблення DAS04+SL210 та англійського — «Guralp» CMG-40T. Запатентовані технічні властивості цього калібрувального пристрою дозволяють проводити як польові, так і лабораторні роботи з повірки та калібрування датчиків різного типу — п'єзодатчиків, сейсмометрів, вимірників зсувів. Це досягається завдяки тому, що повірка або калібрування сейсмометричного каналу можуть здійснюватися за допомогою імпульсної або періодичної форми вхідного сигналу на досліджуваний датчик.

Для вивчення динамомеханічних властивостей калібрувального пристрою IGAN-02 проведено роботу щодо вимірювання максимальних значень зсуву його платформи у вертикальному та горизонтальному напрямках. Результати цих вимірювань (рис. 9) свідчать, що лінії аналогової

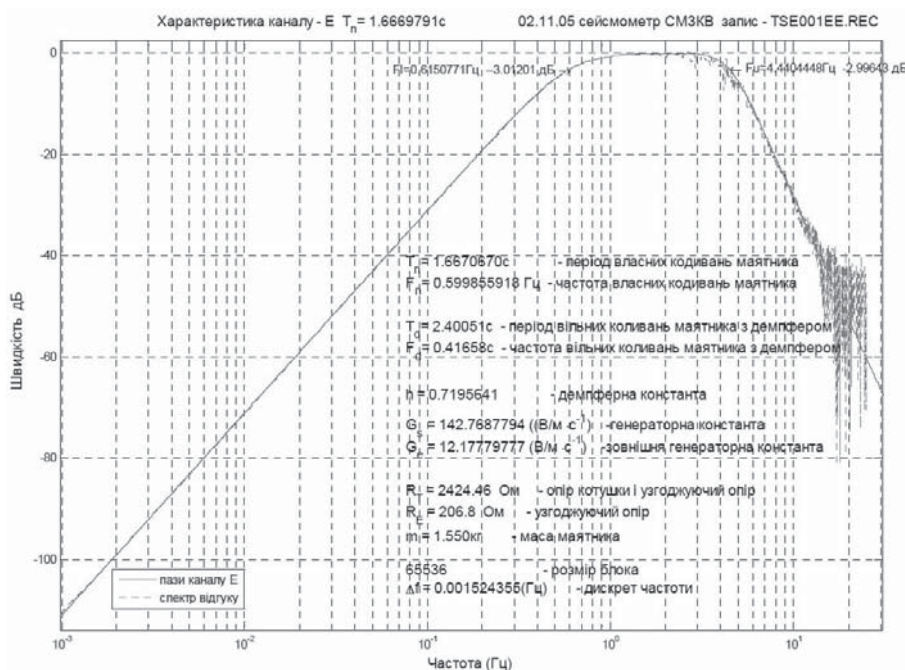


Рис. 6. Амплітудно-частотна характеристика EW каналу SM3KB для швидкості

Fig. 6. Frequency response of the EW channel SM3KB for rate

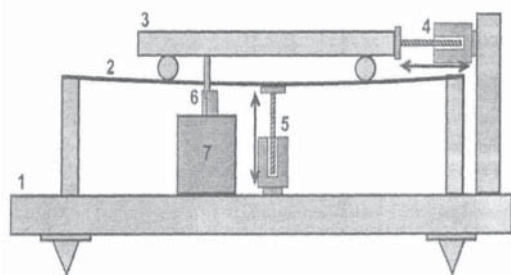


Рис. 7. Схема пристрою для калібрування сейсмометрів IGAN-02:

Fig. 7. Diagram for calibrating of seismometer IGAN-02:

- 1 — нерухома платформа;
- 2 — гнучка пластина; 3 — рухома платформа;
- 4 — електромагнітний привід горизонтальних рухів;
- 5 — електромагнітний привід вертикальних рухів;
- 6 — інфрачервоний датчик реєстрації горизонтальних і вертикальних рухів;
- 7 — електронний блок вимірювання зміщення

та цифрової систем вимірювань горизонтальних (1) та вертикальних (2) зміщень платформи мають достатньо лінійний характер без суттєвих порушень.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СЕЙСМОМЕТРИЧНИХ ПРИЛАДІВ РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Під час роботи фахівцю на зазначеному вище пристрої доступні візуальні довідкові екрани, на яких динамічно відображаються записи амплітуд вхідного і вихідного сигналів, а також АФЧХ досліджуваних датчиків у виді кумулятивних спектрів і фаз вхідного і вихідного сигналів (рис. 10).

Використання міжнародного високоякісного сертифікованого сейсмометричного приладу «Guralp» CMG40T у процесі тестування і вивчення властивостей калібрувального пристрою власного розроблення дозволило провести порівняльний аналіз абсолютних значень вхідного сигналу і його розрахо-



Рис. 8. Одночасний процес калібрування двох приладів різної моделі для вивчення властивостей сейсмометричних каналів та системи фіксації часу в сейсмічних записах за допомогою GPS-пристроїв різних моделей

Fig. 8. Simultaneous calibration of the two different devices models to study the seismometer channels properties and fix system in time of seismic records using GPS-devices of different models

ваних значень за результатами вимірювань та математичних обчислень, які входять до повного комплексу англійського сейсмометра CMG40T. На рис. 11 подано розраховані значення зміщення (3) та прискорення (1) за вимірюваним значенням швидкості (2).

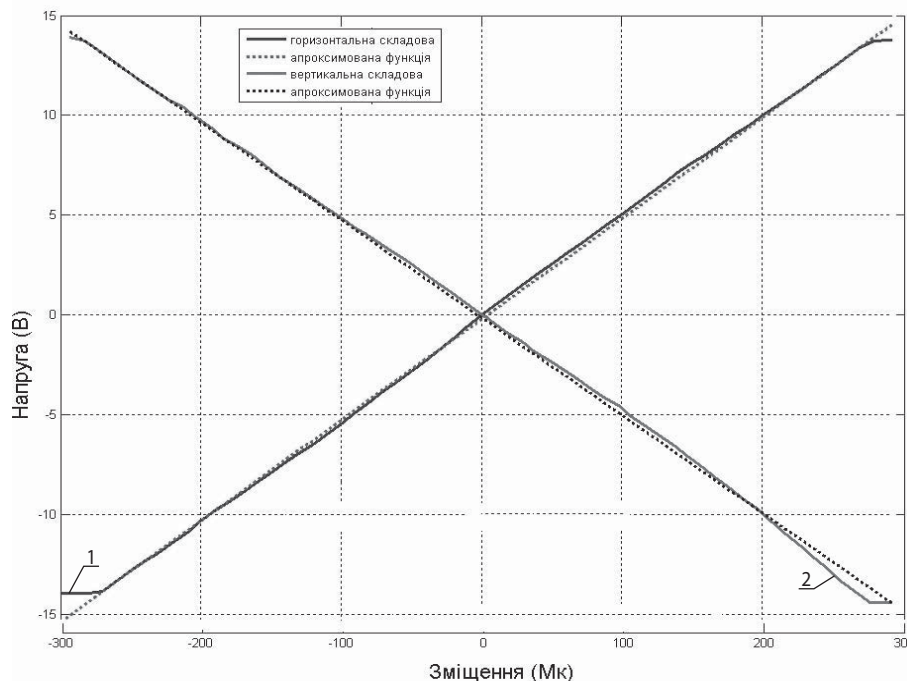


Рис. 9. Діапазони лінійності вихідного сигналу давача вимірювання зміщень залежно від значень зміщень рухомої частини платформи у вольтях за вертикальним або горизонтальним напрямком

Fig. 9. The range of linear output sensor for displacement measuring depending on the values of the moving platform displacement in volts on the vertical or horizontal direction

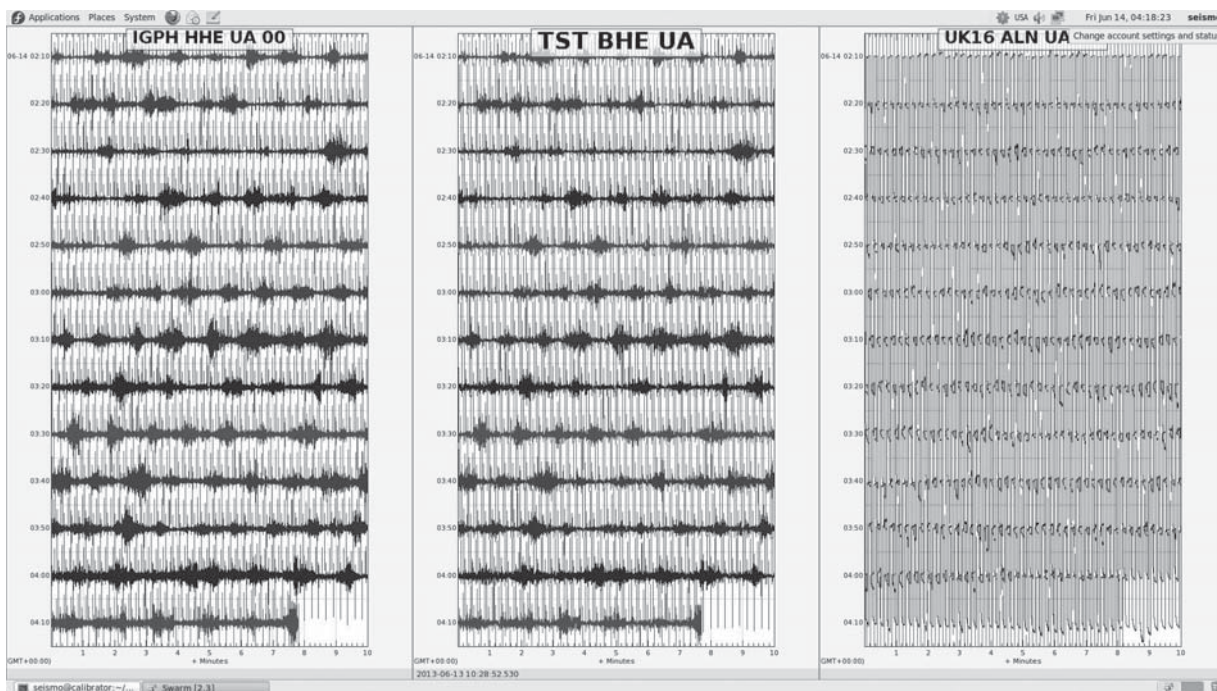


Рис. 10. Однчасне відображення вхідного сигналу прямокутної форми (праворуч) на два сейсмометричні пристрої, розташовані сумісно (рис. 8) на рухомій частині платформи, — «Guralp» CMG40T (ліворуч) і DAS04 з давачем SL210 (посередині)

Fig. 10. Simultaneous display of input rectangular shape (right) on two seismometer devices that are compatible (Fig. 8) for moving the platform — «Guralp» CMG40T (left) and DAS04 with sensor SL210 (middle)

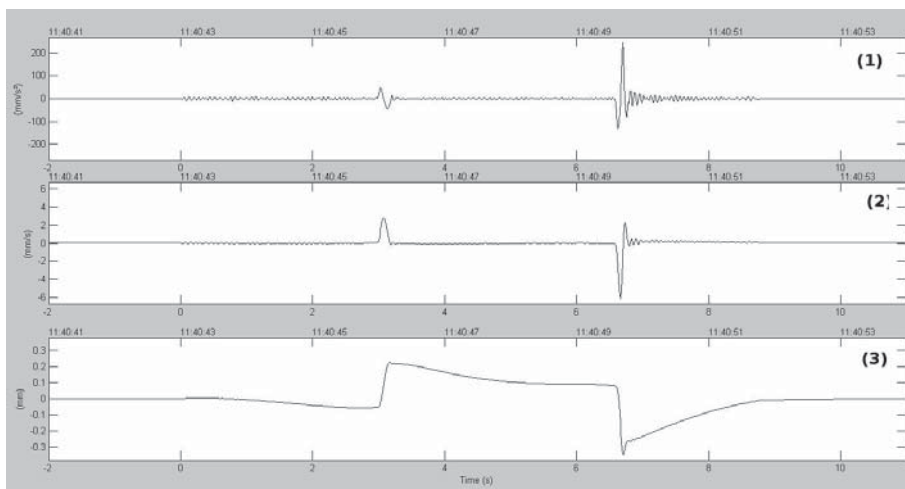


Рис. 11. Графічне відображення відгуків горизонтального каналу NS сейсмометра «Guralp» CMG40T на вхідний сигнал прямокутної форми з амплітудою 200 мікрон

Fig. 11. Graphical display of horizontal channel seismometer NS «Guralp» CMG40T reviews on input rectangular shape with an amplitude of 200 microns

Результати розрахункових значень зміщення та прискорення платформи за калібрування сейсмометричного приладу CMG40T, представлених на рис. 11, отримано за допомогою використання спеціальних математичних обчислювальних процедур, які використовуються для розрахунку АФЧХ сейсмометра. На рис. 12 подано розрахункові гра-

ти більш вищої точності й якості оцінки метрологічних параметрів сейсмометрів.

СУЧАСНА ЛАЗЕРНА ПОВІРКА СЕЙСМОМЕТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Сучасна лазерна метрологічна повірочно-калібрувальна платформа, сумісно розроблена та

фіки АФЧХ горизонтального каналу станції DAS04, до якого підключено класичний сейсмометр SL210, представлений на рис. 8 праворуч на платформі. За результатами експериментальних вимірювань і розрахунків, представлених на рис. 8, видно, що для отримання більш якісних результатів розрахунків за експериментальними даними потрібне попереднє статистичне опрацювання результатів вимірювання, що дозволить досягти

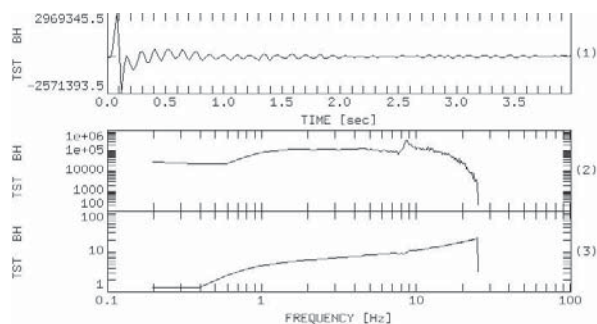


Рис. 12. АФЧХ горизонтального сейсмометра SL210, підключеного до одного з каналів станції DAS04
Fig. 12. AFCHH horizontal seismometer SL210, connected to channel station DAS04

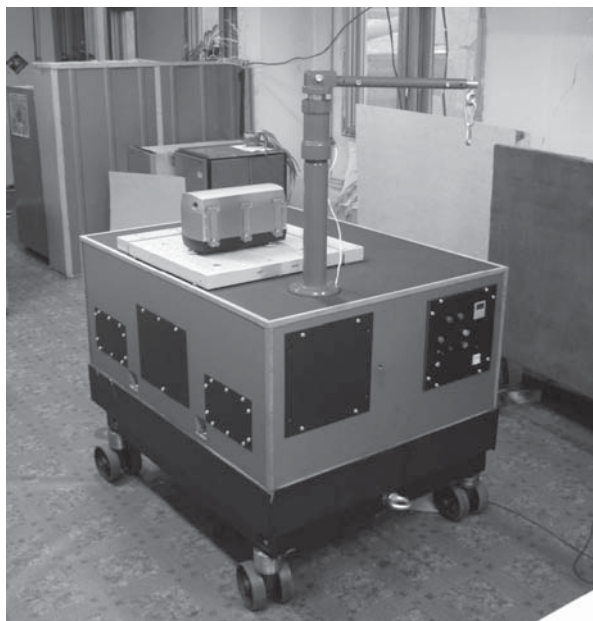


Рис. 13. Загальний вид прецизійної широкопasmової віброплатформи
Fig. 13 General view of precision broadband vibration platform

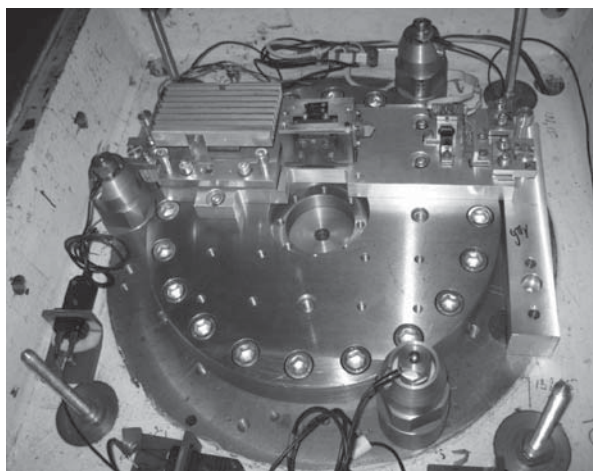


Рис. 14. Елементи кінематичної системи прецизійної широкопasmової віброплатформи за знятої рухомої плити
Fig. 14. Kinematic system of precision broadband vibration platform Elements when removing the moving plate

виготовлена у процесі науково-технічної співпраці між ІГ та ІПРІ НАНУ, дозволяє виконувати контроль стану сейсмометричного обладнання будь-якого типу і виготовленого у будь-якій країні. Це досягається завдяки її неординарним науково-технічним властивостям, пов'язаним із сучасними лазерними розробленнями [19,20].

Прецизійна широкопasmова метрологічна віброплатформа (рис. 13) має вимірювальну систему на основі методів цифрової лазерної інтерферометрії (рис. 14) із приводом її рухомої частини на основі керованих силових п'єзоактуаторів. Окрім того, точність ідентифікації параметрів у цій системі вимірювань значною мірою визначається точністю визначення реального вхідного механічного впливу у діапазоні амплітуд 10 нм ... 100 мкм і діапазоні частот у межах (0,01 ... 100) Гц, що досягається за допомогою розробленої системи автоматичного управління нанопереміщеннями на основі системи нановимірювань та системи їх реєстрації.

Сучасна віброплатформа з лазерним вимірювачем зміщень забезпечує:

- формування вхідних механічних впливів у вертикальній і горизонтальній площині (гармонічних, прямокутних, ступінчатих, імпульсних, випадкових, довільних (аналітично чи таблично заданих) у діапазоні ± 50 мкм; (0,01...100) Гц на геофізичні прилади масою до 100 кг;
- вимірювання з точністю, не гіршою 1 нм, вхідних механічних діянь, їх візуалізацію та цифрове документування;
- реєстрацію реакції геофізичного приладу на вхідне механічне діяння з точністю, не гіршою 1 нм, (обладнаних цифровим лазерним інтерферометром) чи у штатному режимі.

Сумісний аналіз вхідних механічних діянь на геофізичні прилади та їх реакцій дозволяє в автоматичному режимі визначати ступінь лінійності й такі динамічні характеристики: частотні характеристики (амплітудну і фазову), передаткову функцію (нулі та полюси), перехідну функцію.

Як вимірювальну систему використано створений в ІПРІ НАНУ цифровий інтерферометр на основі напівпровідникового лазера. Для опрацювання квадратурних сигналів інтерферометра запропоновано, розроблено і виготовлено цифровий сигнальний процесор, який забезпечує видавання інформації стосовно переміщення плити віброплатформи за каналом Ethernet. Для попереднього метрологічного процесу на цій платформі проведено роботу з генерації синусоїдального сигналу різної частоти

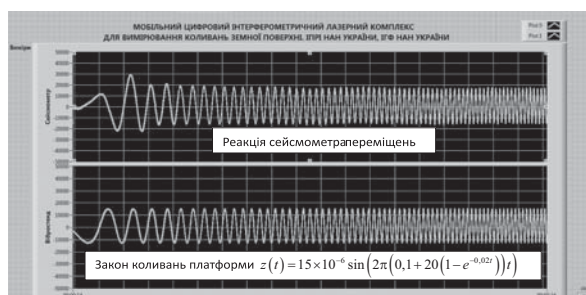
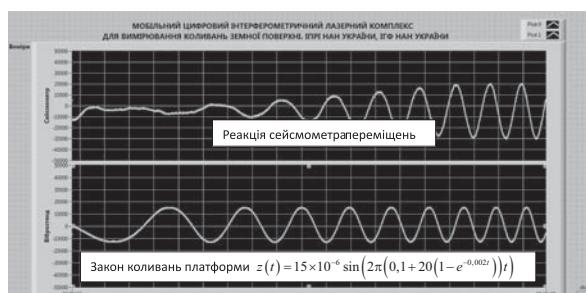
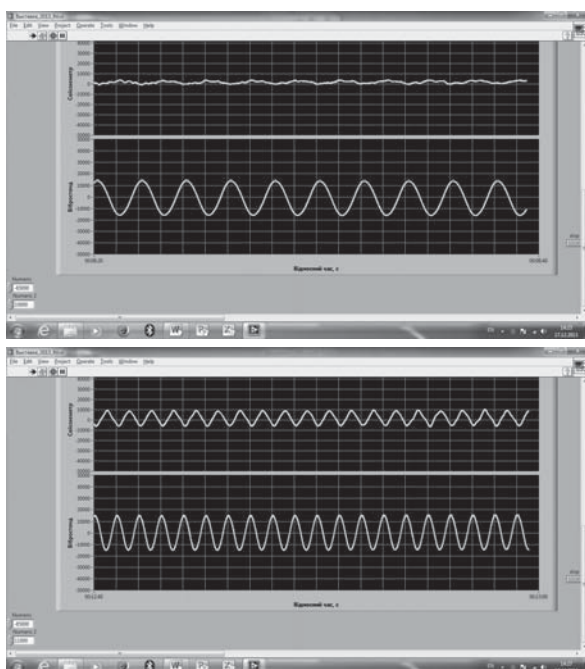


Рис. 15. Записи (верхні) реакцій лазерного сейсмометра на вхідні періодичні сигнали, (нижні) синусоїдальної форми різної частоти

Fig. 15. Entries (upper) of reactions to incoming laser seismometer periodic signals (lower) sinusoidal different frequencies

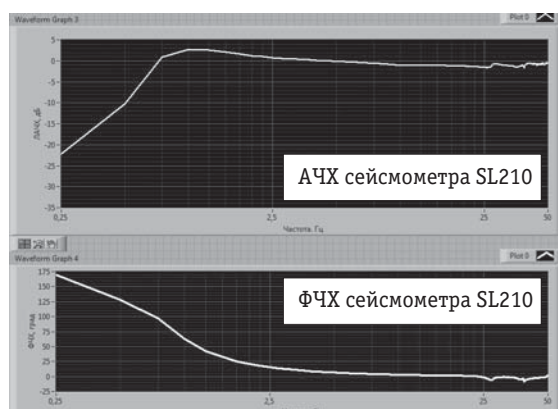


Рис. 16. Приклад автоматичного визначення частотних характеристик сейсмометра із використанням широкоплатформної віброплатформи

Fig. 16. An example of automatically determining of the frequency characteristics of broadband seismometers with using vibration platform

для аналізу реакції на нього, як на періодичний вхідний сигнал лазерного сучасного сейсмометра, розробленого також в ІПРІ НАНУ [21] (рис. 15).

Перший попередній аналіз отриманих результатів калібрувального процесу сучасного лазерного сейсмометра на прецизійній широкоплатформній геофізичній метрологічній віброплатформі дозволив пересвідчитися у тому, що цю систему формування та цифрового інтерферометричного нановимірювання вхідних механічних діянь на досліджувані геофізичні прилади можна використовувати для метрологічної атестації наявних, нових розроблених та придбаних за кордоном сейсмометрів. На рис. 16. наведено приклад визначення частотних характеристик вертикального сейсмометра SL210 із вбудованим цифровим лазерним вимірювачем переміщення.

На сьогодні широкоплатформна віброплатформа на основі цифрової лазерної інтерферометрії пройшла державну метрологічну атестацію (Свідоцтво ДП «Укрметртестстандарт» №22–893 від 18.11.2014) і може використовуватися для перевірки та калібрування сейсмометрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Ассоциация украинского сейсмостойкого строительства (Association for Ukrainian Earthquake Engineering) (AUUE). http://www.seism.org.ua/seism04-02_r.html.
2. Державні будівельні норми ДБН В.1.1-12:2006 «Будівництво в сейсмічних районах України». // Київ: Міністерство будівництва, архітектури і житлово-комунального господарства України (State Construction
3. Сейсмическое районирование территории СССР. (Методические основы и региональное описание карты 1978 г.) // Отв. ред. В.И. Бунз, Г.П. Горшков —

Standard DBN V.1.1-12: 2006 «Construction in seismic regions of Ukraine.» // Kyiv Ministry of Construction, Architecture and Housing and Communal Services of Ukraine), 2006. — 84 с/р.

Standard DBN V.1.1-12: 2006 «Construction in seismic regions of Ukraine.» // Kyiv Ministry of Construction, Architecture and Housing and Communal Services of Ukraine), 2006. — 84 с/р.

- М.: Наука (Seismic zoning of the USSR. (Methodical bases and regional map description 1978) // Ed. Ed. V.I. Bune, G.P. Gorshkov — М.: Nauka), 1980. — 308 с/р.
4. Стенд для испытаний и калибровки сейсмометрической аппаратуры // Г.Н. Бугаевский, В.П. Белов, С.Д. Нестеренко // Строительство и техногенная безопасность. Сб.науч.тр, вып.5. Симферополь, КАПКС (Stand for testing and calibration equipment seismometric // G.N. Bugaevskiy, V.P. Belov, S.D. Nesterenko // Construction and technological safety. Sb.nauch.tr, Issue 5. Simferopol, KAPKS). — 2001. — С/Р. 92—97.
 5. В.А. Королев, А.М. Склад, П.Т. Тонких, С.В. Щербина. Цифровые сейсмические станции для инженерно-сейсмологических исследований: оснащение, калибровка, полевые испытания // Сейсмологический бюллетень за 2006 год. — Севастополь (V.A. Korolev, A.M. Sklyar, P.T. Tonkih, S.V. Scherbina. Digital seismic stations for engineering and seismological research: equipment, calibration, field tests // Seismological Bulletin for 2006. — Sevastopol). — 2008. — с/р. 104—111.
 6. В.Н. Арапов, А.А. Солошенко. Блок управления стендом для калибровки инженерно-сейсмометрической аппаратуры // Строительство и техногенная безопасность (V.N. Agarov, A.A. Soloshenko. Control unit stand for calibration engineering seismometric // Construction equipment and technological safety). — 2011. — № 35. — С/Р. 152—157.
 7. CT-EW1 Calibration Table for broadband and short-period seismometers [Электронный ресурс]. — Режим доступа: www.lennartz-electronic.de.
 8. The CT-EW1 Calibration Table // Document Number: 990-0062. Lennartz electronic GmbH.
 9. Seismometer Calibration System PET-0A&PET-03H for calibration of Seismometers [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.imv.co.jp/e/products/other/pet/>
 10. В.А. Королёв, П.Т. Тонких. Платформенно-генераторный метод калибровки цифровой сейсмометрической аппаратуры для полевых исследований // Строительство и техногенная безопасность (V.A. Korolev, P.T. Tonkih. Platformer — Generator method calibration of digital seismic instruments for field research // Construction and technological safety). — 2011. — № 35. — С/Р. 150—152.
 11. Щербина С.В. Обзор некоторых цифровых сейсмических регистраторов ИГ НАНУ. // Геофизический журнал (Shcherbina S.V. An overview of some digital seismic recorders IG NASU. // Geophysical Journal). — 2008 — Т/В. 30 — № 2 — С/Р. 83—90.
 12. Щербина С.В. Цифровые сейсмические регистраторы и их калибровка. // Геофизический журнал (Shcherbina S.V. Digital seismic recorders and their calibration. // Geophysical Journal). — 2011 — Т/В 33 — № 2 — С/Р. — 136—160.
 13. Щербина С.В., Фещенко А.И., Панков Ф.Н., Лесовой Ю.В., Кендзера А.В. // Устройство для калибровки сейсмометров. Патент на полезную модель (Shcherbina S.V., Feschenko A.I., Pankow A.N., Lesovoj Y.V., Kendzera A.V. // The device for the calibration of seismometers. Utility model patent) №77339. Киев (Kiev), 2013.
 14. B. Galitzin, «Vorlesungen über Seismometrie», B.G. Teubner, Leipzig and Berlin, 1914.
 15. Erhard Wielandt, «Seismic Sensors and their Calibration. Institute of Geophysics,» University of Stuttgart Richard-Wagner-Strasse 44, D70184 Stuttgart e-mail: ew@geophys.uni-stuttgart.de.
 16. Doetsch G., Anleitung zum praktischen Gebrauch der Laplace Transformation und der Z-Transformation, R. Oldenbourg Verlag, München.
 17. F. Scherbaum, 1996. Of poles and zeros Fundamentals of Digital Seismology. Institut für Allgemeine und Angewandte Geophysik. Ludwig-Maximilians-Universität München, Germany.
 18. Oppenheim, A. V. & Willsky, A. S., 1983. Signals and Systems. Prentice Hall, New Jersey, USA.
 19. Удосконалення геофізичних приладів на основі цифрової лазерної інтерферометрії / Бріцький О.І. // Реєстрація, зберігання і оброб. даних (Improving geophysical instruments based on laser interferometry digital / OI Britskyy //, Storage & Processing. data). — 2013. — Т/В. 15, № 2 — С/Р. 65—72.
 20. Патент України (Ukraine Patent) 106553, МПК G01R 13/00, G01R 15/00 G01B 9/02 (2006.01). Високошвидкісний інтерферометр на основі запам'ятовуючого пристрою // Петров В.В., Бріцький О.І., Косяк І.В., Цубін О. А., Возненко М.В.; заявник та власник Ін-т проблем реєстрації інформації НАН України (High interferometer-based storage device // V.V. Petrov, Britskyy A.I., shoal I.V., Tsubin O.A., Voznenko M.W.; applicant and owner of The Institute of Information Recording of NAS of Ukraine). — № а 2013 04496, заявл. (appl.) 10.04.2013, опубл. (publ.) 10.09.2014, Бюл. (Bull.) № 17.
 21. Сучасний лазерний сейсмометр (Modern laser seismometer). <http://seismo.kiev.ua/Lasers/lasers.html>

Отримано / received: 2014.

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

УДК 620:3

МОДИФІКАЦІЯ ТВЕРДОТЕЛЬНОЇ МАТРИЦІ ШЛЯХОМ ФОРМУВАННЯ НАНОКЛАСТЕРНОЇ ПІДСИСТЕМИ

В. Ковальчук, доктор фізико-математичних наук, професор екологічного університету, директор коледжу комп'ютерних технологій університету,

М. Сербов, кандидат географічних наук, перший проректор,

О. Цуркан, викладач коледжу,

Одеський державний екологічний університет

Показано, що для розроблення сучасних методів управління характеристиками властивостями твердотільної речовини необхідно базуватися на єдиному підході. Це дозволило системно вивчити твердотільні матриці, які містять нанокластерну підсистему.

The development of modern methods of management and control characteristics of solid-state properties of matter must be based on a common approach. The system of the solid matrix containing nanocluster subsystem was study.

Ключові слова: нанокластер, матриця, тверде тіло, підсистема.
Keywords: nanocluster, matrix, solid, subsystem.

Метрологія твердотільних структур — актуальний напрям сучасного природознавства, орієнтири якого сфокусовані, головним чином, на ефективне управління, діагностику й контроль властивостей речовин [1]. Внесення змін до структури останніх можливе через температурні й радіаційні впливи. Сьогодні разом із цими підходами активно розробляється новий напрям, суть якого зводиться до варіювання властивостями твердого тіла через внесення структурних змін, проведених на глибоко-субмолекулярному — кластерному — рівні [2].

Процеси проведення кластеризації речовин викликають великий практичний інтерес дослідників у новій сфері — функціональній електроніці [3,4]. Однак, у пропонованих сьогодні підходах не розглядаються методи керування й контролю властивостей твердотільної речовини (ТТР) шляхом формування нанокластерної підсистеми (НКП) [5].

У цьому контексті, на основі єдиного підходу, який класифікує різноманітний прояв кластерних фаз (КФ), у статті представлено результати дослідження механізмів формування НКП ТТР, обумовленої нами як кластеризовані матеріали [5].

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Важливим аспектом нанотехнологій є те, що керування функціональними можливостями електронних приладів здійснюють окремі атоми, молекули, нанокластери (НК). Цей підхід представлено у роботах В.І. Архарова зі співавторами [6]. Ідея полягає в тому, що, за проведення діагностики властивостей речовини, додатково до мікроскопічного й макроскопічного методів описання пропонується автономізувати проміжний — мезоскопічний масштаб. Саме до цієї категорії об'єктів, за всіма ознаками, слід віднести НК, які, на відміну від молекул, функціонально сполучені з матричним середовищем.



Ковальчук В.



Сербов М.



Цуркан О.

У випадку формування НК, у зв'язку з наявністю матричного матеріалу, виявляється задіяним значно більше число ступенів свободи, ніж за утворення молекул. Ця обставина наділяє НК специфічними властивостями, й такий факт має методологічне значення, оскільки дозволяє провести кількісні оцінки характеристик об'єктів із КФ, визначити динаміку змін, що відбуваються в окремих мезоскопічних групах атомів, з обліком наявних у кожній з них конкретних локальних умов. У зв'язку з цим, нами досліджені функціональні можливості, переваги й недоліки відомих методів діагностики НКП твердотільної матриці. Обґрунтована необхідність проведення експериментів, спрямованих на отримання кластеризованих матеріалів, з метою підтвердження розроблюваної теорії формування гетероструктур із НКП. Показана необхідність розроблення нових типів вимірювальних систем із застосуванням високочутливих датчиків (на основі кварцу), які мають підвищену надійність роботи, відрізняються точністю вимірювання фізичних величин. Основні положення цієї статті представлено в роботах одного з авторів (ВВК) [7].

Неупорядковані матеріали (скла й аморфні тіла, розплави, полімери, біологічні середовища тощо) є важливим класом об'єктів діагностики. Виявилось, що, незважаючи на безпорядок, з якого звичайно формується їхня структура, для стеклок і аморфних тіл різноманітної природи (напівпровідникової, діелектричної, металеві) існує універсальний просторовий масштаб (приблизно 1 нм — параметр порядку), який може зіграти в теорії настільки ж важливу роль, як елементарне гніздо для кристалів [8]. Просторова неоднорідність неупорядкованих тіл з характерним масштабом ~ 1 нм призводить до появи універсальних характерних рис у коливальних властивостях, змінює механізм релаксації електронного порушення, визначає специфіку переносу зарядів [8].

Аморфні матеріали з найрізноманітнішими типами близького порядку (ковалентні сітки, металеві скла, полімери тощо) мають ряд загальних властивостей. Це лінійна залежність за температурою для теплоємності й квадратична — для теплопровідності за температур ~ 1 К, надлишкова щільність коливальних станів за $T \sim (5-20)$ К, закон Фогеля-Фулчера для релаксаційних властивостей за високих температур, правило $2/3$ для співвідношення між температурами стекловання й плавлення тощо. Наявність таких універсальних закономірностей дозволяє зробити припущення, що вони засновані на загальних особливостях побудови аморфних матеріалів.

Не припиняються спроби описати аморфні тіла й скла як погані кристали. Передбачається, що вони квазікристалічні, тобто відстані між сусідніми ато-

мами, хоча й флюктуують у безпорядку, але в середньому мало відрізняються від середнього значення. У цьому випадку можна ввести таку координатну шкалу, в якій потенціал ланцюжка приблизно періодичний. Одним із перших такий підхід використовував А.І. Губанов ще на початку шістдесятих років ХХ ст. [9]. Незважаючи на подальший розвиток цього підходу, де запропоновано використовувати розкладання Коші-Борна для описання аморфних тіл, головною перешкодою стала неможливість визначення так званого опорного стану, щодо якого ведеться розкладання.

Фізичні властивості й геометрія аморфних матеріалів тісно пов'язані між собою. Безпорядок в аморфних тілах є топологічним, а топологічні дефекти неможливо ліквідувати маленькими переміщеннями атомів — для цього потрібна глобальна перебудова структури. Основою для нових підходів до теоретичного описання аморфних тіл і стеклок може стати розуміння того факту, що безпорядок в аморфних тілах і стеклах не абсолютний — властива кристалам періодичність у розташуванні атомів зберігається в межах декількох координатних сфер. Відстань, на якій ще зберігається впорядкованість, можна характеризувати радіусом кореляції структури R_c . За різними оцінками в аморфних і стеклоподібних матеріалах розмір R_c становить ~ 1 нм [5].

Доречно зазначити, що характер порушення впорядкованого розташування атомів усередині декількох координатних сфер відрізняється для аморфних тіл і стеклок. У стеклах порушення порядку відбувається порівняно плавно (функція кореляції структури $F(R)$ експонентна), у той час, як аморфні матеріали складаються з маленьких кристалітів ($F(R)$ —гаусівська). Характерний вид функцій кореляції структури визначається за даними комбінаційного розсіювання світла [10—11]. У масштабах, набагато більших за R_c , аморфне тіло добре описується як континуальне середовище, для якого більшість досягнень кристалофізики є цілком застосовна. Ситуація тут схожа на фрактальне описування: на маленьких відстанях існують фрактони, на більших — континуальне середовище [2].

Експерименти свідчать стосовно наявності універсальних структурних утворень на масштабах ~ 1 нм [5]. Щодо цього свідчать дані рентгеноструктурних досліджень (перший гострий дифракційний максимум), малокутове розсіювання рентгенівських променів, дані темнові електронної мікроскопії, розсіювання нейтронів, комбінаційне розсіювання світла. І проте, провівши критичний аналіз достатньо великої кількості публікацій, переважна більшість експериментаторів і теоретиків за аналізу експериментальних даних поки не беруть до уваги цю фундаментальну властивість аморфних тіл.

Вагомим аргументом проти використання представлень щодо існування неоднорідностей структури з масштабом ~ 1 нм є проблема морфології границі між ними. Запропонована ще А.А. Лебедевим і розроблювана у подальшому Л.А. Аслановим [8], мікрористалітна теорія побудови речовини залишається невизначеною лише тому, що питання стосовно структури границь між кристалами залишається донині невирішеним. Сучасні дослідники визначають границю як аморфізований шар, товщиною порядку декількох міжатомних відстаней.

Широкого поширення отримали підходи, які пов'язують топологічний безпорядок в аморфних тілах з наявністю характерних елементів структури — дисклинацій. У цих моделях виходять із припущення, що аморфне тіло можна описати як тіло з упорядкованою структурою в скривленому просторі. Розупорядковування виникає після відображення кристала зі скривленого простору до реального евклідового. Це відображення неможливо здійснити без перекручування, яке призводить до втрати порядку. Але перекручування не є довільними порушеннями впорядкованості — вони виникають за певними законами, за рахунок появи лінійних дефектів поворотного типу — дисклинацій, що призводять до топологічного розупорядковування структури аморфних тіл.

Інший підхід, описаний у [5, 8], заснований на введенні неабелевого каліброваного поля, яке дозволяє урахувати інваріантність структури аморфних тіл щодо локальних поворотів. Подібні поля також пов'язані з дисклинаціями; їхній тензор напруженості пропорційний тензору щільності дисклинацій.

Обидва підходи пов'язані між собою. Неевклідову геометрію можна описати мовою, яка є окремим випадком неабелевих каліброваних полів: тензор кривизни пропорційний тензору напруженості поля.

Уведення дисклинацій допомагає подолати протиріччя між двома головними вимогами, які визначають структуру: мінімізацією локальної енергії й найбільш щільного заповнення простору. Щільність дисклинацій в аморфному тілі повинна бути дуже великою, а відстань між ними — порядку декількох міжатомних. Дисклинації розбивають аморфне тіло на області, у яких значною мірою зберігається кристалічний порядок.

Отже, експериментальне вимірювання масштабу неоднорідностей, який виявився рівним ~ 1 нм, веде до теоретичної моделі геометричних меж таких неоднорідностей. Останні — не екзотичні одиничні утворення, не аналоги дефектів у кристалах, а фрагменти, з яких цілком можуть бути сформовані аморфні тіла й стекла. У цьому сенсі їх можна вважати аналогами елементарного гнізда кристалів.

Просторова неоднорідність аморфних тіл і стеклок з характерним масштабом ~ 1 нм призводить до появи універсальних характерних рис у коливальних властивостях, змінює механізм релаксації електронного порушення, визначає специфіку переносу зарядів.

Зазначимо, що в стеклах має місце надлишкова (порівняно з дебаївською) щільність коливальних станів в області енергій (2—10) МеВ, (3—15) К [8]. Надлишкова щільність коливальних станів виглядає як пік, який у максимумі перевищує дебаївську щільність за цією енергією у (2—6) разів у різних матеріалах. Надлишкова щільність коливальних станів спостерігається у всіх стеклах; вона виявляється в низькоенергетичних спектрах непружного розсіювання нейтронів, низькочастотних спектрах комбінаційного розсіювання (бозонний пік), далекого інфрачервоного поглинання, а також у низькотемпературних теплоємності й теплопровідності.

Отже, є всі підстави пов'язувати надлишкову щільність коливальних станів у стеклах в області (3—15) К із існуванням їх характерної довжини — радіуса середнього порядку, який має масштаб ~ 1 нм. Низькочастотні коливальні порушення, відповідальні за надлишкову щільність коливальних станів, локалізовані на неоднорідностях структури.

Існують експериментальні підтвердження принципової можливості такого механізму виникнення надлишкової щільності коливальних станів [5]. Дані з низькотемпературної теплопровідності широкого кола стеклок свідчать, що в області плато виконується критерій Іоффе-Регеля для локалізації фононів: $\lambda \sim \delta$, де δ — довжина вільного пробігу, зумовлена в режимі сильного розсіювання розміром неоднорідності структури, а λ — довжина хвилі фонона. Порівнюючи ці дані з результатами вимірювань теплопровідності в агрегатах, де локалізація виявляється на масштабі, рівному кореляційній довжині структури, вони визначили довжину кореляції для стеклок, яка виявилася рівною (10—30) ангстремам.

Низькоенергетичні особливості коливальних спектрів стеклок можуть істотно впливати на властивості стеклок не лише за низьких, але й за високих температур, аж до температури стекловання. Так, внесок низькоенергетичних фононів до розміру середньоквадратичних теплових коливань атомів посилений фактором, рівним зворотному квадрату частоти коливань. У результаті, у стеклах наявність надлишкової низькоенергетичної щільності коливальних станів, яка інтегрально становить розмір 10%, збільшує амплітуду теплових коливань на (30—40)% порівняно з відповідними кристалами за тієї ж температури. У точці стекловання амплітуда теплових коливань виявляється дуже близькою

до її значення у відповідних кристалах за температури плавлення. З урахуванням критерію Ліндемана співвідношення між температурами стекловання й плавлення в матеріалі того самого хімічного складу визначається параметрами надлишкової низькоенергетичної щільності коливальних станів: її амплітудою, положенням максимуму, а також універсальним значенням дисперсії логарифмічно нормального розподілу за частотою.

Слід підкреслити, що в аморфному кремнії й германії немає надлишкової щільності коливальних станів у низькоенергетичній області спектра: бозонний пік фактично зливається з лінією Га-Моді. Тому ці матеріали не стеклюються, за охолодження нижче температури плавлення відбувається їхня швидка кристалізація відповідно до того, що в них, на відміну від скла, амплітуда теплових коливань близька до значення в кристалічному стані.

В аморфних тілах і стеклах фізика релаксації порушень кардинально змінюється порівняно з кристалами. У середовищах із просторовою дисперсією властивостей енергія порушення локалізується на масштабах порядку радіуса кореляції структури.

Передавання енергії від електронної підсистеми до іонного кістяка здійснюється у два етапи: на першому відбувається генерація високочастотних локальних фононів в області, обмеженій радіусом кореляції структури R_c , а лише потім, через певний час затримки, йде перекачування енергії в довгохвильові коливання.

Локалізовані фонони замкнені усередині області кореляції структури й мають своєрідний спектр, залежний від характерного розміру. Надлишкова енергія, пов'язана з локальними коливаннями, розпливається лише за рахунок фонон-фононної взаємодії, й час локалізації може на порядки перевищити характерні фононні частоти.

Така затримка відводу енергії призводить до цікавого явища — структурних перебудов в аморфних матеріалах і стеклах під дією світла як зазвичай малої інтенсивності — кожний поглинений квант може змінити структуру тієї субмікронної області, де відбувся акт поглинання.

Субмікронні неоднорідності виявляють себе й в експериментах зі струмопереносу. Звичайно температура залежність провідності має вид плавної кривої від температури, яка зменшується за зниження величини енергії активації. Як правило, це інтерпретується декількома експонентними ділянками, які відповідають відомим механізмам переносу заряду: за зоною делокалізованих станів; за локалізованими станами поблизу рівня Фермі й за станами вище рівня Фермі матеріалу.

У такий спосіб, у цілому ряді випадків температурну залежність провідності матеріалу можна представити

не сумою двох, трьох або більше експонент із різними енергіями активації, а зовсім інакше, у виді зворотного закону Арреніуса. Феноменологічно зворотний закон Арреніуса для температурної залежності провідності можна отримати, якщо урахувати флуктуації потенціалу й просторові флуктуації рухливості. Тоді завдання щодо провідності сильно неоднорідного середовища в рамках теорії протікання дозволяє відзначити, що у провідності ефективно беруть участь лише ті носії, які розташовані у вузькому енергетичному інтервалі поблизу рівня протікання, що відповідає виникненню критичного основного кластера [5].

Зазначимо, що зворотний закон Арреніуса відомий для температурної залежності інтенсивності фотолюмінесценції в неупорядкованих матеріалах, зокрема, для аморфного кремнію й халькогенідів. Пояснюють цей закон двома конкуруючими каналами рекомбінації: випромінювальним і безвипромінювальним. Теоретично можна показати, що перенесення заряджених носіїв й їх рекомбінація в неупорядкованих твердих тілах тісно пов'язані між собою.

Отже, як підсумок проведеного вище аналізу, можна запропонувати теоретичну схему для побудови алгоритму, спрямованого на з'ясування структурної діагностики КФ-підсистеми неупорядкованої матриці.

Незважаючи на хаос, з яким звичайно асоціюється структура розупорядкованих матеріалів, у них є універсальний просторовий масштаб, параметр порядку, характерний для аморфних тіл і стеклованих різноманітної природи (напівпровідників, діелектричних, металевих). Розмірні ефекти, які спостерігаються в експериментах, визначають особливості в коливальних властивостях, релаксації електронного порушення, переносі зарядів. Континуальне описування для аморфних тіл і стеклованих застосовне лише на масштабах, які перевищують характерні кореляційні довжини.

Стан твердотілого розчину (ТТР) відповідає сумішці двох фаз: збідненої матриці (де концентрація розчинених атомів досягає рівноважного значення, відповідного до межі розчинності) й атомно-фрагментарних скупчень — НК (локалізації в обмеженому об'ємі надлишку розчинених атомів). Об'єм двофазної області із плином часу зростає. Ті області, де відбувся розпад, найчастіше зростають від границь зерен і поступово заповнюють кристал. Кристали вихідної матриці перетворюються в суміш НК і нових кристалів збідненої матриці. Як правило, орієнтування нових кристалів зовсім не залежить від орієнтування вихідних кристалів. Розпад регулюється процесом утворення зародків, причому зростання зародків НК відбувається внаслідок дифузії розчинених атомів у матриці. Найімовірніше, спочатку відбувається порушення правильності будови кристала матриці,

а потім повна атомна перебудова в області навколо зародка.

Різка зміна структури відбувається без проміжних стадій, причому правильна структура порушується лише у вузьких областях уздовж границь між матрицею й розчином, що вже розпався. Области з порушеною структурою настільки малі, що виявити їх неможливо¹.

Особливий інтерес, на наш погляд, представляє такий тип розпаду, коли НК з'являються одночасно у всій масі кристала матриці. При цьому, як правило, зберігається строга орієнтаційна відповідність між НК і навколишньою його матрицею (фігури Відманштетта [8]). Зовнішня форма й орієнтування кристала матриці залишаються незмінними. Спостерігається лише невелика зміна періоду ґратки, зумовлена зміною складу. Звідси випливає, що перетворення відбуваються без порушення вихідного кристала й зумовлені переміщеннями атомів у межах ґраток твердотільної матриці.² Іноді обидва типи виділень — безперервні й локальні — можуть з'являтися одночасно в різних місцях сплаву.

У твердотільних розчинах структурні зміни, що характеризують формування НК, спостерігаються й до появи останніх. Ці структурні зміни захоплюють значну частину всього об'єму, так що вони можуть помітно змінити рентгенівську дифракційну картину. Окрім того, спостерігається значна зміна фізичних і механічних властивостей. Ця стадія розвитку має назву стадії передвиділення й характерна для поведінки сплавів металів у процесі природного старіння. Як пра-

вило, основними умовами, необхідними для прояву старіння сплавів є такі. Вище певної температури T_c сплав повинен перебувати в стані гомогенного твердотільного розчину, а межа розчинності для атомів другого компонента повинна сильно зменшуватися зі зниженням температури. За загартування в діапазоні температур від T_c до кімнатної утворюється пересичений твердий розчин; при цьому швидкого розпаду не відбувається. Однак фізичні властивості загартованого сплаву змінюються згодом або за звичайних температур (природне старіння), або під час відпуску за температур, значно нижчих T_c , (штучне старіння).

ВИСНОВКИ

Отже, у статті розглянуто можливості, переваги й недоліки відомих методів діагностики нанокластерної підсистеми твердотільної матриці. У цьому контексті розроблення метрологічних підходів до проведення структурно-морфологічного аналізу нанокластерів й їх синтезу в єдину нанокластерну підсистему твердого тіла має особливий інтерес у нанометрології.

Практичним результатом цієї роботи є теоретичне обґрунтування необхідності створення нових типів вимірювальних систем (наприклад, із застосуванням датчиків на основі кварцу), які мають підвищену надійність роботи, високу чутливість і точність вимірювання параметрів на субатомному рівні.

Показано, що для розроблення сучасних методів керування характеристиками й контролю властивостей твердотільної речовини необхідно ґрунтуватися на єдиному підході, який дозволяє системно вивчати твердотільні матриці, що містять нанокластерну підсистему.

^{1, 2} Цей тип розпаду рентгенографічно виявляється як «двофазний розпад»

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Ковальчук В.В. Метрологія формування наносистеми з використанням фрактального підходу / В.В. Ковальчук, А.М. Сиротенко // Метрологія та прилади. — 2012. — № 2 (34). С. 61—65.
2. Physics and Chemistry of Small Clusters / Eds. P. Jena, B.K. Rao, S.N. Khanna. — N.Y.: Plenum Press., 1987. — 355 p.
3. Находкін М.Г., Сізов Ф.Ф. Елементи функціональної електроніки. — К.:ВД «Професіонал», 2002. — 201 с.
4. Красников Г.Я., Зайцев Н.А. Система кремний-диоксид кремня субмикронных СБИС. — М.:Техносфера, 2008. — 367 с.
5. Ковальчук В.В. Кластерная модификация полупроводниковых гетероструктур. — Наукове видання. К.: «Хай-Тек Пресс», 2007. — 304 с.
6. Архаров В.И. О кластерной природе конденсированного состояния вещества // Физика твердого тела. Республиканский меж ведомственный научно-технический сборник / Под ред. В.И. Архарова. Харьков: Вища школа, 1989. — С. 3—8.
7. Kovalchuk V.V. Nanoelectronic's material for optic system / V.V. Kovalchuk // Photoelectronics. — 2012. — № 21, P. 65—68.
8. Асланов Л.А. Многообразие квазикристаллов / Л.А. Асланов // Журн. структ. химии. — 1991. — 32, № 1. — С. 168—170.
9. Губанов В.А., Жуков В.П., Литинский А.О. Полуэмпирические методы молекулярных орбиталей в квантовой химии. — М.: Наука, 1976. — с. 21—118.
10. Ковальчук В.В. Измерение толщины кластерного слоя методом кварцевого резонатора / Коломиец Л.В., Ковальчук В.В., Грабовский О.В., Жеребцова Л.Н. // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. — 2010. — № 1. — С. 11—17.
11. Ковальчук В.В. Тополого-энергетические характеристики нанокластерной подсистемы / В.В. Ковальчук, О.Н. Маслий, В.А. Рац, В.А. Громов // Вестник ИАН Украины. — 2012. — № 2. С. 78—82.

Отримано / received: 03.12.2014.

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

УДК 378:389

СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ УДОСКОНАЛЕННЯ ВИЩОЇ ТА ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ В ГАЛУЗІ МЕТРОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ В УКРАЇНІ



Т. Гордієнко, кандидат технічних наук, доцент,

А. Габер, аспірантка,

Одеська академія технічного регулювання й якості, м. Одеса

Розглянуто основні зміни в українському законодавстві стосовно метрологічної діяльності та вищої освіти. Нові законодавчі акти забезпечують гармонізацію національного законодавства з європейськими стандартами та принципами, що потребуватиме певних змін в організації навчання, а також підготовки фахівців у галузі метрології та приладобудування за відповідними рівнями, ступенями (кваліфікаціями), освітньо-професійними, освітньо-науковими й науковими програмами. Проведено аналіз ступеня адаптації наявної системи післядипломної освіти у зазначеній галузі з огляду на положення нових законодавчих актів з питань метрологічної діяльності та вищої освіти.

Basic changes in the Ukrainian legislation about metrology activity and higher education are considered. New legislative acts provided harmonization of national legislation with European standards and principles, which will need certain changes organizations of studies, and also preparations of specialists in industry of metrology and instrumentation after corresponding levels, degrees (qualifications) and educationally-professional, educational-scientific and scientific programs. The analysis of degree of adaptation of the existent system of post-diploma education is field of metrology and instrumentation, taking into account contents of new legislative acts on questions metrology activity and higher education.

Ключові слова: метрологія, приладобудування, вища освіта, післядипломна освіта.
Key words: metrology, instrumentation, higher education, post-diploma education.

Для виробництва якісної продукції, особливо в галузі високих і науково містких технологій, потрібно забезпечувати необхідну точність вимірювань. До обов'язків інженерів з метрології на підприємстві входять управління технологічними процесами та засобами вимірювальної техніки (ЗВТ), а також спостереження за відповідністю вимірювального обладнання вимогам законодавства. Вони здійснюють повірку і калібрування ЗВТ, проводять метрологічну експертизу документації та техніки, розробляють методики, інструкції, графіки повірки і калібрування ЗВТ, співпрацюють з виробничниками з питань удосконалення і введення в експлуатацію на підприємстві нових ЗВТ.

Отже, якість підготовки фахівців у галузі метрології та приладобудування є не менш важливою, ніж підвищення їхньої кваліфікації. Різні країни світу, зокрема і Україна, приділяють велику увагу навчанню таких фахівців [1, 2]. Звичайно, що на ринку праці високо цінується спеціаліст, який може розробляти методики виконання метрологічних досліджень, має практичний досвід роботи з повірки і калібрування ЗВТ, а також знає міжнародні та національні стандарти щодо систем управління якістю (СУЯ).

1. ВИЩА ТА ПІСЛЯДИПЛОМНА ОСВІТА В ГАЛУЗІ МЕТРОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

У 2014 році Верховна Рада України прийняла новий Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [3], згідно зі статтею 4 якого до Метрологічної системи України, зокрема, включено навчальні заклади, науково-дослідні установи, організації,



Т. Гордієнко



А. Габер

© Гордієнко Т., Габер А., 2015

що поширюють знання та досвід у сфері метрології та метрологічної діяльності. У 2014 році також прийнято новий Закон України «Про вищу освіту» [4], який упровадив п'ять рівнів вищої освіти (РВО) і десять рівнів Національної рамки кваліфікації (НРК) [5]. Це забезпечує гармонізацію законодавства у сфері освіти з європейськими стандартами і принципами, враховує вимоги ринку праці до компетентностей фахівців, а також сприяє національному і міжнародному визнанню кваліфікацій, здобутих в Україні. Узагальнену модель національної системи освіти в Україні показано на рис. 1.

Вища освіта — це сукупність систематизованих знань, умінь і практичних навичок, способів мислення, професійних, світоглядних і громадянських якостей, морально-етичних цінностей, інших компетентностей, здобутих у вищих навчальних закладах (ВНЗ) або науковій установі у відповідній галузі знань за певною кваліфікацією на рівнях вищої освіти, що за складністю є вищими, ніж рівень повної загальної середньої освіти [4].

Держава здійснює реєстрацію, ліцензування й акредитацію ВНЗ, визначає єдині вимоги до послуг з освітньої діяльності, встановлює стандарти освітньої діяльності та вищої освіти.

Підготовка фахівців з вищою освітою здійснюється за відповідними освітньо-професійними, освітньо-науковими, науковими програмами на п'яти РВО [4]:

- початковий рівень (короткий цикл) вищої освіти;
- перший (бакалаврський) рівень;
- другий (магістерський) рівень;
- третій (освітньо-науковий) рівень;
- науковий рівень.

Кожен РВО відповідає відповідному кваліфікаційному рівню НРК і передбачає успішне виконання особою відповідної освітньої (освітньо-професійної чи освітньо-наукової) або наукової програми,

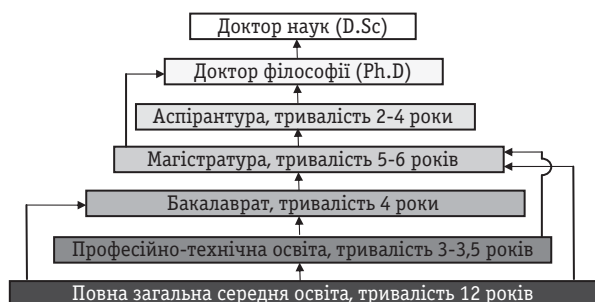


Рис. 1. Узагальнена модель національної системи освіти в Україні

Fig. 1. General model of the national system of education in Ukraine

що є підставою для присудження відповідного ступеня вищої освіти:

- 1) молодший бакалавр;
- 2) бакалавр;
- 3) магістр;
- 4) доктор філософії (Doctor of Philosophy, Ph.D);
- 5) доктор наук (Doctor of Science, D.Sc) [4].

Ступінь вищої освіти від 1-го до 3-го здобувається за певних умов і присуджується ВНЗ у результаті успішного виконання здобувачем відповідної освітньої програми, обсяги якої обраховують у кредитах Європейської кредитної трансферно-накопичувальної системи (ЄКТС). ЄКТС використовується в Європейському просторі вищої освіти з метою надання, визнання, підтвердження кваліфікацій та освітніх компонентів і сприяє академічній мобільності здобувачів вищої освіти. Система ґрунтується на визначенні навчального навантаження здобувача вищої освіти, необхідного для досягнення визначених результатів навчання, та обліковується у кредитах ЄКТС [4].

Ступінь доктор філософії — перший науковий ступінь, здобувається на третьому рівні вищої освіти на основі ступеня магістра і присуджується спеціалізованою вченою радою (СВР) ВНЗ або наукової установи в результаті успішного виконання здобувачем вищої освіти відповідної освітньо-наукової програми та публічного захисту дисертації у СВР.

Ступінь доктор наук — другий науковий ступінь, здобувається на науковому рівні вищої освіти на основі ступеня доктора філософії і передбачає набуття найвищих компетентностей у галузі розроблення і впровадження методології дослідницької роботи, проведення оригінальних досліджень, отримання наукових результатів, які забезпечують вирішення важливої теоретичної або прикладної проблеми, мають загальнонаціональне або світове значення та опубліковані в наукових виданнях. Ступінь доктора наук присуджується СВР ВНЗ чи наукової установи за результатами публічного захисту наукових досягнень у виді дисертації або опублікованої монографії, або за сукупністю статей, опублікованих у вітчизняних і міжнародних рецензованих фахових виданнях, перелік яких затверджується Центральним органом виконавчої влади у сфері освіти і науки [4].

На сьогодні в Україні навчання спеціалістів у галузі метрології та приладобудування здійснюється за такими типами:

- підготовка інженерів;
- загальна підготовка інженерів — фахівців різних спеціальностей;

Таблиця 1. Ступені кваліфікації спеціалістів у галузі метрології та приладобудування в Україні
Table 1. Degrees of qualification for specialists in field of metrology and instrumentation in Ukraine

РВО (НРК)	РВО	Ступінь вищої освіти	Умови досягнення	Описання коду і назва
Початковий (5)	Короткий цикл	Молодший бакалавр	90-120 кредитів ЄКТС	—
Перший (6)	Бакалаврський	Бакалавр	180-240 кредитів ЄКТС	<u>Галузь знань:</u> 0510 Метрологія, вимірювальна техніка та інформаційно-вимірювальні технології <u>Спеціальності:</u> Метрологія та вимірювальна техніка; Інформаційні вимірювальні системи; Метрологічне забезпечення випробувань та якості продукції; Технології приладобудування; Прилади і системи точної механіки; Інформаційні технології у приладобудуванні
Другий (7)	Магістерський	Магістр	90-120 кредитів ЄКТС (дослідницька (наукова) компонента має складати не менше 30 %)	<u>Галузь знань:</u> 1801 Специфічні категорії <u>Спеціальність:</u> Якість, стандартизація та сертифікація
Третій (8)	Освітньо-науковий	Доктор філософії	30-60 кредитів ЄКТС в аспірантурі або як здобувач. Перша наукова ступінь — присуджує СВР за результатом публічного захисту дисертації	Спеціальність 05.01.02 Стандартизація, сертифікація і метрологічне забезпечення
Науковий (9)	Науковий	Доктор наук	Друга наукова ступінь — присуджує СВР за результатом публічного захисту дисертації або опублікованої монографії, або за сукупністю статей	

▪ післядипломна освіта (спеціалізація, перепідготовка, підвищення кваліфікації, стажування) фахівців;

▪ підготовка фахівців — метрологів вищої кваліфікації [2].

Навчання інженерів у галузі метрології та приладобудування здійснюють ліцензовані технічні ВНЗ України таких типів: університет, академія, інститут або коледж.

Післядипломна освіта спеціалістів у галузі метрології та приладобудування здійснюється ліцензованими підрозділами технічних ВНЗ, інших спеціалізованих наукових установ України. Офіційне навчання у галузі метрології та приладобудування здійснюється за освітніми програмами, які забезпечують професійну кваліфікацію «Метролог». Особі, яка завершила навчання та успішно пройшла атестацію, видають визнаний державою диплом, підтверджуючи цим професійну кваліфікацію. Тривалість освітніх програм міститься в межах від 1 тижня до 2 років. Фахівець вищої кваліфікації у галузі метрології та приладобудування — це фахівець, який має науковий ступінь доктора філософії (Ph.D) або доктора наук (D.Sc). Ступені кваліфікації спеціалістів у галузі метрології та приладобудування в Україні наведено в табл. 1.

Ступені вищої освіти бакалавра і магістра забезпечують у галузях знань, які викладають за певними дисциплінами відповідно до стандартів вищої освіти. Стандарт вищої освіти — це сукупність вимог до змісту та результатів освітньої діяльності ВНЗ і наукових установ за кожним РВО в межах кожної спеціальності. Стандарти вищої освіти розробляються для кожного РВО в межах кожної спеціальності відповідно до НРК і використовуються для визначення та оцінювання якості змісту та результатів освітньої діяльності ВНЗ [4]. Тобто, кожна дисципліна викладається певну кількість часу (термінів, годин).

Отже, є дисципліни, обов'язкові до навчання, й такі, що можуть бути вибрані відповідно до акредитованої освітньої програми. Сертифікат про акредитацію ВНЗ уперше видається на кожну акредитовану освітню програму терміном на п'ять років, а на другу і подальші акредитації — терміном на 10 років. Інформація щодо видачі сертифіката вноситься до Єдиної державної електронної бази з питань освіти. Сертифікат підтверджує відповідність освітньої програми ВНЗ за відповідною спеціальністю та РВО стандарту вищої освіти і надає право на видачу диплома державного зразка за цією спеціальністю [4].

Таблиця 2. Основні дисципліни навчальної програми вищої освіти для спеціалістів у галузі метрології та приладобудування (для магістрів) ОДАТРЯ

Table 2. The teaching program of higher education basic disciplines for specialists in field of metrology and instrumentation (for master's degrees) of OSATRO

Дисципліни	Умови викладання	Семестр, години
Статистичні методи опрацювання виміральної інформації в метрології	обов'язково	20
Основи метрології та виміральної техніки	обов'язково	84
Методи та засоби вимірювання	обов'язково	84
Економіка метрологічної діяльності на виробництві	обов'язково	42
Фізичні основи сучасної метрології	самостійний вибір	26
Законодавча метрологія	самостійний вибір	30
Інформаційно-вимірвальні системи	самостійний вибір	40
Сертифікація продукції	самостійний вибір	100
Акредитація вимірвальних та випробувальних лабораторій	самостійний вибір	30
Сертифікаційні випробування та випробувальне устаткування	самостійний вибір	36
Технічна діагностика та надійність ЗВТ	самостійний вибір	48
СУЯ	вільний вибір	80
Метрологічне забезпечення якості продукції	вільний вибір	42

Основні дисципліни навчальної програми вищої освіти для спеціалістів у галузі метрології та приладобудування (для магістрів) показані в табл. 2 на прикладі Одеської академії технічного регулювання й якості (ОДАТРЯ).

ВНЗ дають базові знання (компетентність), що забезпечує необхідний рівень кваліфікації. Проте, для отримання вищого рівня кваліфікації та підтримання досягнутого рівня кваліфікації метрологу-практику необхідно виконувати певні умови — післядипломна освіта, спеціалізація, перепідготовка, підвищення кваліфікації або стажування.

2. ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Якість освіти у Болонському процесі є основною умовою для довіри, сумісності та взаємного визнання ВНЗ на Європейському просторі. Згідно з [4] створюється Єдина державна електронна база з питань освіти, розпорядником якої є Міністерство освіти і науки України (МОН). База міститиме Реєстр ВНЗ, Реєстр документів про вищу освіту та Реєстр сертифікатів зовнішнього незалежного оцінювання, також до неї вноситиметься інформація стосовно виданих ВНЗ дипломів.

Контроль якості освіти у ВНЗ здійснюватиме не МОН, а Національне агентство із забезпечення якості вищої освіти (Агентство), при якому працюватимуть галузеві експертні ради. Агентство, зокрема, формуватиме перелік спеціальностей, розроблятиме стандарти вищої освіти, акредитуватиме спеціальності, учбові програми, СБР і установи щодо оцінки якості освіти. Відповідно до стандарту вищої освіти ВНЗ повинні мати систему забезпечення якості (СЗЯ) вищої освіти, яка охоплює зовнішню і внутріш-

ню системи якості (СЯ) вищої освіти [4]. Також одним із шляхів досягнення високого рівня підготовки фахівців може бути розроблення й упровадження СУЯ, що відповідає вимогам міжнародного стандарту ISO 9001. Проте на сьогодні в Україні достатньо незначна кількість ВНЗ (близько двадцяти) впровадили СУЯ відповідно до вимог ISO 9001.

Одним із основних завдань ВНЗ є проведення наукових досліджень і забезпечення творчої діяльності учасників освітнього процесу, підготовки наукових кадрів вищої кваліфікації та використання отриманих результатів у освітньому процесі [4]. Тому важливою є взаємодія між ученими і студентами ВНЗ у різних наукових сферах для забезпечення осіб з вищою освітою додатковими універсальними знаннями, потрібними для прийняття відповідальних рішень.

Неперервне навчання фахівців — метрологів включає підготовку, набуття кваліфікації й курси повторної перепідготовки (підвищення кваліфікації). Отже, студент готовий для освоєння специфічної кваліфікації за короткий час. Він отримує базові теоретичні знання і необхідні навички для професійної діяльності, а вже в процесі роботи набуває практичного досвіду. Велике значення в навчальних програмах має поєднання теоретичних знань з практикою. Тому не лише теоретична база, але і професійний досвід у специфічних сферах є потрібним для викладачів ВНЗ.

Аналізуючи галузі знань та спеціальності, за якими ВНЗ готують спеціалістів у сфері метрології та приладобудування, можна стверджувати стосовно необхідної кількості таких напрямів підготовки. Більшість технічних ВНЗ України надають достатній рівень базових знань з математики і фізики,

необхідних у сфері вимірювань та метрології. Очевидно, що студенти нетехнічних ВНЗ або коледжів не мають достатніх знань у цих сферах. Однак, і фахівці, які мають диплом технічного ВНЗ, і випускники нетехнічних ВНЗ, які мають практичний досвід, можуть у подальшому набути необхідного рівня кваліфікації або підвищити вже наявний різними способами післядипломної освіти — шляхом спеціалізації, перепідготовки або підвищення кваліфікації для фахівців у галузі метрології та приладобудування.

3. ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ВИЩОЇ ТА ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ В ГАЛУЗІ МЕТРОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Як і у більшості розвинених європейських країн, в Україні фахівцем з метрології може бути особа, яка має вищу технічну освіту. Є певні винятки для осіб, які мають практичний досвід роботи, однак не мають диплома технічного ВНЗ. Особи, які мають вищу технічну освіту, можуть підвищити свою кваліфікацію або набути ступеня магістра з подальшим навчанням за науковою програмою ВНЗ. В Україні послуги з післядипломної освіти для фахівців у галузі метрології та приладобудування надають наукові установи та відповідні структурні підрозділи ВНЗ. Національну модель освіти для підготовки метрологів вищої кваліфікації показано на рис. 2.

В Україні сформовано систему підготовки та атестації фахівців у галузі метрології, яку регламентує низка законодавчих та нормативно-правових актів [6–10]. Однак у найближчій перспективі частина з них пе-

реглядатиметься з огляду на зміни у законодавстві, що регулюють діяльність у сфері вищої освіти та метрології; зокрема, потребують перегляду та доопрацювання вимоги до підготовки й атестації фахівців у галузі метрології, які займатимуться ринковим наглядом. На сьогодні підвищення кваліфікації фахівців у сфері метрології здійснюється за усталеною схемою і передбачає такі основні рівні кваліфікації: *метролог (повірник)*, *спеціаліст з вимірювань та різноманітних ЗВТ на підприємстві або у лабораторії*; *державний повірник*, *державний інспектор з метрологічного нагляду*; *інженер з метрології*, *інженер-дослідник з метрології та вимірювальної техніки*. За окремою процедурою здійснюється підготовка й атестація *аудиторів і кандидатів в аудитори з метрології*, де окремі етапи роботи з атестації виконують ДП «Укрметрестстандарт» (м. Київ), ННЦ «Інститут метрології» (м. Харків) та ДП «УкрНДНЦ» (м. Київ) [8].

Метролог (повірник), *спеціаліст з вимірювань та різноманітного вимірювального обладнання* — це особа, яка має диплом технічного ВНЗ або коледжу, закінчила курси кваліфікації метрологів, пройшла практичне стажування протягом 6 місяців і успішно здала тест на знання у визначеній галузі. Вона може здійснювати на підприємстві контроль устаткування, ремонт, технічне обслуговування і калібрування ЗВТ на виробництві або у лабораторії. Свідцтво метролога (повірника) дійсне протягом п'яти років.

Державний повірник — це особа, яка [7]:

- * має диплом технічного ВНЗ або коледжу;
- * закінчила курси кваліфікації метрологів;

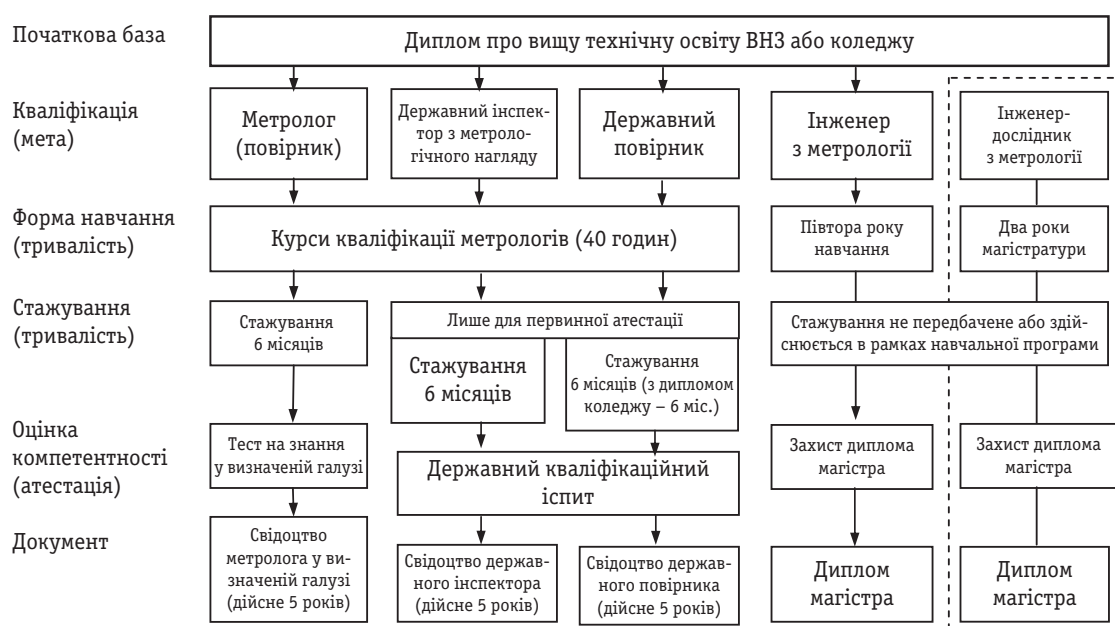


Рис. 2. Національна модель освіти для підготовки метрологів вищої кваліфікації

Fig. 2. National model of education for preparation of higher qualification metrologists

* пройшла практичне стажування у повірочно-му підрозділі метрологічного центру або повірочний лабораторії підприємства чи організації (з дипломом технічного ВНЗ — 3 місяці; з дипломом технічного коледжу — 6 місяців за наявності стажу роботи понад 5 років у галузі метрології);

* успішно здала державний кваліфікаційний іспит.

Свідоцтво державного повірника видається на п'ять років.

Державний повірник повинен знати:

- ♦ закони України, інші нормативно-правові акти України з питань метрології та метрологічної діяльності;

- ♦ основоположні національні стандарти з метрології;

- ♦ основи метрології, основні принципи, методи та умови отримання результатів вимірювань;

- ♦ документи щодо методик повірки стосовно видів (підвидів) вимірювань, щодо яких вони підлягають атестації чи атестовані;

- ♦ принцип дії та конструкцію робочих еталонів, використовуваних під час проведення повірки, та ЗВТ, що повіряються;

- ♦ основи законодавства про працю і охорону праці, техніки безпеки, виробничої санітарії, протипожежної безпеки [7].

Державний інспектор з метрологічного нагляду — це особа, яка має диплом технічного ВНЗ або коледжу, закінчила курси кваліфікації метрологів, пройшла практичне стажування протягом 6 місяців і успішно здала державний кваліфікаційний іспит.

Державний інспектор з метрологічного нагляду повинен знати [6]:

- закони України, інші нормативно-правові акти України в галузі метрології та метрологічної діяльності, а також з питань дисциплінарної, цивільної, адміністративної та кримінальної відповідальності за порушення у сфері метрології та метрологічної діяльності;

- організацію і порядок проведення державного метрологічного нагляду;

- основоположні нормативні документи у сфері метрології;

- основи метрології, основні принципи, методи та умови отримання результатів вимірювань;

- основи законодавства про працю і охорону праці, техніки безпеки, виробничої санітарії, протипожежної безпеки.

Свідоцтво державного інспектора видається на п'ять років.

Державний інспектор з метрологічного нагляду — це уповноважена посадова особа Центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері метрологічного нагляду, виконує свої функції з дотриманням вимог чинного законодавства, технічних регламентів, інших нормативно-правових актів у сфері метрології та метрологічної діяльності, має відповідний правовий статус та відповідає за виконання завдань, визначених законодавством і правилами законодавчої метрології. Він може проводити повірку і калібрування ЗВТ, щоби перевірити або відкалібрувати різні ЗВТ; якщо необхідно, складати протоколи про адміністративні правопорушення, видавати приписи про усунення порушення метрологічних вимог тощо. За необхідності працівники правоохоронних органів повинні надавати допомогу державним інспекторам у виконанні ними своїх службових обов'язків [3].

Інженер з метрології, інженер-дослідник з метрології та вимірювальної техніки — це особа, яка має диплом технічного ВНЗ, пройшла протягом 1,5 або 2 років розширене навчання за модулями щодо ЗВТ і метрології, набула дослідницьких навичок і отримала ступінь магістра з метрології. Інженери-дослідники з метрології виконують важливі завдання в науці, промисловості або лабораторіях. Ступінь магістра є передумовою до подальших стадій — отримання вченого ступеня доктора філософії (Ph.D) та доктора наук (D.Sc.) у сфері метрології.

Перепідготовка або підвищення кваліфікації для метрологів-практиків є особливо важливими. Лише фахівці зі свідоцтвом державного інспектора або державного повірника можуть перевіряти ЗВТ, визначені метрологічним законодавством. Для отримання такого свідоцтва фахівцям необхідно проходити навчальні курси з метрології кожні п'ять років (рис. 2). Метрологи-практики для підвищення і підтримання на належному рівні своєї кваліфікації можуть брати участь у конференціях, семінарах (у т. ч. навчальних), інших заходах з питань метрології та метрологічної діяльності. Доказом участі в таких заходах є свідоцтво або сертифікат учасника.

Наявність атестованого державного повірника — це одна із умов для уповноваження в національній метрологічній системі метрологічних установ (національних метрологічних інститутів, наукових метрологічних центрів, повірочних лабораторій) на проведення повірки ЗВТ відповідно до галузі уповноваження. Термін дії свідоцтва про уповноваження — п'ять років. Тому, для оцінювання і підтвердження компетентності метрологічних установ, необхідно виконувати відповідні умови. Міністерство

економічного розвитку і торгівлі України встановлює вимоги до компетентності органів з уповноваження для оцінювання їх компетентності у сфері метрології. Для реалізації робіт з уповноваження залучають атестованих аудиторів у сфері метрології.

Наукові установи, навчальні та інші організації проводять семінари, конференції, курси з навчання і підвищення кваліфікації з метрології. Практичні навчальні заняття проводять у приміщеннях повірочних або калібрувальних лабораторій. Значну допомогу в цьому напрямку надають наші зарубіжні партнери. Зокрема, європейський проект з подолання технічних бар'єрів у торгівлі «Додаткові заходи щодо виконання Програми підтримки галузевої політики «Сприяння взаємній торгівлі шляхом усунення технічних бар'єрів у торгівлі між Україною та Європейським Союзом» за три роки роботи в Україні з 2001 по 2014 роки [11]:


▲ у сфері метрології — провів семінари та презентації з міжлабораторних порівнянь і програм перевірки кваліфікації, а також надав допомогу органам з оцінки відповідності для поліпшення внутрішніх систем якості;

▲ у сфері ринкового нагляду — організував 4 семінари з оцінки ризиків і швидкої системи попередження (RAPEX) для 120 співробітників органів ринкового нагляду, провів 27 тренінгів, 5 навчальних сесій, освітніх візитів і 3 круглих столи на тему ринкового нагляду.

ВИСНОВКИ

Пропозиції на відповідному ринку праці в галузі метрології є достатньо обмежені, тому безперервне навчання фахівців стає особливо важливим елементом роботи. Така професійна освіта дозволяє відновлювати трудові ресурси, однак систему підготовки кваліфікованих фахівців доведеться пристосовувати до основної національної системи кваліфікації у зв'язку із прийняттям нового законодавства щодо вищої освіти, гармонізованого з європейськими принципами та документами. Набуває ще більшої актуальності також питання підготовки та перепідготовки фахівців-метрологів у зв'язку із прийняттям нового законодавства з питань метрології та метрологічної діяльності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Meskuotiene A., Zilinskas R., Zabolotnas V. Education and competency evaluation system of metrology practitioners in Lithuania // 12th IMEKO TC1 and TC7 Joint Symposium on Man Science and Measurement. — Annecy, France. — Sept. 2008. — P. 349—355.
2. Величко О. М. Викладання метрології у навчальних закладах України. // Укр. метролог. Журнал (Velychko O. M. Teaching of metrology in educational establishments of Ukraine // Ukr. Metrolog. magazine). — 1998. — № 3. — С/Р. 11—15.
3. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від (Law of Ukraine «On Metrology and Metrology Activity» from) 05.06.2014 № 1314-VII.
4. Закон України «Про вищу освіту» від (Law of Ukraine «On Higher Education» from) 01.07.2014 № 1556-VII.
5. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Національної рамки кваліфікацій» від (Resolution of Cabinet of Ministers of Ukraine «About claim of the National frame of qualifications» from) 23.11.2011 № 1341.
6. «Порядок проведення атестації державних інспекторів з метрологічного нагляду», затверджений наказом Держстандарту України від («Order of realization of attestation of government inspectors for metrology supervision», ratified by the order of Derzhstandart of Ukraine from) 13.02.2002 № 91 та зареєстрований в Мінюсті України (and registered in Ministry of justice of Ukraine) 27.02.2002 № 199/6487.
7. «Порядок атестації державних повірників та повірниць», затверджений наказом Держспоживстандарту України від («Order of attestation of state verifiers and verifiers», ratified by the order of Derzhspozhyvstandart of Ukraine from) 03.03.2005 № 55 та зареєстрований в Мінюсті України (and registered in Ministry of justice of Ukraine) 21.03.2005 № 317/10597.
8. «Порядок атестації аудиторів з метрології», затверджений наказом Держспоживстандарту України від («Order of attestation of auditor in field of metrology», ratified by the order of Derzhspozhyvstandart of Ukraine from) 27.07.2007 № 166 та зареєстрований в Мінюсті України (and registered in Ministry of justice of Ukraine) 28.09.2007 № 1125/14392.
9. «Правила уповноваження та атестації у державній метрологічній системі», затверджені наказом Держспоживстандарту України від («Rules of authority and attestation in the State Metrology System», ratified by the order of Derzhspozhyvstandart of Ukraine from) 29.03.2005 № 71 та зареєстровані в Мінюсті України (and registered in Ministry of justice of Ukraine) 13.04.2005 № 392/10672.
10. Закон України «Про професійний розвиток працівників» від (Law of Ukraine «On professional development of workers» from) 12.01.2012 № 4312-VI.
11. Технічні бар'єри у торгівлі з ЄС: що подолано за 3 роки? (укр.) [Електронний ресурс] / Програма підтримки галузевої політики «Сприяння взаємній торгівлі шляхом усунення технічних бар'єрів у торгівлі між Україною та Європейським Союзом». — Режим доступу (Three Years of Removing Technical Barriers: What Was Achieved? [Electronic resource] / Support Programme «Promoting mutual trade by removing technical barriers to trade between Ukraine and the European Union». — Access mode): <http://ukr.no-trade-barriers.com>. 

Отримано / received: 23.01.2015.

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

ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ У СФЕРІ МЕТРОЛОГІЇ



Н. Гоц, доктор технічних наук, відповідальний секретар Оргкомітету конференції, Національний університет «Львівська політехніка»

З 2 по 6 лютого 2015 р. Академією метрології України (АМУ) спільно з Інститутом комп'ютерних технологій, автоматики та метрології (ІКТА) НУ «Львівська політехніка» та ДП «Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних і управляючих систем» (ДНДІ «Система») за спонсорської підтримки НВО «АМІКО», (м. Миколаїв) та ПрАТ «Енергооблік», (м. Харків), проведено Всеукраїнську науково-технічну конференцію молодих вчених у царині метрології «Technical using of Measurement-2015». Конференція проходила в навчально-оздоровчому таборі «Політехнік-2» НУ «Львівська політехніка» у смт. Славське (Львівська обл.).

Із привітальними словами до учасників конференції звернулися Президент АМУ д.т.н. Є.Т. Володарський, віце-президент АМУ д.т.н. В.Б. Большаков, член Академії, директор ІКТА д.т.н. М.М. Микийчук, члени дорадчої ради Академії, завідувачі кафедр НУ: інформаційно-вимірювальних технологій д.т.н. Б.І. Стадник, метрології, стандартизації та сертифікації д.т.н. П.Г. Столярчук, які відзначили актуальність проведення таких конференцій, важливість наукового інформаційного обміну у сфері метрології та необхідність залучення талановитої молоді до науково-дослідницької роботи.

З метою ознайомлення молодих науковців-метрологів з новітніми ідеями та напрацюваннями у сфері метрології на початку конференції проведено науковий майстер-клас, у ході якого з доповідями виступили провідні українські вчені д.т.н. Є.Т. Володарський, д.т.н. Н.І. Косач, д.т.н. О.Є. Середюк.

Робота конференції тривала протягом 3 днів за такими напрямками: теорія й практика вимірювань та випробувань, забезпечення єдності вимірювань та випробувань, застосування інформаційно-вимірювальних технологій у промисловості, кваліметрія, стандартизація й сертифікація в світлі Європейської інтеграції.

У конференції взяли участь близько 150 учасників, проголошено 30 і подано як стендові 26 доповідей. Їх представили аспіранти, слухачі магістратури та студенти провідних університетів України: НУ «Львівська політехніка», НТУУ «Київський політехнічний інститут», Національного аерокосмічного університету ім. Н.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»,

Східноукраїнського НУ ім. В. Даля (м. Северодонецьк), Донецького НТУ, Івано-Франківського НТУ нафти і газу, Вінницького НТУ, Національного авіаційного університету (м. Київ), Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків), Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

З молодими науковцями-метрологами поділилися досвідом своєї метрологічної діяльності представники провідних підприємств України: ННЦ «Інститут метрології» (м. Харків), ДП НДІ «Система» (м. Львів), ДП «Івано-Франківськстандартметрологія», ДП «Придніпровська залізниця», ПрАТ «Енергооблік» (м. Харків).

Молоді науковці мали можливість обміну науковими ідеями, творчого спілкування з членами АМУ — провідними вченими-метрологами України, обговорення та апробації своїх ідей, завдань, що ними вирішуються. Це сприяло критичному погляду на дослідження, що вони проводять, визначенню подальших кроків у їхніх наукових роботах.

За результатами конференції прийнято рішення:

- рекомендувати до публікації найкращі доповіді учасників конференції після їх доопрацювання у науково-виробничому журналі «Метрологія та прилади», який включено до Переліку ДАК України та внесено до Міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus;

- провести Всеукраїнську науково-технічну конференцію молодих вчених у царині метрології «Technical using of Measurement» у 2016 році та розширити коло її учасників.

Матеріали конференції видано у виді збірника тез доповідей на електронному носіїві.

На закінчення конференції директор ІКТА НУ «Львівська політехніка» д.т.н. М.М. Микийчук вручив її учасникам відповідні Сертифікати і Подяки.

Необхідно зазначити, що керівництво та працівники навчально-оздоровчого табору «Політехнік-2» забезпечили не лише теплий прийом, здорове харчування, комфортне проживання учасників конференції та всі умови для її конструктивного проведення, а й організацію культурних заходів, екскурсій та гірськолижного відпочинку на засніжених мальовничих схилах Карпат.

ДО 60-РІЧЧЯ ВАСИЛЯ ВАСИЛЬОВИЧА ПАРАКУДИ

11 березня виповнюється 60 років від дня народження кандидату технічних наук, доценту, директору Державного підприємства «Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних і управляючих систем» (НДІ «Система») **Василію Васильовичу Паракуді**.

Народився ювіляр у с. Райківці на Хмельниччині. Після закінчення Хмельницької середньої школи № 3 у 1972 році вступив на факультет автоматики Львівського політехнічного інституту. Здобувши вищу освіту в 1977 році, працював математиком-програмістом обчислювального центру рідного вузу. Протягом 1978—1980 років проходив дійсну службу в лавах Радянської армії — був заступником командира військової частини Прикарпатського військового округу. Після демобілізації працював інженером-технологом Виробничого об'єднання «Полярон», інженером науково-дослідної лабораторії Львівського політехнічного інституту; паралельно займався науковою роботою, результати якої узагальнив у кандидатській дисертації. Після успішного її захисту в 1989 році продовжував працювати у Львівському політехнічному інституті на посадах старшого викладача, а з 1991 року — доцента кафедри «Інформаційно-вимірювальна техніка». Брав активну участь у громадській діяльності.

У лютому 2000 року Василь Васильович очолив ДП НДІ «Система». З лютого 2010 року до вересня 2014 року обіймав посади першого заступника директора з науково-технічної роботи, виконуючого обов'язки директора; з вересня 2014 року — директор ДП НДІ «Система». Під його безпосереднім керівництвом активного розвитку набули такі наукові напрями інституту, як метрологія систем; акустичні вимірювання у повітряному та водному середовищах; технічний захист інформації; стандартизація, зокрема, гармонізація національних стандартів з міжнародними, роботи з розроблення систем управління якістю; сертифікація. Його продумані рішення та наполегливі зусилля протягом усіх років керівництва інститутом завжди спрямовувалися на подальший розвиток наукових напрямів, зміцнення науково-технічної бази, активну співпрацю з міжнародними організаціями з метрології та стандартизації.

В.В. Паракуда є керівником органу сертифікації продукції, систем якості та послуг ДП НДІ «Система», аудитором зі сертифікації систем управління якістю, головою ПК93/1 «Системи управління якістю» Національного технічного комітету зі стандартизації ТК 93 «Системи управління якістю, довкіллям та безпечністю харчових продуктів», головою ПКА-08 «Управління системами якості, навколишнім середовищем та персоналом. Послуги» Технічного комітету з акредитації Національного Агентства України з акредитації (НААУ).

Василь Васильович веде активну і плідну науково-педагогічну діяльність, працюючи за сумісництвом на посаді доцента Інституту комп'ютерних технологій, автоматики та метрології Національного університету «Львівська політехніка», готує докторську дисертацію. Притаманна йому цікавість науковця, широкі погляди та принциповість справжнього вченого, організованість та дисциплінованість керівника допомогли налагодити тісну співпрацю між ДП НДІ «Система» та НУ «Львівська політехніка», яка сприяє удосконаленню процесу підготовки молодих спеціалістів, підвищенню кваліфікації професорсько-викладацького складу університету та виконанню науково-дослідних робіт. Завдяки його особистим зусиллям ведеться підготовка спеціалістів вищої кваліфікації з числа науковців інституту. Він є автором більше 100 наукових публікацій і патентів.

За свою плідну працю та громадську діяльність ювіляр відзначений Нагрудним знаком Держспоживстандарту України «За заслуги в стандартизації, метрології, сертифікації та акредитації», неодноразово нагороджувався почесними грамотами.



Друзі, колеги, співробітники, редакція та редколегія журналу «Метрологія та прилади» щиро вітають вельмишановного Василя Васильовича Паракуду з ювілеєм! Бажають йому довгих років життя, міцного здоров'я, миру, злагоди, родинного щастя та творчої наснаги в реалізації задуманого на благо України!

ДО 50-РІЧЧЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ КАТЕРИНИ ПЕТРІВНИ ІВАНОВОЇ

1 лютого 2015 року виповнилося 50 років роботи у сфері метрології провідного наукового співробітника Національного наукового центру «Інститут метрології» **Катерини Петрівни Іванової**.

Народилася Катерина Петрівна в суворі воєнні роки — 2 вересня 1942 року в Харкові. До війни її батько працював майстром цеху на Харківському тракторному заводі, мати — вихователькою в дитячих яслах. Батька призвали до дав Радянської армії у 1942 році (за другої мобілізації). А через рік, 3 вересня 1943 року, він загинув на фронті поблизу від м. Ізюм Харківської області.

Усе життя Катерини Петрівни пройшло в її рідному Харкові. З 1949 року вона навчалася у середній школі, з 1959 — у Харківському державному університеті ім. О.М. Горького на радіофізичному факультеті, який закінчила у грудні 1964 року, отримавши диплом за спеціальністю радіофізик-дослідник. Саме ця спеціальність — її кредо протягом усієї півстолітньої науково-технічної діяльності, пов'язаної з Харківським інститутом метрології.

Пройшовши шлях від інженера до директора наукового центру температурних і теплофізичних вимірювань, вона була виконавцем робіт з вимірювань у різних галузях народного господарства, захистила у 1976 році дисертацію на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук, отримала вчене звання старшого наукового співробітника.

У період з 1972 по 1996 рік за її безпосередньої участі виконано цикл робіт стосовно вимірювань профілю електронної температури в експериментальних установках типу токамак; температури плазми продуктів згорання в МГД генераторах на твердому паливі; віднесення матеріалу діелектричних теплозахисних покриттів методами неруйнівного контролю. У результаті експериментальних робіт і досліджень створено вимірювальні установки й комплекси, що використовують принципи пасивної й активної радіопірометрії, впроваджені на підприємствах енергетики: ІАЕ ім. Курчатова (м. Москва, Росія); ТЕС (м. Кохтла Ярве, Естонія). Заводу газового конденсату (м. Сургут, Росія) поставлено рівнемір, а Коксохімічному комбінату (м. Авдіївка, Україна) — сигналізатор рівня завантаження коксу.

У 1990-1996 роках проведено цикл робіт із вивчення спектроскопічного ефекту резонансного поглинання електромагнітних хвиль за проходження через різні середовища. Розроблено експериментальні установки й отримано результати досліджень ліній поглинання кисню й аміаку в міліметровому й сантиметровому діапазонах довжин хвиль. Цю роботу використано для створення вимірювальних комплексів з метою контролю складу газів, що відходять, на ТЕС.

У наступні два роки розроблено вимірювальну установку для державного первинного еталона одиниці температури, ученим-зберігачем якого є К.П. Іванова. Дослідження метрологічних характеристик еталона та його успішна модернізація дозволили взяти участь у міжнародних звіреннях EURAMET, COOMET. За результатами звірень нею підготовлені та пройшли метрологічну експертизу 35 рядків таблиць калібрувальних і вимірювальних можливостей (СМС) у сфері контактної термометрії, опубліковані на сайті BIPM у базі даних ключових звірень.

Починаючи з 2000 року, в ННЦ «Інститут метрології» під керівництвом Катерини Петрівни створено й успішно розбудовується новий прикладний напрям контактної термометрії — розроблення сухоблокових калібраторів температури для повірки (калібрування) робочих ЗВТ. Розроблено різні модифікації калібраторів: стаціонарні (НК, ТС-250, ТС-400, ТС-500, ТС-1100); портативні (ТС-660, МК-500) для проведення метрологічних робіт у діапазоні температур від мінус 20 до 1100 оС. Для підвищення точності повірочних робіт портативні калібратори оснащено реперними точками галію, індію, олова, цинку й алюмінію. Калібратори поставлено на підприємства ДП «Дніпростандартметрологія», ДП «Харківстандартметрологія», ВАТ «Дніпрошина», ПАТ «Арселормітталл Кривий Ріг», Хмельницька АЕС, Південно-Українська АЕС, ВАТ «Електротермометрія», ДП «Завод Електроважмаш», ВАТ «Полтавський ГЗК», МНУ ПАТ «Укрнафта».

Вирішено актуальне науково-практичне завдання — створення методу й засобів градування термодатчиків, установлених у важкодоступних місцях. Реалізовано метод калібрування термодатчиків за температурним плато плавлення реперного металу в малогабаритних реперних точках, який дозволяє підвищити точність калібрування термодатчика за умов експлуатації за рахунок скорочення ланок повірочного ланцюга.

Катерина Петрівна має більше 75 наукових праць і 5 патентів на винаходи. Велику увагу вона приділяє навчанню молодих спеціалістів, становленню їх як справжніх фахівців-метрологів, щиро ділиться з ними своїми набутими знаннями і багатим досвідом.

За багаторічну плідну роботу у сфері метрології її нагороджено нагрудним знаком Держстандарту України «За заслуги у стандартизації, метрології, сертифікації й акредитації», Почесною грамотою Держстандарту України.



*Друзі, колеги, співробітники, редакція та радколегія журналу «Метрологія та прилади»
сердечно вітають Катерину Петрівну Іванову з визначною датою,
бажають їй міцного здоров'я, щастя, творчих успіхів та нових звершень!*

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 вимірних лабораторій, метрологічних служб підприємств, а також спеціалістів, які працюють у напрямках стандартизації, сертифікації та управління якістю. Після успішного закінчення курсу слухачі отримують посвідчення чи посвідчення з сертифікатом ДП «УкрНДНЦ».

План набору слухачів на 2015 рік

Ч/ч	Курс	Період навчання
	1. Підвищення кваліфікації фахівців повірних та калібрувальних лабораторій з повірки та калібрування засобів вимірної техніки за видами вимірювань:	
1.1	геометричних величин	30.03 — 10.04; 07.12 — 18.12
1.1.1	спеціалізованих засобів вимірювань геометричних величин на залізничному транспорті	30.03 — 03.04; 07.12 — 11.12
1.1.2	колісвимірних шаблонів	30.03 — 03.04; 07.12 — 11.12
1.1.3	шаблонів вагонного господарства	30.03 — 03.04; 07.12 — 11.12
1.2	механічних величин	18.05 — 29.05
1.2.1	маси	18.05 — 22.05
1.3	параметрів потоку, витрат, рівня та об'єму речовин	15.06 — 26.06
1.3.1	маси, об'єму, місткості та витрати	15.06 — 26.06
1.3.2	маси, об'єму, місткості	15.06 — 26.06
1.3.3	об'єму, місткості	15.06 — 26.06
1.4	температури, тиску, витрати	16.03 — 27.03; 09.11 — 20.11
1.4.1	температури, тиску	16.03 — 27.03; 09.11 — 20.11
1.4.2	тиску	16.03 — 20.03; 09.11 — 13.11
1.5	електричних величин	09.02 — 20.02; 21.09 — 02.10
1.5.1	електричних величин на залізничному транспорті	09.02 — 13.02; 21.09 — 25.09
1.6	радіотехнічних величин	09.02 — 20.02; 21.09 — 02.10
1.6.1	радіотехнічних величин на залізничному транспорті	09.02 — 13.02; 21.09 — 25.09
	2. Підвищення кваліфікації фахівців за курсами:	
2.1	Забезпечення єдності вимірювань на підприємстві	06.04 — 17.04; 30.06 — 10.07; 19.10 — 30.10
2.1	Забезпечення єдності вимірювань на підприємстві (з д/р)	30.06 — 03.07
2.2	Метрологічна експертиза технічної документації	06.04 — 17.04; 19.10 — 30.10
2.3	Забезпечення єдності вимірювань в закладах охорони здоров'я	25.05 — 29.05
2.4	Забезпечення єдності вимірювань ВК ВІС та АСК ТП. Метрологічний контроль ВК	30.06 — 10.07
2.5	Забезпечення єдності вимірювань в калібрувальних та вимірних лабораторіях	02.02 — 06.02; 07.12 — 11.12
2.5.1	Забезпечення відповідності калібрувальних та вимірних лабораторій критеріям атестації в ДМС, підготовка до атестації	02.02 — 06.02; 07.12 — 11.12
2.6	Забезпечення єдності вимірювань при проведенні контролю колісних транспортних засобів	26.01 — 30.01; 06.07 — 10.07
2.6.1	Забезпечення єдності вимірювання димності відпрацьованих газів двигунів автомобілів згідно з ДСТУ 4276:2004	26.01 — 30.01; 06.07 — 10.07
2.7	Забезпечення єдності вимірювання та обліку витрат енергоносіїв	12.01 — 16.01; 30.11 — 04.12
2.7.1	Забезпечення обліку якості та кількості вугілля при прийманні на підприємствах	у міру комплектування, 1 тиждень
2.7.2	Забезпечення єдності вимірювання та обліку витрати природного газу	12.01 — 16.01; 30.11 — 04.12
2.7.3	Основні методи та засоби вимірювання витрати та кількості газу на підприємствах постачання газу споживачам. Калібрування та повірка ЗВТ	12.01 — 16.01; 30.11 — 04.12
2.8	Розробка та атестація методик виконання вимірювань. Оцінка похибки та невизначеності вимірювань	09.02 — 13.02; 09.11 — 13.11
2.9	Технічне регулювання в Україні	26.01 — 30.01; 08.06 — 12.06; 14.09 — 18.09
2.10	Розробка і впровадження систем управління якістю	26.10 — 30.10
2.10.1	Забезпечення функціонування систем управління якістю та проведення внутрішнього аудиту	26.01 — 30.01; 26.10 — 30.10
2.11	Стандартизація, розробка та впровадження нормативних документів	08.06 — 12.06; 14.09 — 18.09
2.12	Тепловізійні вимірювання. Тепловізійні методи контролю і діагностики	16.03 — 20.03; 23.11 — 27.11; 07.12 — 11.12
2.13	Проведення вимірювань та випробувань електротехнічними лабораторіями	02.02 — 06.02; 07.12 — 11.12
2.14	Внутрішній аудит в лабораторіях за ДСТУ ISO/IEC 17025:2006	02.11 — 06.11 та в міру комплектування, 1 тиждень
2.15	Вимоги до калібрувальних та випробувальних лабораторій відповідно до ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Внутрішній аудит в лабораторіях	02.11 — 06.11 та в міру комплектування, 1 тиждень
2.15.1	Вимоги до калібрувальних лабораторій відповідно до ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Оцінювання невизначеності вимірювань.	02.11 — 06.11 та в міру комплектування, 1 тиждень
2.15.2	Вимоги до випробувальних лабораторій відповідно до ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Оцінювання невизначеності вимірювань.	02.11 — 06.11 та в міру комплектування, 1 тиждень
	3. Тематичні семінари:	
3.1	Особливості забезпечення єдності вимірювань в сучасних умовах. Нова редакція Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність».	08.04 — 10.04; 01.07 — 03.07; 21.10 — 23.10
3.2	Стандартизація. Актуальні питання сьогодення. Нова редакція Закону України «Про стандартизацію».	27.01 — 28.01; 09.06 — 10.06; 15.09 — 16.09
	4. Підготовка кандидатів в аудитори:	
4.1	Підготовка кандидатів в аудитори з оцінки відповідності продукції за технічними регламентами (1-й модуль)	26.01 — 31.01; 08.06 — 13.06; 14.09 — 19.09
4.2	Підготовка кандидатів в аудитори з оцінки відповідності продукції за технічними регламентами (2-й модуль)	у міру комплектування, 4 дні

Заявки на навчання надсилають на адресу Харківської філії ДП «УкрНДНЦ», електронну адресу або факсом.

Комплектування додаткових груп проводиться на замовлення підприємств. За вимогою підприємств надсилаємо інформаційні листи з тематикою окремих курсів навчання.

61002, м. Харків, вул. Митрофанівська, 40, кімн. 3; тел./факс: (057) 752-00-89, 752-00-69; 050 403-84-90; e-mail: hf_ukrndnc@i.ua
Навчально-методичний відділ