

Вимірюйте
усе доступне вимірюванню
й робіть недоступне вимірюванню
доступним.

Галілео Галілей

ISSN 2307-2180

Метрологія



Та прилади

№ 5(43), 2013

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.
Крюков О. М., д. т. н., проф.
Кузьменко Ю. В.
Маловик К. М., к. т. н., доц.
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.
Радев 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.
Відповідальний редактор Чепела В. М.
Науковий редактор — відповідальний
секретар Винокуров Л. І.
Дизайнер-верстальник Зайцев Ю. О.

Журнал **рекомендовано до друку**
вченою радою ХНУРЕ
(протокол №25 від 30.10.2013)

Видавець ВКФ «Фавор»

Адреса редакції:

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

Підписано до друку 07.11.2013.
Формат 60×84/8. Папір крейдований.
Ум. друк. арк. 8,43. Обл.-вид. арк. 7,13.
Друк офсетний. Тираж 450 прим.
Замовлення № 34

© «Метрологія та прилади», 2013

10 жовтня метрологи і стандартизатори України
урочисто відзначили своє професійне свято —
День працівників стандартизації та метрології.
Відзначили вже у дванадцятий раз.

Указ Президента України щодо встановлення такого
свята було підписано 10 жовтня 2002 року. Дата свята
пов'язувалася з 8 жовтня (за новим стилем) 1901 року —
днем відкриття Харківської повірочної палатки — першої
в Україні, територія якої на той час входила до Російської
імперії. Саме цей день є днем народження Державної
метрологічної системи України.

Передбачалося, що вперше професійне свято
відзначатиметься 8 жовтня 2001 року, в день 100-річного
ювілею Харківської повірочної палатки. Однак, через певні
організаційні незгодженості сталося це на рік пізніше.

За час, що минув, метрологи і стандартизатори нашої
країни досягли значних успіхів. В Україні забезпечена
єдність вимірювань. Національна еталонна база
складається із 66 державних еталонів, метрологічні
характеристики яких відповідають кращим світовим
параметрам за точністю. Вимірювальні та калібрувальні
можливості України визнаються у світі. Істотну кількість
державних стандартів гармонізовано з міжнародними.

У подальшому, у зв'язку із курсом України
на євроінтеграцію, роль технічного регулювання постійно
зростатиме. Проте за наявного технічного і кадрового
потенціалу є всі підстави сподіватися, що поставлені
перед галуззю завдання будуть вирішені на належному
рівні.

МІЖНАРОДНЕ СПІВРОБІТНИЦТВО

Неєжмаков П. 31-Е ЗАСІДАННЯ JCRB.....3	Neiezhmakov P. The 31th meeting of JCRB
Величко О. 10-й Міжнародний конгрес з електричної метрології (X SEMETRO).....5	Velychko O., The 10-th International Congres on Electric Metrology
Рожнов М., Глебов А., Гаврилкін В. Перша міжнародна наукова конференція «Стандартні зразки у вимірюваннях та технологіях».....5	Rozhnov M., Glyebov A., Gavrylkin V. The 1-st International Conference «Conference Materials in Measuremets and Technologies»

ЕТАЛОННА БАЗА

Петришин І., Присяжнюк Т., Бас О. Впливні фактори конструктивних особливостей поршневих еталонних витратомірних установок, що працюють за високого тиску.....6	Petryshyn I., Prisyajnyuk T., Bas O. Influencing Factors of Constructional Particularity High Pressure Gas Flow Rate Piston Prover
---	---

МЕТОДИ ТА МЕТОДИКИ

Чинков В. Методы измерения малых нелинейных искажений 17	Chinkov V. Methods of Measuring of Small Nonlinear Distortions
---	---

ТОЧНІСТЬ ТА ДОСТОВІРІСТЬ

Гриньов Б., Гурджян Н., Зеленська О., Любинський В., Молчанова Н., Тарасов В. Щодо різних підходів до передавання характеристик точності вимірювань..... 20	Grynyov B., Gurdzhian N., Zelenskaya O., Lyubynskiy V., Molchanova N., Tarasov V. About Different Approaches to Expression of the Measurements Accuracy Characteristics
---	---

ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ

Івашченко А., Болюх Д., Владимирський А., Владимирський І. Вимірники часу спрацювання гальмової системи автомобілів..... 28	Ivashchenko A., Bolyukh D., Vladimirskiy A., Vladimirskiy I. The Legislative and Bases, Technical and Metrological Characteristics
---	--

ІНТЕРНЕТ-МЕТРОЛОГІЯ

Величко О., Карпенко С. Можливості дистанційного калібрування високоточних цифрових лічильників електричної енергії 32	Velychko O., Karpenko S. Possibilities for the Remote Calibration of Precision Electric Energy Digital Meters
--	---

ПОВІРКА ТА КАЛІБРУВАННЯ

Нікішин В. Калібрування вимірювальних систем технічного зору37	Nikishin V. Calibration of Measuring Machine Vision System
---	---

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Козлов В., Недзельський С., Стеценко А. Інформаційна технологія реалізації ультразвукового доплерівського методу вимірювання витрати рідини 40	Kozlov V., Nedzelskiy S., Stetsenko A. Information Technology for RealizaTation of Liquid Flow Measurement. By Ultrasonic Doppler Method
--	--

ОБЛІК ЕНЕРГОНОСІВ

Народницький Г. Резервуарний облік нафти та нафтопродуктів 45	Narodnytskyi G. The Accountiny of Oil and Oil Products by Storage Tanks
--	--

ГЕОДЕЗИЧНА МЕТРОЛОГІЯ

Болюх В., Вінніченко А. Сучасні абсолютні лазерні гравіметри й їхні метрологічні характеристики.....47	Bolyukh V., Vinnichenko O. Modern Absolute Laser Gravimeters and Their Metrological Characteristics
--	---

ВІЙСЬКОВА МЕТРОЛОГІЯ

Бойко В., Рондін Ю., Меркулов О. Метрологічні питання модернізації зразків (комплексів) озброєння і військової техніки.....57	Boyco V., Rondin Yu., Merkulov O. Metrological Questions in Modernisation of Arms and Military Technics Samples (Complexes)
---	---

ЯКІСТЬ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Радчук Д., Чеберячко С., Наумов М., Денисова С., Гордєєва Л. Підвищення якості оцінювання захисної ефективності протиповітряних засобів індивідуального захисту органів дихання..... 61	Radchuk D., Cheberiachko S., Naumov M., Denysova S., Hordieieva L. Increasing of the Quality Evaluation for Protective Efficiency of Respiratory Protective Devices
--	--

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Коробко І., Волинська Я. Дослідження впливу неоднорідності потоку на роботу ультразвукових вимірювальних перетворювачів витрати67	Korobko I., Volynska Ia. The Investiigation of Flux nonuniformity Influence on Work of ultrasonic flow transducers
---	--

ВІТАЄМО ЮВІЛЯРІВ

До 75-річчя Тетяни Георгіївни Грищенко 71	To the 75th aniversary of T. G. Gryshchenko
---	---

ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ

План набору слухачів на 2014 рік72	State Enterprise for Year 2014
--	--------------------------------

ІНФОРМАЦІЯ

.....8, 44, 49, 60, 71.....



П. Несжмаков, Віце-президент COOMET, перший заступник Генерального директора з наукової роботи, ННЦ «Інстит метрології», м. Харків

31-е засідання JCRB — Об'єднаного комітету регіональних метрологічних організацій (РМО) і Міжнародного бюро з мір і вагів (BIPM) відбулося 18—19 вересня у Національному метрологічному інституті (НМІ) Китаю (м. Пекін, КНР).

У ньому взяли участь директор BIPM М. Мілтон, секретар CIPM Р. Каарлс, виконавчий секретар JCRB Ч. Куанбаєв, представники РМО.

Засідання відкрив Мартін Мілтон, який доповів стосовно результатів діяльності BIPM за період після попереднього засідання. На початок вересня є 55 держав-членів Метричної Конвенції й 38 асоційованих членів Генеральної Конференції з мір і вагів (CGPM). У серпні Монголія стала асоційованим членом CGPM, у травні Угоду про взаємне визнання національних еталонів і сертифікатів калібрування й вимірювань, видаваних НМІ, (CIPM MRA) підписала Колумбія. Отже, в Угоді CIPM MRA на сьогодні беруть участь 92 НМІ із 52 держав-членів, 36 асоційованих членів і 4 міжнародних організацій. Наразі BIPM працює над розширенням числа учасників CIPM MRA, серед потенційних членів 3 країни-учасниці COOMET — Азербайджан, Киргизстан та Узбекистан.

Обрано трьох нових членів Міжнародного комітету з мір і вагів (CIPM): проф. Humberto Brandi (директора Інституту наукової й промислової метрології (INMETRO), Бразилія), д-ра Wynand Louw (директора департаменту розвитку технічної інфраструктури НМІ Південної Африки (NMISA)), проф. Joachim Ullrich (президента фізико-технічного інституту (PTB), Німеччина).

Учасникам засідання було представлено інформацію щодо ходу робіт з розроблення стратегії CIPM і технічної стратегії діяльності BIPM, ініційованих рішеннями 24 CGPM. Основними питаннями, на які мають бути дані відповіді в ході консолідованого процесу планування, є: чи покривають стратегії Консультативних Комітетів (КК) BIPM найвищі потреби всесвітньої метрології, для яких напрямків діяльності КК необхідна підтримка лабораторій BIPM. Відзначено, що нині відбувається переопрацювання веб-сайту BIPM для більшої зручності користування ним (зміни у поданні інформації стосовно діяльності CIPM і BIPM, включаючи розділи «документи», «членство» тощо).

Продовжуючи практику популяризації святкування 20 травня Всесвітнього Дня метрології (WMD) і спираючись на рішення 30 засідання JCRB, РМО запропоновано тему WMD у 2014 році — «Вимірювання, що допомагають вирішити глобальну енергетичну проблему» («Measurement helping solve global energy challenge»). Підготовку й видання відповідного постера взяв на себе APMP, а саме, НМІ Республіки Корея (KRISS).

Доповідь стосовно діяльності CIPM зробив Роберт Каарлс. Він поінформував щодо результатів 102-го засідання CIPM, яке відбулося у червні. Обговорювалися процедура виборів членів CIPM, формування критеріїв, яким вони мають відповідати (підготовлено проект документа), питання перевизначення SI, актуалізації документів CIPM MRA та інші. Відзначено, що починається підготовка проектів резолюцій для 25-ї CGPM, яка має відбутися у листопаді 2014 року.

Представники всіх РМО подали доповіді стосовно реалізації CIPM MRA у регіональних організаціях після 30-го засідання JCRB (SIM — п. Клаудія Санто, EURAMET — д-р Камал Хоссейн, COOMET — д-р Павло Неєжмаков, APMP — д-р Ілля Будовські, AFRIMETS — п. Мурад Бен-Хассин).

Зокрема, SIM звернено увагу на проблеми своєчасної підготовки звітів за регіональними ключовими і додатковими звіреннями. Ухвалено рішення, що BIPM розробить електронний формат «Реєстраційної форми ключових і додаткових звірень».

За звітом стосовно діяльності KCDB Ч. Куанбаєва на 1 вересня 2013 року загальна кількість калібрувальних і вимірювальних можливостей (СМС), опублікованих у KCDB, складала 24 278 рядків, з них: 14 759 у сфері фізики, 3 903 — іонізуючих випромінювань і 5 616 — хімії.

Уперше за 8 років кількість опублікованих СМС-рядків скоротилася на 1313. Відзначено тенденцію уповільнення з кожним роком приросту кількості СМС і збільшення числа додаткових звірень.

За РМО розподіл опублікованих СМС такий: EURAMET — 10 643, APMP — 6 099, SIM — 4 853, COOMET — 2 033, AFRIMETS — 410. 227 СМС-рядків має Інститут стандартних зразків і вимірювань (IRMM), 13 — Міжнародне агентство з атомної енергії (IAEA).

У базі даних зареєстровано 1 214 звірень, із них: 846 ключових (412 у рамках КК, 86 — BIPM, 137 — EURAMET, 117 — APMP, 50 — SIM, 36 — COOMET, 3 — AFRIMETS) і 368 додаткових.

У рамках цього пункту відбулося обговорення за таких ключових питань: хто використовує KCDB? Яка значимість бази для НМІ й зацікавлених користувачів? Хто є користувачами KCDB, яку мету вони переслідують?

Усі РМО позитивно оцінили KCDB і запропонували шляхи поліпшення подання інформації. Підкреслено важливість KCDB, насамперед, для НМІ й органів з акредитації. Відзначалося, що уряди деяких країн використовують інформацію щодо звірень і кількості СМС, опубліковану в KCDB, як індикатор діяльності НМІ. Висловлено думку, що CIPM MRA не має ставати бар'єром національному визнанню тих СМС НМІ, які з різних причин не можуть бути опубліковані у KCDB. APMP звернув увагу на необхідність роздільного подання інформації щодо статистики відвідуваності KCDB представниками НМІ, іншими зацікавленими користувачами. COOMET запропонував застосувати технології веб-сервісу доступу

до баз KCDB для реалізації можливості отримувати дані за запитами з метою інтеграції з базами даних РМО.

Тривалу дискусію зумовило питання діяльності й життєздатності призначених інститутів. Усі РМО представили свої міркування з цього питання.

Найзацікавленишим учасником дискусії та її ініціатором був EURAMET, який представив документ «Роль призначених інститутів у рамках CIPM MRA» («Role of Dis within the CIPM MRA»). На відміну від інших регіонів саме в Європі це питання має найбільшу актуальність. У рамках EURAMET співпрацюють понад 30 НМІ й порядку 70 призначених інститутів і є більш складності в організації зовнішніх перевірок систем якості цих інститутів, оскільки вимоги й обсяг робіт з оцінювання системи менеджменту якості не залежить від розміру інституту. Існують побоювання фрагментації європейського метрологічного ландшафту й дублювання діяльності серед призначених інститутів однієї й тієї ж країни, оскільки джерела фінансування діяльності призначених інститутів і на підтримку національних стандартів, які в них зберігаються, є різними. Як правило, національні бюджети не можуть у повному обсязі забезпечити достатнє фінансування всіх національних стандартів, що створює ризики щодо їх стійкої роботи й забезпечення простежуваності, а отже і повноцінного забезпечення єдності вимірювань у країнах. EURAMET звернувся із проханням до інших РМО направити коментарі до документа «Роль призначених інститутів у рамках CIPM MRA».

Порушено проблему визнання призначених інститутів. Ухвалені рішення щодо підготовки нових форм заявок із визнання з обов'язковим зазначенням найменування й юридичного статусу призначеного інституту й закріпленого виду(ів) вимірювань; затвердження змін у документі CIPM MRA-D-04, додавши новий розділ «12. Виведення з «сірої зони» опублікованих СМС».

Як питання, пропонуване до обговорення на 32 засіданні JCRB, EURAMET представив проект документа «На шляху до стійкого CIPM MRA» («Towards a sustainable CIPM MRA»). У ньому запропоновано три етапи розвитку CIPM MRA на шляху до більш стійкої системи: визначення потреб, спрощення системи й поліпшення її ефективності. Представники всіх РМО підтримали проект і висловили думку, що він може стати основою подальшого розвитку CIPM MRA.

Вирішено провести 32 засідання JCRB 26—27 березня 2014 року у BIPM. ❧

10-Й МІЖНАРОДНИЙ КОНГРЕС З ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕТРОЛОГІЇ (X SEMETRO)



25–27 вересня 2013 р. у Буенос Айресі (Аргентина) відбувся 10-й Міжнародний конгрес з електричної метрології (SEMETRO), організаторами якого були Національний інститут промислових технологій Аргентини (INTI) і Національний інститут метрології, якості та технологій Бразилії (INMETRO). Його тематика охоплювала як висоточні вимірювання, так і вимірювання у промисловості в частотному діапазоні від постійної напруги до оптичного діапазону.

До складу Технічного комітету входив 31 представник із 12-ти країн. У конгресі взяли участь представники національних метрологічних інститутів, а також Міжнародного комітету з мір і вагів (CIPM). До програми було включено 102 доповіді, від України 2 — проф. О. М. Величко: «Результати додаткового звірення еталонів потужності на частотах 50/60 Гц за проектом COOMET.EM-S2» і «Калібрування цифрових мультиметрів і калібраторів електричних сигналів із застосуванням мережі Інтернет».

На пленарних засіданнях заслухано 7 доповідей: «Про вплив метрології на інновації у промисловості», «Обговорення нової SI», «Програма Smart Grid в NIST», «Метрологія у підтримку електричних Smart Grid», «Одиниця комплексної ампліту-

ди і простежуваність», «Електрична метрологія з програмованими еталоном напруги Джозефсона», «Післяколивання бозонів Хігса: високоточні вимірювальні технології для випробувань і налаштування прискорювачів частинок у CERN».

Працювали 11 секцій: «Перетворювачі змінної напруги у постійну, електромагнітна сумісність»; «Висока напруга, великий струм»; «Інтелектуальні системи — Smart Grid»; «Радіочастоти і мікрохвилі»; «Інтелектуальні системи»; «Радіочастоти і мікрохвилі, програмне забезпечення і якість»; «Сенсори і приладобудування»; «Напруга»; «Потужність і енергія»; «Час і частота та опір»; «Висока напруга і якість струму».

Також проходила виставка сучасних високоточних ЗВТ, на якій представили свої прилади всесвітньо відомі корпорації та компанії (зокрема, «Fluke Corporation», «Agilent Technologies», «Radian», «ZERA», «Schneider Electric»). ■

О. Величко, доктор технічних наук, професор, директор науково-виробничого інституту метрологічного забезпечення вимірювань електромагнітних величин, ДП «Укрметртестстандарт», м. Київ

ПЕРША МІЖНАРОДНА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ «СТАНДАРТНІ ЗРАЗКИ У ВИМІРЮВАННЯХ ТА ТЕХНОЛОГІЯХ»

10—14 вересня в Уральському НДІ метрології (Єкатеринбург, Росія) відбулася Перша Міжнародна наукова конференція «Стандартні зразки у вимірюваннях та технологіях». У її роботі взяли участь близько 200 науковців та фахівців-практиків із 15 країн Європи, Азії та Латинської Америки.

Тематика конференції стосувалася таких загальних питань: єдність вимірювань: роль СЗ у забезпеченні єдності вимірювань, міжнародні роботи та співпраця у сфері СЗ; діяльність національних служб СЗ у країнах СНД; загальні наукові та практичні питання розроблення, виробництва, вибору та застосування СЗ; особливості атестації та виробництва СЗ різних речовин та матеріалів; розповсюдження СЗ, забезпечення потреб різних галузей у СЗ; метрологічна простежуваність, звірення СЗ; досвід застосування СЗ під час проведення різних видів метрологічних робіт; система управління якості виробників та постачальників СЗ; створення, завдання та функції референтних лабораторій; нові засоби та методи (методики) вимірювань складу та властивостей речовин і матеріалів; забезпечення та підвищення кваліфікації фахівців у сфері СЗ.

Працювали секції: «Здоров'я, харчування, фармацевтика, екологія», «Енергетика, паливо, мінерали», «Розчини, вологість матеріалів», «СЗ кольоро-

вих та чорних металів», «Фізичні властивості матеріалів», «Наноматеріали», «Система якості виробників та постачальників СЗ», «Застосування СЗ в оцінюванні компетентності лабораторій», «Нові методи, методики, засоби вимірювань».

Від українських інститутів та організацій було представлено декілька доповідей, у тому числі постановочу: Рожнов М.С., Глебов А.Б., Гаврилкін В.Г. «Стандартні зразки ДП «Укрметртестстандарт», що входять до складу повірочних схем».

Серед питань, що обговорювалися, — проблема наявності визнаних світових постачальників реактивів та матеріалів, які працюють поза рамок вимог міжнародних стандартів, що встановлюють вимоги до виробників СЗ. Це створює складності законодавчого характеру під час застосування їхньої продукції у метрологічній діяльності.

Учасники конференції мали можливість ознайомитися з еталонною та виробничою базами інституту, отримати консультації з практичних питань. ■

М. Рожнов, кандидат хімічних наук, директор НВІ Метхіменерготест,

А. Глебов, заступник директора інституту,

В. Гаврилкін, начальник НВВ, ДП «Укрметртестстандарт», м. Київ

УДК53.089.68:681.121-987

ВПЛИВНІ ФАКТОРИ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОРШНЕВИХ ЕТАЛОННИХ ВИТРАТОМІРНИХ УСТАНОВОК, ЩО ПРАЦЮЮТЬ ЗА ВИСОКОГО ТИСКУ

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

Стаття присвячена виявленню впливних факторів конструктивних особливостей та принципових недоліків поршневих установок, що працюють за високого тиску з метою усунення їх у процесі розроблення нової конструкції такої установки. Під час її проектування виключено основний недолік установок подібного типу — відсутні перетoki газу за рахунок створення надмірного тиску мастила. Поршень рухається в циліндрі на ущільненнях, які ефективно самогерметизуються під дією надмірного тиску мастила та не допускають перетоків газу. Принцип дії установки забезпечує унікальну можливість її роботи як за високих тисків, так і за тиску, близького до атмосферного. Запропоновані технічні та конструктивні особливості забезпечують використання поршневої установки як первинного еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу за високого тиску.

The article is devoted to revealing influencing factors meaningful particularity and principal flaws piston units that operate at high pressure to remove them when developing new design piston prover. When designing piston prover off the main drawback of this type of setting — no gas flows through the creation of excessive oil pressure. The piston moves in the cylinder seals that effectively sealed well under excessive oil pressure and not allow gas flows. The principle of the installation provides the unique opportunity of working at high pressures and at pressures close to atmospheric. The proposed technical and design features ensure the use of piston prover as a primary standard units of volume and volumetric flow rate high pressure gas.



І. Петришин



Т. Присяжнюк



О. Бас

Використання поршневих витратомірних установок як еталонів для відтворення одиниць об'єму та об'ємної витрати газу за високих тисків на середовищі, яке максимально відтворює умови функціонування лічильників газу, є напрямом далекоглядним, що обіцяє великі перспективи. Багаторічна практика застосування та підтверджена метрологічна стабільність поршневих установок, які є первинними еталонами провідних іноземних метрологічних інститутів витратометрії (Німеччини, Нідерландів, Франції), ще раз указують на актуальність використання саме установок такого типу під час проектування та створення первинного еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу за умов високого тиску на теренах України.

З метою проведення ґрунтовного аналізування та виявлення усіх факторів впливу, які спричиняють виникнення основних та додаткових похибок, здійснимо класифікацію поршневих установок.

За принципом дії розрізняють поршневі установки з вимушеним переміщенням поршневого розділювача від зовнішнього приводу і з вільним рухом під дією тиску потоку газу. За конструктивними особливостями вони поділяються на установки із кільцевою системою руху потоку газу та із розімкнутою системою (у цьому випадку, зазвичай, установка під'єднується до байпасу трубопроводу газової мережі). Що стосується типів поршневих розділювачів, доцільно виділити, окрім механічного поршня, який є основою для використання у переважній більшості поршневих установок, рідинний затвор, де як поршень виступає власне рідина, яка витісняється або витісняє газ за умов високого тиску. Графічну інтерпретацію класифікації поршневих установок наведено на рис. 1.

Для ефективного виокремлення переваг та недоліків поршневих установок різного принципу дії та конструкції зупинимося детально на найбільш характерних установках такого типу.



Рис. 1. Класифікація поршневих установок

УСТАНОВКА ВИЩОЇ ТОЧНОСТІ РПДУ-41 ПГ (УКРАЇНА)

Необхідно відзначити, що на теренах України у 80-х роках галузевою лабораторією метрологічного забезпечення вимірювань витрати газу Івано-Франківського інституту нафти і газу спільно з ДП «Дніпропетровськгаз» створена поршнева витратовимірювальна дискретно-динамічна установка вищої точності РПДУ—41пг, призначена для відтворення і вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу під високим тиском у процесі калібрування, градуювання та перевірки, насамперед, промислових витратомірів та лічильників газу на реальному середовищі. На момент створення установки її перспектива убачалася в унікальній на той час можливості калібрування, у першу чергу, витратомірів змінного перепаду тиску зі звужуючими пристроями (діафрагмами та соплами критичного витоку). Конструктивні особливості, запропоновані підходи та нові технічні рішення у процесі проектування, виготовлення та введення в експлуатацію цієї поршневої установки захищені авторськими свідоцтвами [1—4]. Принципову схему установки наведено у [5] та зображено на рис. 2.

Установка складається із вимірювального трубопроводу 1, всередині якого переміщується неущільнений поршневий розділювач 3. Запуск і зупинка поршня здійснюються пуско-приймальними камерами 4 та 6. У разі виставлення потрібного значення об'ємної витрати, газ проходить через поздовжні прорізи 2 та 5 і потрапляє у досліджуваний засіб 8. Управління засувками виконується дистанційно за допомогою автоматичної системи керування 7. Здійснюється запуск поршня 3 з правої пуско-приймальної камери 4. За проходження поршнем

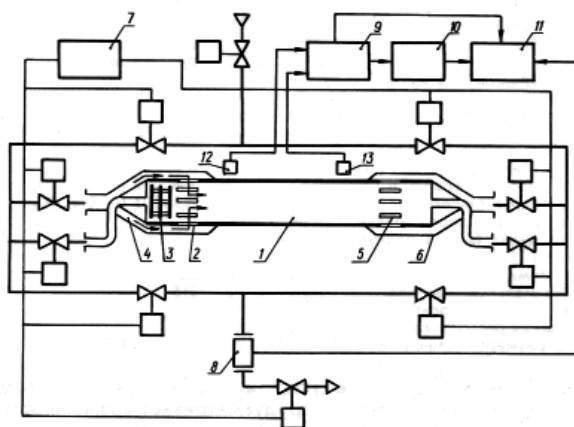


Рис. 2. Принципова схема поршневої установки РПДУ—41пг

фотодетекторів 12 та 13, які є давачами системи визначення положення поршня 9, відсікається контрольний об'єм газу, значення якого порівнюється з об'ємом, що облікував досліджуваний засіб 8. До системи збору й опрацювання інформації 11 входить електронний частотомір 11.

Система трубопроводів і засувок установки РПДУ—41пг дозволяє реверсувати напрям потоку газу в каліброваному трубопроводі, завдяки чому вимірювальний цикл як за прямого ходу поршня (зліва-направо), так і за зворотного, є робочим із можливістю проведення калібрування досліджуваного лічильника або витратоміра.

Щодо недоліків реалізації установки РПДУ—41пг, то суттєвим із них є той факт, що основна робоча ділянка установки, в якій рухається поршень, складається з чотирьох послідовно з'єднаних каліброваних трубопроводів загальною корисною довжиною близько 18 м. Зрозуміло, що під час монтажу такої конструкції неможливо уникнути неспіввісності каліброваних трубопроводів. Разом з тим, за діаметра трубопроводів, який складає 800 мм, можлива еліпсність або овальність окремих його частин. Отже, сумарний вплив усіх зазначених факторів може спричинити перебік поршневого розділювача та призвести до нерівномірності його ходу під час заміру. Що стосується поршневого розділювача установки РПДУ—41пг, то матеріал, із якого він виготовлений, має забезпечувати незмінність геометричних розмірів та урахування зміни його об'єму за роботи на високих тисках та широкого діапазону зміни робочої температури, ураховуючи ту особливість, що установку розміщено й її експлуатація здійснюється без спеціального термостатованого приміщення.

Слабке місце такої конструкції установки з кута зору витратометрії газу — наявність перетоків газу в кільцевому зазорі за периметром між поршневим розділювачем та внутрішньою стінкою каліброваного трубопроводу. Свого часу виконано неодноразові спроби позбутися або ж урахувати вплив на точність установки цього суттєвого недоліку. Розроблено декілька унікальних типів конструкцій поршневих розділювачів, а саме: сферичний, циліндричний і типу «дисковий пакет». Показано [6], що найбільш високу точність відтворення одиниці об'ємної витрати газу мають установки з розділювачами типу «дисковий пакет» у неущільненому і квазіущільненому варіантах. На етапах дослідження розроблено експериментальний варіант поршневого розділювача — квазіущільнений поршень типу «дисковий пакет» із плівковим ущільненням [7]. Також розроблено способи та засоби для визначен-

ня перетоків у кільцевому каналі між поршневим розділювачем та стінками каліброваного трубопроводу установки [8—12]. Разом із тим, усі ці удосконалення не змогли на сьогодні забезпечити достатній рівень точності з метою використання установки РПДУ—41пг як вихідного еталонного засобу.

УСТАНОВКА PIGSAR — ПЕРВИННИЙ ЕТАЛОН НІМЕЧЧИНИ

Наразі одним із найточніших еталонів, що працює на реальному середовищі за високого тиску, є установка Pigsar — первинний еталон Німеччини, який міститься у м. Дорстен і працює під егідою РТВ (Фізико-технічного відомства). Основою установки, що відтворює одиницю об'ємної витрати газу за високого тиску, є еталон поршневого типу, розділювач якого рухається під дією газу із магістралі високого тиску. Поршнева установка використовується для атестації або калібрування трансферного еталонного лічильника газу типорозміром G250, який, у свою чергу, виконує роль компаратора для передавання одиниці та проведення калібрування кожного із 4-ох еталонних лічильників типорозміру G250, які входять до складу установки. Разом із тим декларується, що до первинного еталона також простежуються інші 4-и еталонні лічильники установки типорозміром G1000 (атестація проводиться у межах максимальної витрати поршневої установки — 480 м³/год) [13]. Еталонна установка, у складі якої функціонують зазначені вісім паралельно під'єднаних еталонних лічильників, є вторинним еталоном Німеччини на високий тиск. На рис. 3 наведено схему, яка пояснює принцип роботи поршневого еталона Pigsar. Поршнева установка з вторинним еталоном змонтовані та функціонують на байпасі вимірювальної станції магістрального газопроводу високого тиску. Атестація або калібрування трансферного еталонного лічильника проводиться за методикою. Чотирьохпозиційний вентиль установлюється у такий спосіб, щоб направляти потік газу від магістралі за високого тиску через вентиль K2 до циліндричного тіла поршневої установки. Вентиль K1 знаходиться у закритому положенні, сам поршень у цей час — у крайньому лівому положенні каліброваного трубопроводу (перед давачем a_1). Таким способом здійснюють виставлення необхідного для калібрування значення об'ємної витрати газу. Після виставлення витрати вентиль K2 закривається, в цей час відкривається вентиль K1, потік газу через який спричинює рух поршня. Поршень починає рухатися, проходить повз першу контрольну мітку a_1 , яка інформує, що

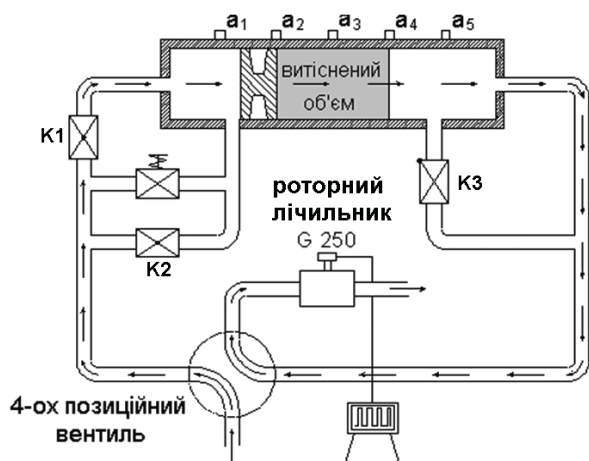


Рис. 3. Схема роботи первинного еталона об'єму та об'ємної витрати газу за високого тиску поршневого типу Pigsar

поршень почав рухатися і щодо його положення у каліброваному трубопроводі. Контрольний калібрований об'єм газу, що витісняється поршнем, міститься між контрольними мітками a_2 й a_4 (мітка a_3 сигналізує, що поршень подолав половину контрольованого шляху, який становить половину каліброваної ділянки). Після проходження поршнем крайньої контрольної мітки a_5 , він у цей час досягає крайнього правого положення трубопроводу. Мітка a_5 сигналізує, що необхідно відкрити вентиль K3, який функціонально встановлено паралельно до основного руху потоку газу, що виходить із циліндра установки, і призначено для гальмування поршня. Такою операцією забезпечується максимальне зменшення тиску газу на поршень, а це, у свою чергу, призводить до зупинки поршня. Далі перемикається чотирьохпозиційний вентиль, у такий спосіб здійснюється перенаправлення потоку газу в реверсну сторону відносно до основного руху. Вентиль K3 закривається. Відбувається повторний рух поршня у зворотну сторону з витісненням каліброваного об'єму газу. На зворотному шляху поршня мітка a_5 сигналізує щодо початку руху поршня. Контрольний об'єм газу, який витісняється через еталонний лічильник, міститься між контрольними мітками a_4 — a_2 . За такою схемою здійснюється атестація або калібрування трансферного еталонного лічильника за одного певного значення витрати газу. Наступні кроки полягають у поетапному виставленні нового значення об'ємної витрати газу та витісненні контрольного об'єму газу під високим тиском.

Зупинимося детальніше на недоліках еталонної поршневої установки Pigsar. По-перше: в установці використовується так званий «сухий» поршневий розділювач, тобто поршень має рухатися під

дією газу високого тиску вздовж циліндричного тіла установки з мінімальними зазорами. Через такий конструктивний принцип роботи установки виникає необхідність використання спеціального типу ущільнень, що не допускать перетоків газу в кільцевому зазорі між поршнем та стінкою циліндра під час руху поршневого розділювача. У [14] указується, що невизначеність, спричинена перетоками газу, складає 0,02 %. По-друге: для виходу на відповідне значення об'ємної витрати газу, тобто для розгону і зупинки поршневого розділювача, використовується циліндрична ділянка трубопроводу, яка за об'ємом еквівалентна контрольному каліброваному об'єму установки; відповідно, ефективність використання каліброваного трубопроводу відносно до довжини циліндра становить 50 %. По-третє: для визначення положення поршневого розділювача під час руху у циліндрі використовуються високоточні оптичні лазерні давачі, які монтуються перпендикулярно безпосередньо у стінку циліндра, за яким рухається поршень, і які мають працювати під високим тиском і бути виконані у іскро- та вибухозахищеному варіанті. Обов'язковою вимогою їхнього монтажу є умова, за якої пошкодження ущільнення під час руху поршневого розділювача, має не допускатися. По-четверте: установку спроектовано у такий спосіб, що у ній є відсутнім привід поршня, а це зумовлює необхідність виготовлення практично ідеального циліндра та високоточного центрування поршня, щоб не допустити його перекид у процесі заміру. І останній недолік: матеріал, із якого виготовлено поршень, — алюміній [14]; тому, після атестації еталонного лічильника на максимальній витраті 480 м³/год, поршень практично зношується і не підлягає повторному використанню. Разом із тим, оскільки поршень приводиться в рух газом із магістралі під тиском, необхідне багатоступінчате плавне регулювання тиску газу для забезпечення рівномірності руху поршня та, відповідно, відсутності пульсацій витрати газу.

УСТАНОВКА GAS-OIL PISTON PROVER — ПЕРВИННИЙ ЕТАЛОН НІДЕРЛАНДІВ

Поршневі установки Pigsar та РПДУ—41 пг за конструктивними виконаннями є розікнутими системами, де рушієм для поршня виступає тиск газу із магістралі. Ряд недоліків зазначених еталонів усунено у поршневих установках іншої конструкції, особливостями яких полягає у використанні мастила, яке виступає рідинним затвором для газу за високого тиску. В Нідерландах первинним еталоном на високий тиск є поршнева газо-рідинна установка (Gas-Oil

Piston Prover) [15]. За своєю конструктивною особливістю еталон працює за кільцевим режимом у замкненій системі високого тиску з робочим середовищем — природним газом. На рис. 3 [16] наведено схему, яка наочно пояснює принцип роботи еталона. Із термінологічної «назви» еталона випливає його фізична суть, яка полягає у тому, що поршневий розділювач у каліброваному трубопроводі переміщується і витісняє контрольний об'єм газу, що проходить через еталонний лічильник за високого тиску під дією тиску мастила. Необхідний тиск мастила і, як наслідок, потрібна швидкість поршневого розділювача створюються гідравлічною помпою, яка перекачує із заданою частотою обертання мастило під тиском із буферної ємності до циліндра установки. Газ під високим тиском переміщується із циліндра установки до буферної ємності, тим самим заміщує мастило, яке перекачується до циліндра, і приводить при цьому в рух поршень. За таких умов здійснюється один цикл вимірювання за одного попередньо заданого значення об'ємної витрати газу. Газ за високого тиску, який проходить через еталонний лічильник і міститься після витіснення із циліндра у буферній ємності, виконує ще одну важливу функцію — підтримує постійним надлишковий тиск у замкне-

ній системі та створює додатковий гідростатичний тиск на мастило, виконуючи роль «газової подушки». Буферну ємність, згідно з конструкцією установки, розміщено у горизонтальній площині вертикально над циліндром із поршнем.

Під час проведення заміру визначення положення поршня у циліндрі здійснюється шляхом використання спеціальних високоточних давачів, які монтуються ззовні на циліндр і визначають положення поршня під час руху через стінку циліндра [16]. Доцільно відзначити, що така система визначення положення поршня суттєво підвищує ризик неточного визначення контрольного об'єму витісненого газу за високого тиску.

За такого технічного виконання поршневого розділювача, який вільно рухається у циліндрі, одним із суттєвих недоліків є те, що виникає можливість появи перетоків газу в кільцевому зазорі, незважаючи на високоякісні ущільнення. Розробники урахували такий варіант і розробили спеціалізований пристрій для визначення кількості газу, який перетік через кільцевий зазор [17]. На рис. 5 наведено схему визначення перетоків у зазорі між поршневим розділювачем та стінкою циліндра. Під час руху поршня виникають перетоки газу через негерметичність

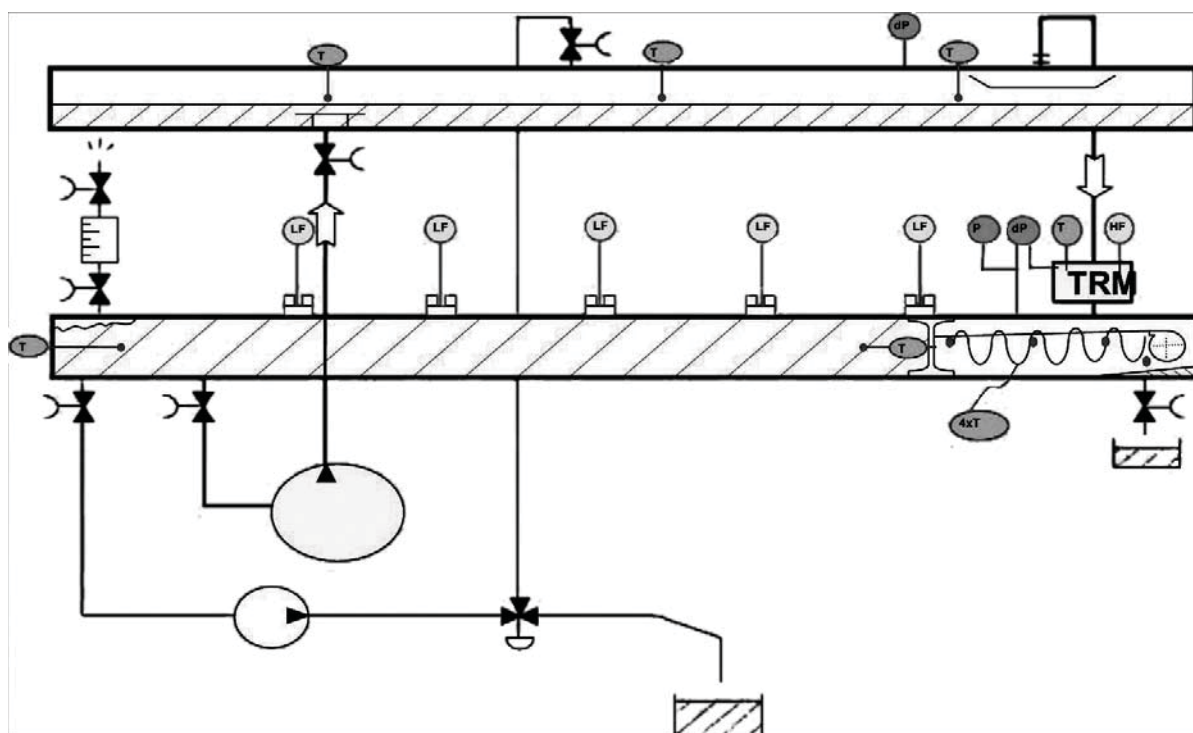


Рис. 4. Схема роботи еталонної поршневої газо-рідинної установки високого тиску (Gas-Oil Piston Prover) у Нідерландах:

TRM — трансферний еталонний лічильник, що калібрується;

LF — давачі визначення положення поршневого розділювача; P — давачі значення абсолютного тиску;

dP — давачі значення перепаду тиску; T — давачі значення температури;

HF — давач визначення кількості імпульсів від еталонного лічильника

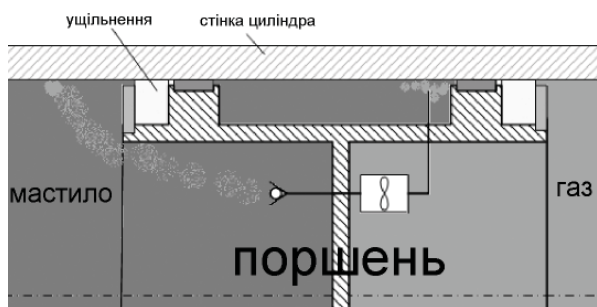


Рис. 5. Схема визначення перетоків у зазорі між поршнем і стінкою циліндра

ущільнення та можливий перекид поршня. Для їх визначення застосовується змонтований на поршнево-му розділювачі витратомір. На вхід витратоміра надходить газ, який пройшов повз ущільнення і забір якого здійснюється безпосередньо після ущільнення, а на виході цього витратоміра міститься система, яка стравлює облікований газ перетоків у мастило. Таким способом здійснено урахування величини перетоків під час руху поршня.

Відповідно, зважаючи на те, що поршень постійно рухається в обох напрямках, існує ймовірність потрапляння мастила у простір перед поршнем, де міститься газ під високим тиском. Разом із тим, зважаючи на будову поршня з вмонтованим витратоміром, доцільно внести пояснення, в який спосіб відокремлюється газ після стравлювання його в мастило. Для вирішення цієї проблеми та зменшення впливу одного із суттєвих недоліків монтажу циліндра здійснювався з від'ємним кутом, з піднятим угору лівим краєм (на рис. 4 показано схематично). Додатково на циліндрі установлені (рис. 4): справа знизу — дренажний вентиль для зливу мастила, зліва зверху — клапан для періодичної дегазації циліндра. Очевидно, що така конструкція циліндра обов'язково передбачає наявність перетоків як газу, так і мастила повз поршневий розділювач. Отже, з урахуванням швидкості руху поршня, це призводить до появи суміші мастила з бульбашками газу і, навпаки, газоподібної фракції з перенасиченим вмістом мастила та видозміненим компонентним складом та густиною.

Інші недоліки, на які необхідно звернути увагу, подано нижче. Переміщення поршня, як це закладено конструкцією установки, здійснюється без механічного приводу, що зумовлює потребу у високоточному центруванні поршня під час руху. Оскільки поршень приводиться у рух тиском мастила, який створює гідравлічна помпа, відповідно, зважаючи на принцип її роботи, на виході нерідко наявні пульсації тиску рідини, що спричиняють нерівномір-

ність руху поршня і, як наслідок, нестабільність відтворення одиниці об'ємної витрати газу за високого тиску. Оскільки мастило перекачується із буферної ємності, в яку переміщується газ, витіснений поршневим розділювачем, за швидкісного заповнення ємності газом відбувається контакт і взаємодія мастила з газом, за якого мастило починає пінитися. Отже, недоліком такої реалізації є невиключена можливість потрапляння спіненої суміші мастила з газом з підвищеною густиною у лічильник газу [18].

ПРОПОНОВАНА КОНСТРУКЦІЯ УСТАНОВКИ

На основі проведеного аналізу автори запропонували запатентовану нову конструкцію поршневої установки, загальний вид якої наведено нижче. У ній усувається більшість зазначених вище недоліків та зменшується їхній вплив на сумарну похибку установки. Створення такої установки можливе шляхом введення конструктивних змін до базової моделі первинного еталона Нідерландів, яку прийнято за прототип. Отже, у процесі проектування установки необхідно уникнути недоліків розглянутих поршневих установок високого тиску, зокрема, як уже зазначалося, виключити можливість появи перетоків газу та забезпечити рівномірність руху поршневого розділювача.

Перша проблема, яку потрібно вирішити, полягає у тому, що після проведення вимірювання, тобто після витіснення контрольного об'єму газу із циліндра установки, в якому рухається поршневий розділювач, виникає необхідність стравлювати об'єм газу в газопровід або, навпаки, із використанням компресора закачувати його в ємність для зберігання. Для того, щоб максимально спростити роботу установки та забезпечити можливість роботи у кільцевому режимі, тобто не використовувати непідготовлений газ із магістралі з невідомими характеристиками, запропоновано використання додатково ще одного циліндра, який за будовою є аналогічним до того, що використовується в установці для витіснення контрольного об'єму газу. Конструктивне розміщення додаткового циліндра на одній осі, симетрично з існуючим, тобто спарено, із закріпленням двох циліндрів механічно на одному суцільному штоці, дає можливість використовувати один і той же контрольний об'єм газу, для якого попередньо є можливість (за допомогою використання вторинного еталона одиниці молярної частки компонентів у газових середовищах у діапазоні вимірювань від 0,1 % до 99,9 % ВЕТУ 05—01—05—08, який зберігається у ДП «Івано-Франківськстандартметрологія») точного визначення компонентного складу та фізико-хімічних

властивостей. Додатково уведений циліндр використовується як ємність для зберігання газу та відіграє важливу роль підтримання надлишкового тиску в системі. Використовуючи таку схему установки, є можливість заповнення системи газом за високого тиску, застосовуючи ємність (балон), розраховану для роботи за високого тиску. Така конструктивна композиція установки передбачає можливість використання набору балонів з різними неагресивними газами для проведення широкого спектра науково-дослідних робіт стосовно визначення впливу компонентних та фізико-хімічних властивостей різних газів (наприклад, метану, пропану або бутану) на характеристики лічильників під час проведення калібрування і, разом з тим, забезпечує технологічну можливість використання стисненого повітря як робочого середовища установки, у тому числі й за тисків, близьких до атмосферного. Ця технічна перевага дає унікальну можливість проведення звірення цього первинного еталона з Державним первинним еталоном одиниць об'єму та об'ємної витрати газу ДЕГУ 03—01—96 з метою гармонізації зазначених одиниць за низького, тобто близького до атмосферного, тиску.

Окрім зазначеного, введення до установки ще одного циліндра забезпечує можливість розділити ємність для зберігання мастила з газом, цим самим унеможливити контакт та взаємодію мастила з газом та небажану ймовірність вспінення мастила і одночасно унеможливити потрапляння суміші газу з мастилом у лічильник. Таке рішення виключає, відповідно, необхідність проведення періодичної дегазації циліндра установки та можливої заміни мастила.

Отже, схематично гідравлічний рух потоків в установці є кільцевим, тобто, іншими словами, у замкненому кільці рухається «пробка» мастила, яка витісняє газ у напрямку його руху. За такого кільцевого руху основним завданням є підтримання постійного надлишкового тиску мастила, яке, у свою чергу, задає основний робочий тиск замкненої системи. Для створення надлишкового тиску в гідравлічній частині установки доцільно використати буферну ємність, яка використовуватиметься для підтримання тиску та можливості об'ємного теплового розширення мастила під час перекачування із одного циліндра до іншого.

Для забезпечення постійного надлишкового тиску в буферній ємності для зберігання мастила, тобто створення тиску, більшого за робочий тиск установки, конструктивно передбачено використання інертного газу, під високим тиском закаченого в буферну ємність, з можливістю постійного контролю та підтримання надлишкового тиску в установці.

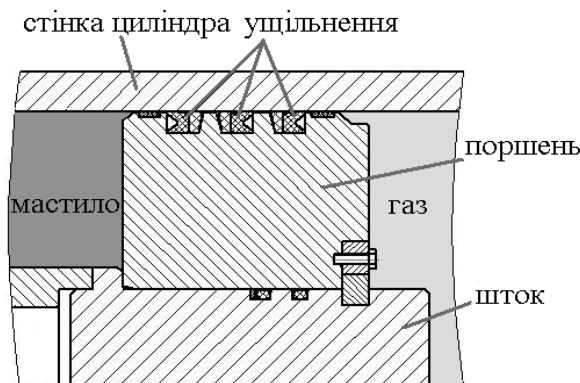


Рис. 6. Принцип забезпечення внутрішньої герметичності поршневої установки

Технологічно конструкція також передбачає можливість роботи установки за мінімальних тисків, близьких до атмосферного, оскільки, з точки зору гідравліки, у циліндрі забезпечується внутрішня герметичність та відсутність перетоків на поршневому розділювачі шляхом створення надлишкового тиску мастила, тобто більшим значенням тиску за поршнем (зі сторони мастила) за тиск перед ним (зі сторони газу). Отже, поршень рухається в циліндрі на ущільненнях, виконаних у виді трьох розпирних кілець, принцип дії яких полягає в ефективній самогерметизації під дією надлишкового тиску мастила та не допущенні перетоків газу (рис. 6).

Звертаємо увагу на те, що переміщення поршневого розділювача у нідерландській газо-рідинній установці здійснюється під тиском мастила (рис. 4), яке перекачується гідравлічною помпою із ємності, тобто виконується постійна робота над мастилом, яка неодмінно призводить до його постійного нагрівання і теплового розширення. Для ефективного вирішення цієї проблеми в установку додатково уведено ведучий циліндр із поршневим розділювачем, який конструктивно є типовим двостороннім гідравлічним циліндром, тобто з двох сторін поршня він заповнений мастилом, і рух якого здійснюється з використанням гідравлічної помпи з частотним регулятором швидкості руху. Відповідно, поршнева установка приводиться в рух ведучим гідравлічним циліндром, який функціонує як незалежний контур і не має гідравлічного зв'язку з циліндрами установки. Отже, у ході перекачування мастила, яке міститься у циліндрах установки, за час заміру не проводиться робота, відповідно, немає зміни градієнта температури мастила.

За рахунок того, що установку конструктивно доповнено ведучим гідравлічним циліндром, до торця штоку якого механічно закріплено цифрову калібровану лінійку, яка міститься на одній осі

й є умовним продовженням штока, визначення контрольного, витісненого поршнем із циліндра, об'єму проводиться шляхом реєстрації положення цифрової лінійки відносно міток. Такий монтаж лінійки ззовні циліндра дозволяє підвищити точність відтворення одиниці об'єму газу, та, відповідно, об'ємної витрати, оскільки немає необхідності використання високоточних оптичних, магнітних або ультразвукових давачів, які монтуються безпосередньо в циліндр або на циліндр для точного визначення положення поршня під час руху. Монтаж цифрової лінійки дає можливість проведення прямого вимірювання витісненого контрольного об'єму газу з установки, підвищує надійність установки та значно спрощує можливість її ремонту. Разом з тим, монтаж лінійки саме у такому положенні (умовне продовження штока ведучого циліндра) додатково компенсує згинальне зусилля, яке виникає на пальці, й частково зрівноважує установку.

У разі виникнення потреби збільшення контрольного об'єму витрати газу, що відтворюється

установкою, передбачено спеціально розроблену технічну можливість додаткового збільшення кількості пар циліндрів від 1 до n , що розширює межі її застосування, при цьому привід поршнів кожного додаткового циліндра здійснюється з використанням пальця, змонтованого перпендикулярно до ведучого циліндра і механічно закріпленого у центрах суцільних штоків, на яких закріплені поршневі розділювачі, кожної додаткової пари циліндрів.

Суть розробленої установки та її конструктивно-технічних рішень пояснюється рис. 7.

Конструктивно установка складається із двох однотипних циліндрів 1 та 4, поршневих розділювачів 2 та 5, механічно закріплених на спільному суцільному штоці 3. Привід установки здійснюється за допомогою ведучого гідравлічного циліндра 7. Ведучий гідроциліндр 7 працює під тиском мастила, який створює гідравлічна помпа 8, мастило для якої зберігається в ємності 9. Додатково до складу установки уведено ємність 10 для зберігання мастила,

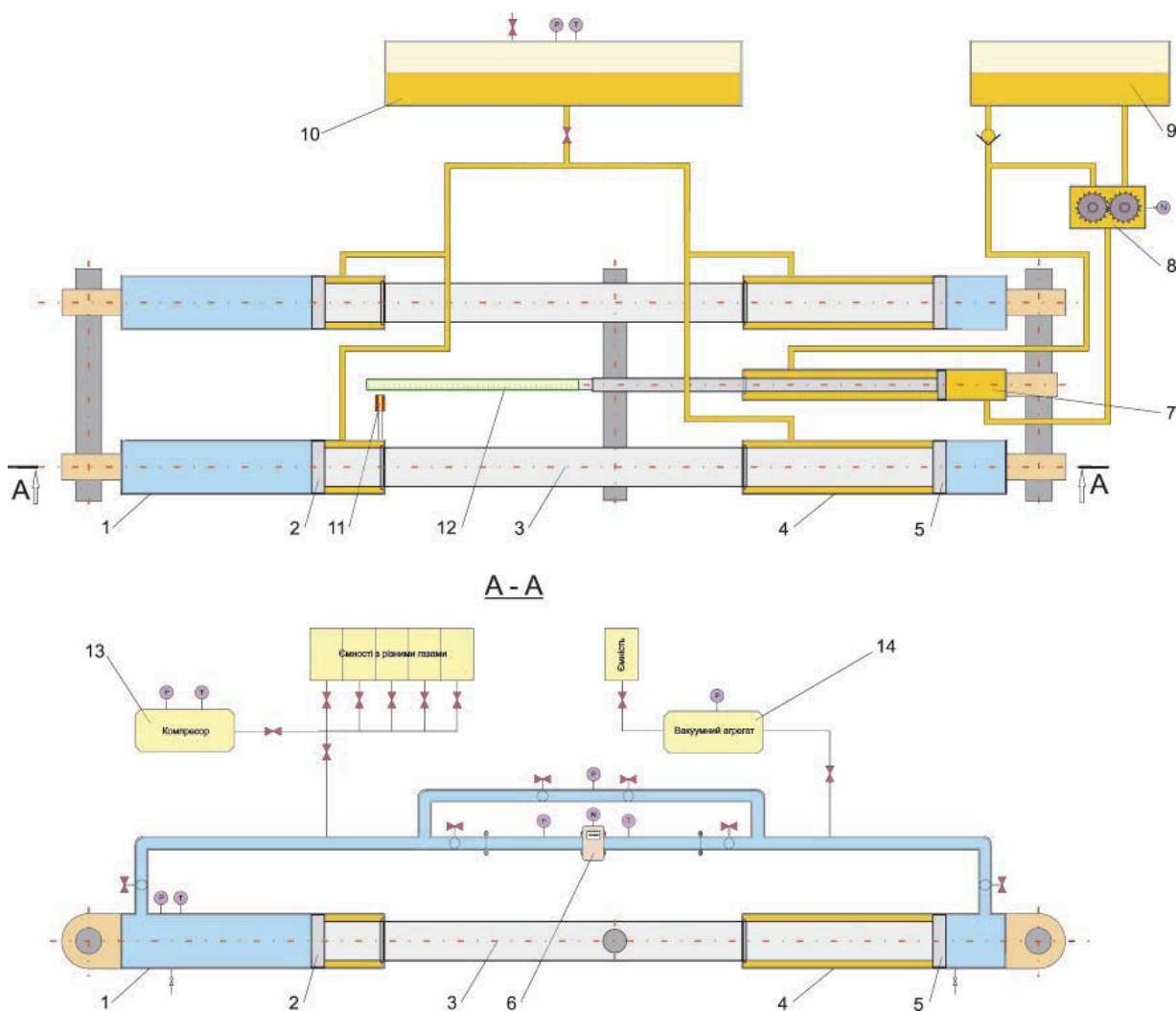


Рис. 7. Загальний вид розробленої еталонної поршневої установки

яке переміщується із циліндра 1 до циліндра 4 під час проведення заміру, і навпаки, тобто із циліндра 4 до циліндра 1 за реверсного руху газу. Разом з тим, установку доповнено набором ємностей (балонів), з різними газами із відомим компонентним складом за високого тиску 13 для наповнення циліндра 1 і трубопроводів обв'язки установки, та вакуумним агрегатом 14, призначеним для викачування газу з установки перед проведенням калібрування або атестації еталонного лічильника, після зазначених процедур, під час проведення монтажно-демонтажних робіт з еталонним лічильником газу.

На рис. 7, як приклад, наведено варіант установки з одним ведучим гідравлічним циліндром, який є приводом для двох однотипних пар циліндрів з однаковим відтворюваним контрольним об'ємом. У такий спосіб забезпечується збільшення удвічі контрольного об'єму установки та спрощується синхронізація руху циліндрів, оскільки, як видно на рис. 7, у центрі спільних для циліндрів штоків перпендикулярно до їх руху монтується повнотілий палець, на якому закріплено ведучий гідравлічний циліндр. При цьому збільшення кількості пар циліндрів розширює межі застосування установки та може бути потрібним для збільшення контрольного об'єму газу, що відтворюється установкою. Привід поршневих розділювачів додаткових пар циліндрів у цьому випадку здійснюється шляхом використання пальця, який монтується перпендикулярно до ведучого циліндра і механічно закріплено на кінці штока ведучого гідроциліндра та у центрах штоків кожної із додаткової пари циліндрів.

Для технічної реалізації установки запропонованої конструкції достатньо однієї пари циліндрів (один циліндр використовується для витіснення контрольного об'єму газу, інший призначено для зберігання витісненого газу), проте можливе збільшення кількості пар циліндрів від 1 до n , де n — ціле число.

Поршнева установка працює у такий спосіб. Перед початком вимірювання до установки під'єднують еталонний лічильник газу 6 з прямими ділянками трубопроводів, з якими проводять калібрування і з якими лічильник використовуватиметься у подальшому для обліку газу. Використання прямих ділянок необхідне для визначення впливу монтажу лічильника газу та унеможливлення виникнення можливих резонансних явищ.

Після монтажу еталонного лічильника 6 усі засувки встановлюються у відкрите положення та за допомогою вакуумного агрегата 14 викачу-

ють повітря з установки. Робочий об'єм установки, включаючи циліндри та трубопроводи обв'язки, заповнюють газом під високим тиском із ємності 13. Тиск, за якого проводять заповнення установки газом із ємності 13, має відповідати максимальному робочому тиску лічильника газу, за якого здійснюватиметься облік. Поршень 2 при цьому знаходиться у крайньому правому положенні циліндра 1. Циліндр 1 повністю заповнено газом із ємності 13. Відповідно, у циліндрі 4 положення поршня 5 — крайнє праве, циліндр 4 повністю заповнено мастилом із буферної ємності 10. Здійснюють перевірку герметичності установки шляхом контролю показань давачів тиску на циліндрах та лічильнику газу. Поршень 2 приводиться у рух штоком гідравлічного циліндра 7, мастилом під тиском, яке перекачує гідравлічна помпа 8. Поршень 2 розганяють до необхідної швидкості залежно від потрібного значення об'ємної витрати газу. Після розгону поршня 2 починають замір, відсікають контрольний об'єм газу за високого тиску з використанням цифрової лінійки. Газ після виходу із циліндра 1 проходить через еталонний лічильник 6 і потрапляє до циліндра 4. Циліндр 1, пропорційно витісненому об'єму газу, заповнюється мастилом, яке витісняється із циліндра 4 поршнем 5. Поршень 5, витіснивши мастило із циліндра 4 у циліндр 1, знаходиться в крайньому лівому положенні цього циліндра, який повністю заповнено газом. Циліндр 1 заповнено мастилом, поршень 2 переміщується у крайнє ліве положення. Визначення витісненого поршнем 2 контрольного об'єму газу здійснюють за допомогою використання цифрової каліброваної лінійки 12. Після розгону поршня 2 цифрова лінійка 12, яка рухається зі швидкістю поршня 2, проходить спеціальну контрольну мітку 11. Під час проходження цієї контрольної мітки 11 починається облік контрольного об'єму газу, на пульт керування надходить сигнал «старт», який сигналізує, що необхідно почати відлік кількості імпульсів, які надходять від еталонного лічильника 6. Мітку 11 розташовано на попередньо визначеній відстані, що дорівнює контрольному об'єму установки. Під час проходження цифровою лінійкою 12 другої мітки на пульт керування установки надходить сигнал «стоп», який вказує на закінчення вимірювання і припинення обчислення кількості імпульсів від еталонного лічильника 6. Після цього здійснюють порівняння контрольного об'єму газу за високого тиску, який відтворено поршневою установкою, з тим, що вимірено еталонним лічильником 6. Визначення об'єму газу проводиться з використання формули приведення

об'єму газу до стандартних умов з використанням коефіцієнта стискуваності газу; при цьому об'єм газу, вимірений лічильником, визначається із кількості імпульсів, які відповідають еквівалентному об'єму газу.

Після проведення вимірювання газ за високого тиску міститься у циліндрі 4. Перед еталонним лічильником 6 та після нього закривають засувки, відкривають засувку на байпасному до лічильника 6 трубопроводі. Здійснюють перекачування газу за високого тиску в реверсному режимі із циліндра 4, в якому він міститься, до циліндра 1, який заповнено мастилом. Система заміщення газу мастилом працює аналогічно, як і за прямого ходу. Мастило, пропорційно до того, як заповнюється циліндр 1, переміщується до циліндра 4. Після того, як газ за високого тиску переміститься у циліндр 1, знову починають вимірювання з іншим значенням об'ємної витрати за описаним вище алгоритмом роботи.


У такий спосіб проводять калібрування або метрологічну атестацію еталонного лічильника 6 на реальному середовищі за високого тиску. Після проведення калібрування або атестації еталонного лічильника 6 застосовують вакуумний агрегат 14 для здійснення викачування газу із установки. При цьому необхідно, щоб усі засувки установки було встановлено у відкритому положенні. Показання давачів тиску вказуватимуть на відсутність тиску газу та самого газу в установці. Засувки, що містяться перед та після еталонного лічильника, повертають у закриті положення і виконують демонтаж лічильника газу 6 з прямими ділянками трубопроводів.

ВИСНОВКИ

Еталонна поршнева установка одиниць об'єму та об'ємної витрати газу на реальному середовищі за високих тисків, виготовлена відповідно до передбачуваного розробленого проекту, забезпечує можливість використання її як первинного еталона для проведення калібрування, метрологічної атестації та перевірки лічильників і витратомірів газу, максимально відтворюючи та забезпечуючи умови, за яких вони експлуатуються. Установка позбавлена більшості недоліків, проаналізованих у статті аналогічних за призначенням установок. Зокрема, її доповнено додатковим циліндром з поршнем, який механічно закріплено з основним циліндром на одному суцільному штоці та виконує роль ємності для зберігання газу, чим виключається контакт мастила з газом; використання штока забезпечує відсутність перекосу поршня, плавність та рівномірність його ходу; під час руху поршня відсутні перетоки газу завдяки використанню спеціалізованих типів ущільнень, які самогерметизуються під дією надлишкового тиску мастила і дають можливість забезпечувати роботу за тиску, близького до атмосферного; привід установки здійснюється з використанням незалежного гідравлічного циліндра, який не має гідравлічного зв'язку з циліндрами установки, що зменшує перехідні температурні процеси; визначення контрольного об'єму, що відтворюється установкою, здійснюється за допомогою спеціальної цифрової лінійки, яка механічно кріпиться ззовні циліндра, чим підвищується точність визначення витісненого об'єму газу; конструктивно установку можна доповнити парами циліндрів, кількістю від 1 до n , збільшуючи у такий спосіб контрольний об'єм установки.

ЛІТЕРАТУРА

1. А.с. 690312 (СССР): МКИ G01 F25/00. Трубопоршневая расходомерная установка / Бродин И.С., Билоус В.И., Максимов В.П., Демидова В.П., Мелец И.И.
2. А.с. 847057 (СССР): МКИ G01 F25/00. Поршневая установка для точного воспроизведения и измерения расхода газа / Бродин И.С., Билоус В.И., Праскова З.М., Росада П.А., Чеховский С.А.
3. А.с. 637723 (СССР): МКИ G01 F25/00. Трубопоршневая установка для поверки и градуировки счетчиков и расходомеров / Бродин И.С., Билоус В.И.
4. А.с. 679810 (СССР): МКИ G01 F25/00. Поршневая объемно-динамическая установка для точного воспроизведения и измерения расхода газа / Бродин И.С., Праскова З.М., Билоус В.И.
5. Бродин И.С. Поршневая расходоизмерительная установка высокого давления РПДУ-41пг / И.С.Бродин, О.Е.Середюк, С.А.Чеховский // Проспект МВССО УССР. Ивано-Франковский институт нефти и газа. — Киев: Реклама, 1989. — 4 с.
6. Бродин И.С. Теория, принципы построения и внедрение испытательных расходоизмерительных комплексов для технического и метрологического обеспечения измерения расхода газа: автореферат дисс. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. — Санкт-Петербург, 1992 — 36 с.
7. А.с. 581383 (СССР): МКИ G01 F25/00. Поршневая установка для градуировки и поверки счетчиков и расходомеров газа / Бродин И.С., Праскова З.М.
8. Бродин И.С., Феденчук Д.И. Исследование перетоков газа через внутренние зазоры измерительно-преобразователя расхода с секторно-кольцевыми неуплотненными разделителями // Изв. вузов. Приборостроение. — 1982. — С. 15—20.

9. А.с. 575495 (СССР): МКИ G01 F25/00. Устройство для измерения расхода газа в кольцевом канале между стенками калиброванного участка трубопровода и движущимся поршнем поршневой расходомерной установки / Бродин И.С., Праскова З.М.
10. А.с. 773443 (СССР): МКИ G01 F25/00. Устройство для измерения расхода газа в кольцевом канале между стенками калиброванного участка трубопровода и поршнем поршневой расходомерной установки / Билоус В.И., Бродин И.С., Винничук Г.С.
11. А.с. 781590 (СССР): МКИ G01 F25/00. Устройство для измерения расхода газа в кольцевом канале между стенками калиброванного участка измерительного трубопровода и поршневым разделителем поршневой расходомерной установки / Бродин И.С., Билоус В.И., Мелец М.В., Алексеенков Г.М.
12. А.с. 1170284 СССР, МКИ G 01 F 25/00. Устройство для измерения перетока газа через зазор неуплотненного поршня трубопоршневой расходомерной установки / И.С. Бродин, М.В. Мелец, С.А. Чеховский, Г.М. Алексеенков, О.Е.Середюк.
13. Kramer, R., Mickan, B., Hotze, H.-J., Dopheide, D., The German High-Pressure Piston Prover at Pigsar — the German fundamental standard for natural gas at high pressure conditions, TechTour to the German High-Pressure National Standard pigsar™, Ruhrgas AG, Dorsten, 15—16. May 2003, p. 1—21.
14. Mickan B., Kramer R., Vieth D., Hinze H.-M. Highest Precision for Gas Meter Calibration Worldwide: The High Pressure Gas Calibration Facility pigsar™ with Optimized Uncertainty. International Gas Union Research Conference. 8 — 10 October 2008 — Paris, France.
15. M.P. van der Beek, R. van den Brink and I.J. Landheer, «Gas-Oil Piston Prover», a new concept to realize reference values for High-Pressure Gas-Volume in the Netherlands, FLOMEKO 2003, Groningen, the Netherlands.
16. J. van der Grinten EuroLoop — bedrijf, technisch en metrologisch onderhoud. HET Instrument 2012, 26 September 2012, NMI EuroLoop, Rotterdam.
17. Wim Volmer, 'EuroLoop: Unique Oil and Gas Calibration Facilities', Flomeko 2007, Johannesburg, South Africa.
18. Петришин І.С., Джочко П.Я., Присяжнюк Т.І., Бас О.А. Технічні аспекти створення еталонної бази для метрологічного забезпечення лічильників газу в експлуатації / Український метрологічний журнал. — 2013. — №1. — С. 50—55. 

18 ЗАСІДАННЯ ТК 1.12 «СТАНДАРТНІ ЗРАЗКИ» COOMET

08—11 вересня 2013 року в Єкатеринбурзі (Російська Федерація) відбулося 18 засідання ТК 1.12 «Стандартні зразки» COOMET, за участі кореспондентів восьми країн-членів COOMET.

Його учасники обмінялися інформацією стосовно стану і проблем, найбільш важливих подій і заходів у діяльності зі стандартних зразків (СЗ), що проводяться в їхніх країнах.

Зокрема, в Україні виконані роботи із розроблення СЗ складу концентрату дистен-силіманітового й СЗ складу бокситів (ДП «ДНДП «Інститут титану», м. Запоріжжя). Передбачається залучення до них організацій Білорусі та Росії. Інститут тваринництва Національної академії аграрних наук України (м. Харків) проводить дослідження із розроблення СЗ складу й властивостей молока й складу кормів.

До Комітету COOMET подані для затвердження актуалізовані у 2012—2013 роках публікації COOMET: «Положення про Технічний Комітет COOMET «Стандартні зразки» (ТК1.12)»; «Форма й зміст сертифіката COOMET на стандартні зразки складу й властивостей речовин і матеріалів».

За 14-ма темами здійснювалися розроблення конкретних типів СЗ, доатестація й звірення розроблених СЗ, за 4-ма — розроблялися нормативні документи; закінчено роботи за 2-ма темами.


Розроблювачі України успішно завершили виконання робіт зі створення СЗ складу сталі для хімічного аналізу й аналізаторів спалювання, складу марганцевої сталі для спектрального аналізу

та СЗ складу високолегованої високомарганцевої сталі для спектрального аналізу. У них взяли участь організації країн-членів COOMET Білорусі, Німеччини, Польщі, Росії, Чехії.

Ці типи СЗ затверджені як національні СЗ України (ДСЗУ). Отримані позитивні висновки щодо можливості їх визначення як СЗ COOMET.

Завершено роботи зі створення СЗ складу імідаклоприду (конфідору) за участі організацій Білорусі й Росії. Підготовлені матеріали представлено на затвердження типу ДСЗУ.

Учасники засідання обговорили проект актуалізованої Програми сумісних розроблень СЗ COOMET, пропозиції за проектом документа «Рекомендація COOMET. Зміст і порядок проведення робіт зі звірення СЗ у рамках COOMET»; заслухали доповідь за темою «Розроблення СЗ вологості твердих матеріалів, рідин і газів», повідомлення стосовно документа JCTLM WG1-P-04A щодо звірень СЗ для клінічної діагностики.

Ухвалено пропозицію із постановки спільної теми ТК 1.8 «Фізико-хімія» і ТК 1.12 «СЗ» COOMET «Застосування чистих речовин як еталонів порівняння й стандартних зразків під час демонстрацій й реалізації вимірювальних і калібрувальних можливостей HMI COOMET». 

А. Івков, Кореспондент COOMET від України, член ТК 1.12, начальник науково-дослідної лабораторії, ННЦ «Інститут метрології», м. Харків

УДК 621.317.73.(088.8)

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ МАЛЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ

В. Чинков, доктор технических наук, профессор,
Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба

Предлагается метод измерения малых значений коэффициента гармоник, основанный на модификации точной формулы для коэффициента гармоник с использованием разложения в степенной ряд при его малых значениях, а также два варианта реализации метода — аналоговый и цифровой.

The measuring method or coefficient for accordions small values, which is based on modification of exact formula for the coefficient of accordions with the use of decomposition in sedate row at his small values, and also two variants for realization of method — analog and digital, is offered.

Одной из актуальных задач в области измерения нелинейных искажений формы периодических сигналов является повышение точности измерителей коэффициента гармоник (раннее — коэффициента нелинейных искажений), называемых измерителями нелинейных искажений (ИНИ), и использование для их построения современных достижений микросхемотехники. Особой остротой эта задача отличается для малых значений коэффициента гармоник, поскольку классические методы измерения последнего — фильтровые и компенсационные — не позволяют добиться эффективного ее аппаратного решения из-за ряда технических трудностей, связанных с их реализацией [1, 2].

В статье предлагается достаточно простой метод измерения малых значений коэффициента гармоник, обеспечивающий сравнительно высокую точность измерения при том же или даже меньшем уровне аппаратной сложности.

Как известно, точное значение коэффициента гармоник K_r определяется выражением [3, 4]:

$$K_r = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^{\infty} U_v^2}}{U_1} = \sqrt{U^2 - U_1^2} / U_1, \quad (1)$$

где U_1 , U_v — средние квадратические значения (СКЗ) соответственно первой и v -ой, начиная со второй, гармоник исследуемого периодического сигнала $u(t)$; U — СКЗ сигнала $u(t)$.



Формулу (1) представим в виде:

$$K_r = \sqrt{\Delta U(U + U_1)} / U_1, \quad (2)$$

где $\Delta U = U - U_1$.

При малых значениях коэффициента гармоник соотношение (2) можно упростить. Для этого преобразуем его следующим образом:

$$K_r = \sqrt{\Delta U(2U_1 + \Delta U)} / U_1 = \sqrt{2\Delta U/U_1} \sqrt{1 + \Delta U/(2U_1)}.$$

Используя разложение функции $\sqrt{1 + \Delta U/(2U_1)}$ в степенной ряд (ряд Тейлора) с точностью до линейного члена, получим:

$$K_r = \sqrt{2\Delta U/U_1} [1 + \Delta U/(4U_1)]. \quad (3)$$

Принимая допущение $\Delta U/(4U_1) \ll 1$, окончательно имеем

$$\tilde{K}_r = \sqrt{2\Delta U/U_1} = \sqrt{2(U - U_1)/U_1}. \quad (4)$$

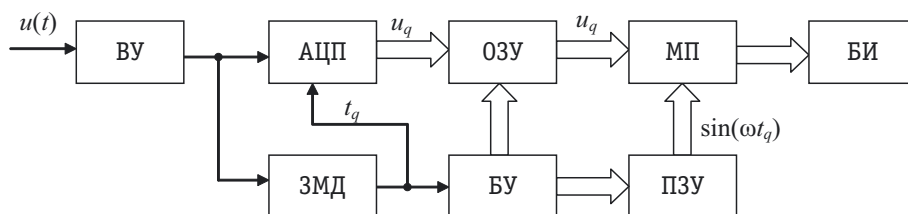
Эта приближенная формула и определяет суть предлагаемого метода, при котором исключаются, по сравнению с (1), операции возведения в квадрат величин U и U_1 . Возможны два варианта реализации метода — аналоговый и цифровой.

Первый является косвенным, при котором непосредственно измеряют СКЗ U напряжения $u(t)$, СКЗ U_1 его первой гармоники и вычисляют по формуле (4) коэффициент гармоник \tilde{K}_r .

Второй относится к методам непосредственной оценки. Его аппаратная реализация может быть выполнена на основе типовых структурных схем программно-управляемых цифровых мультиметров, приведенных в [5, 6].

Один из вариантов упрощенной структурной схемы микропроцессорного измерителя малых значений коэффициента гармоник изображен на рисунке. Такой измеритель содержит входное (или масштабное) устройство (ВУ), аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), задатчик моментов дискретизации (ЗМД), блок управления (БУ), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), микропроцессор (МП) и блок индикации (БИ).

Принцип действия измерителя состоит в следующем.



Упрощенная структурная схема микропроцессорного измерителя малых значений коэффициента гармоник

В исходном состоянии АЦП находится в ждущем режиме, в ЗМД записано число n моментов дискретизации t_q на период T сигнала $u(t)$, а в ПЗУ — коды $\sin(\omega t_q)$, $q = 1, n/4$ (четверть периода синусоиды). Исследуемый сигнал $u(t)$, коэффициент гармоник K_r которого измеряется, подается через входное устройство, представляющее масштабный измерительный преобразователь, на сигнальный (или информационный) вход АЦП и вход ЗМД. В ЗМД по заданному числу n формируются сигналы, поступающие на вход запуска АЦП и в БУ. По сигналам запуска АЦП переводится в рабочий режим, и на его выходе образуются коды u_q мгновенных значений сигнала $u(t_q)$. Эти коды записываются в ОЗУ (в данном случае для большей ясности оно показано внешним, но более экономичным является использование внутреннего ОЗУ МП) по определенным адресам, задаваемым с БУ в режиме «Запись». После записи всех n кодов u_q в ОЗУ заканчивается первый, собственно измерительный, этап и БУ переводит прибор во второй, вычислительный этап. На этом этапе коды u_q по тактовым сигналам БУ в режиме «Списывание» поочередно (в том же порядке, что и при записи) списываются из ОЗУ и подаются в МП. В эти же моменты времени из БУ подаются сигналы по определенным адресам ПЗУ для списывания кодов $\sin(\omega t_q)$ из него и n ввода их в МП. В МП программно осуществляется вычисление следующих величин:

$$U = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{q=1}^n u_q^2};$$

$$U_1 = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^n u_q \sin(\omega t_q),$$

а затем значения коэффициента гармоник K_r сигнала $u(t)$ по формуле (4).

Таким образом, рассмотренный измеритель коэффициента гармоник на самом деле является комбинированным прибором, поскольку он позволяет измерять, кроме коэффициента гармоник, без дополнительных аппаратных затрат, СКЗ U исследуемого напряжения $u(t)$, СКЗ U_1 его первой гармоники и частоту сигнала $u(t)$, период T которой обязательно выделяется в ЗМД.

Укажем также, что структурная схема, а следовательно, и аппаратная реализация измерителя может быть значительно упрощена, если вместо микропроцессора использовать сигнальный процессор,

который содержит встроенные АЦП и ОЗУ, а также может выполнять функцию ЗМД.

Получим оценку методической погрешности, допускаемой при переходе от формулы (3) к (4). Абсолютное значение этой погрешности, с учетом выражений (3) и (4), будет равно:

$$\Delta K_r = \tilde{K}_r - K_r = \sqrt{2\Delta U/U_1} - \sqrt{2\Delta U/U_1} \left(1 + \Delta U/4U_1\right) = -\sqrt{2\Delta U/U_1} \Delta U/4U_1 \quad (5)$$

или $|\Delta K_r| = \tilde{K}_r \Delta U/(4U_1)$.

Из (4) находим $\Delta U/U_1 = \tilde{K}_r^2/2$. Подставляя это равенство в (5), имеем:

$$|\Delta K_r| = \tilde{K}_r^3/8 \approx K_r^3/8. \quad (6)$$

Ниже в таблице приведены абсолютные $|\Delta K_r|$ и относительные сигнала δ_{K_r} значения методической погрешности для нескольких значений коэффициента гармоник K_r .

$K_r, \%$	1,0	5,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
$ \Delta K_r , \%$	10^{-5}	$1,5 \cdot 10^{-3}$	10^{-2}	10^{-1}	0,33	0,8	1,5
$\delta_{K_r}, \%$	10^{-5}	$1,5 \cdot 10^{-5}$	10^{-3}	0,02	0,1	0,3	0,8

Из таблицы следует, что методическая погрешность не оказывает заметного влияния на точность измерения в области малых значений коэффициента гармоник. Особенно незначительна эта погрешность в пределах K_r до 10 %. Она может оказаться существенно меньшей, чем погрешность, вносимая квадратурами, при определении коэффициента гармоник по формуле (1). Покажем это.

Обозначим через δ и δ_1 относительные погрешности вычисления величин U^2 и U_1^2 соответственно, тогда из (1) получим приближенное значение коэффициента гармоник

$$\begin{aligned} \tilde{K}_r' &= \sqrt{\frac{U^2(1+\delta) - U_1^2(1+\delta_1)}{U_1^2(1+\delta_1)}} = \\ &= \sqrt{\frac{U^2 - U_1^2}{U_1^2(1+\delta_1)} + \frac{\delta U^2 - \delta_1 U_1^2}{U_1^2(1+\delta_1)}}. \end{aligned}$$

Пренебрегая в знаменателе величиной δ_1 ($\delta_1 \ll 1$) и учитывая (1), имеем

$$\tilde{K}_r' = K_r \sqrt{1 + (\delta U^2 - \delta_1 U_1^2)/(U_1^2 K_r^2)}.$$

Разложив выражение под квадратным корнем в степенной ряд до линейного члена, находим

$$\tilde{K}_r' = K_r \left[1 + (\delta U^2 - \delta_1 U_1^2)/(2U_1^2 K_r^2) \right].$$

Отсюда абсолютная погрешность измерения коэффициента гармоник, вносимая неточностью выполнения операции возведения в квадрат:

$$\Delta \tilde{K}_r' = \tilde{K}_r' - K_r = (\delta U^2 - \delta_1 U_1^2)/(2U_1^2 K_r).$$

Ее максимальное, или предельное, значение

$$\Delta \tilde{K}_{r \max}' = (|\delta U^2| + |\delta_1 U_1^2|)/(2U_1^2 K_r).$$

Принимая в этом выражении $U \approx U_1$ и $|\delta| = |\delta_1|$, окончательно получим

$$\Delta \tilde{K}_{r \max}' = \delta/K_r. \quad (7)$$

Из сравнения формул (6) и (7) следует, что методическая погрешность $|\Delta K_r|$ и погрешность $\Delta \tilde{K}_{r \max}'$, обусловленная операцией возведения в квадрат СКЗ в (1), равны при условии $\delta = K_r^4/8$. Из этого равенства определим допускаемую погрешность вычисления квадратов, при которых обеспечивается погрешность измерения \tilde{K}_r' коэффициента гармоник, равная методической погрешности, ΔK_r , т.е. $|\Delta K_r'| = |\Delta K_r|$, для значений K_r , указанных в таблице. Из нее следует, что для обеспечения одной и той же погрешности измерения малых значений коэффициента гармоник по точной (1) и приближенной (4) формулам в первом случае необходимо обеспечить исключительно низкую погрешность выполнения операции возведения в квадрат (например, при $K_r = 1\%$ необходимо $\delta < 10^{-5}\%$). Такие погрешности, даже δ порядка тысячных долей процента, на аналоговых элементах вообще не достижимы, а получение погрешностей порядка сотых долей процента связано со значительными техническими трудностями. В цифровой технике указанные точности реальны, но при этом резко увеличиваются разрядности процессора, а следовательно, возрастают стоимость и возможность сбоев.

Таким образом, предлагаемый метод, описываемый соотношением (4), обеспечивает измерение малых значений коэффициента гармоник с погрешностью порядка десятых и сотых долей процента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов В.А. Измерения в электронике / В.А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Коневских и др.; Под ред. В.А. Кузнецова. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 512 с.
2. Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. — М.: Дрофа, 2005. — 415 с.
3. ДСТУ 3777-98. Метрологія. Вимірювачі коефіцієнта гармонік. Методи та засоби перевірки та калібрування.
4. ГОСТ 25186-82. Измерители нелинейных искажений. Общие технические требования и методы испытаний.
5. Стадник В.В. Микропроцессорные мультиметры, основанные на цифровой обработке кодов мгновенных значений сигналов / В.В. Стадник, В.Н. Чинков // Измерительная техника. — 1995. — № 9. — С. 53—55.
6. Чинков В.М. Цифрові вимірювальні прилади: Навч. посіб. — НТУ «ХПІ», 2008. — 508 с. ■



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

Представлено аналізування нових та існуючих підходів до передавання точності методів та результатів вимірень. На прикладі вимірювання технічного світлового виходу органічних сцинтиляторів розглянуто два підходи до передавання характеристик точності вимірювань: на основі розрахунку в «концепції похибки» та «концепції невизначеності» результату вимірення. Проведено оцінювання кількісних значень мір показників прецизійності та правильності результату вимірення технічного світлового виходу сцинтиляторів, відповідно до комплексу із шести національних стандартів — ДСТУ ГОСТ ISO 5725:2005.

This article presents the analysis of newly created and already existing approaches to expression of the accuracy in methods and measurements results. Two approaches to expression of the measurements accuracy characteristics were examined: grounding on the calculation in «the error concept» and «the uncertainty concept» of the measurements result, as exemplified by the measurement of the technical light output in organic scintillators. We have estimated the quantitative values of the measures in the precision and accuracy indexes of the measurement result of the scintillators technical light output according to the complex of six national standards — ДСТУ ГОСТ ISO 5725:2005.

Останнім часом у сучасній світовій практиці у сфері метрології відбулися істотні зміни, пов'язані із уведенням терміна «невизначеність» для оцінювання точності результатів вимірень і засобів вимірювання. Незважаючи на це, в Україні під час проведення великої різноманітності видів метрологічних робіт використовується традиційний і устояний підхід, заснований

на поняттях «похибка» і «характеристики похибки», що обумовлює неприпустимо повільне упровадження поняття «невизначеності» у метрологічну практику нашої країни. У подальшому це може призвести до порушення єдиного підходу до належного розуміння й правильного використання широкого спектра результатів вимірень у різних галузях науки й техніки.

В епоху глобального ринку для забезпечення єдності вимірювань у широкому масштабі необхідно, аби методи оцінювання точності результатів вимірювань були єдиними, щоб вимірювання, проведені у різних країнах, були взаємно визнаними й порівняними за єдиними правилами.

КОНЦЕПЦІЇ ПОХИБКИ ТА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

Термінологію й вимоги до точності методів і результатів вимірювань регламентовано у комплексі із шести національних стандартів України — ДСТУ ГОСТ ISO 5725:2005 [1].

У стандартах [1] поняття «метод вимірювань» (*measurement method*) включає сукупність операцій і правил, виконання яких забезпечує отримання результатів вимірювань з відомою точністю, що дозволяє порівнювати за точністю різні методи вимірювання, методики їх виконання, лабораторії (організації) і операторів (персонал), що здійснюють вимірювання.

Слід зазначити, що у вітчизняній метрології *точність* (*accuracy*) і *похибка* (*error*) результатів вимірювань, як правило, визначається порівнянням результату вимірювань з дійсним значенням вимірюваної величини, що є фактично еталонним значенням [2].

За відсутності необхідних еталонів, що забезпечують відтворення, зберігання й передавання відповідних значень величин, необхідних для визначення похибки (точності) результатів вимірювань, і у вітчизняній, і в міжнародній практиці за дійсне значення найчастіше ухвалюють загальне середнє значення заданої сукупності результатів вимірювань, що виражається в окремих випадках в умовних одиницях. Ця ситуація відображена у терміні «прийняте опорне значення», яким може бути як еталонне, так і середнє значення вимірюваної характеристики. Отже, *точність* — ступінь близькості результату вимірювання до прийнятого опорного значення.

У рамках забезпечення єдності вимірювань вводиться термін «правильність» (*trueness*) — ступінь близькості середнього значення, отриманого на підставі серії вимірювань, до прийнятого опорного значення. Показником правильності звичайно є значення систематичної похибки.

Раніше термін «точність» поширювався лише на одну складову, іменовану нині «правильністю». Однак стало очевидним, що він виражає сумарне відхилення результату від еталонного (опорного) значення, викликане як випадковими, так і систематичними причинами.

У свою чергу, *прецизійність* (*precision*) — ступінь близькості один до одного незалежних результатів вимірювань (*незалежні результати вимірювань (або випробувань)*) — *результати, отримані способом, на який не чинить впливу жоден попередній результат, отриманий за випробувань того ж самого або подібного об'єкта*), отриманих за конкретних регламентованих умов.

Необхідність розгляду «прецизійності» виникає через те, що вимірювання, виконувані на приблизно ідентичних матеріалах, за приблизно ідентичних обставин, не дають, як правило, ідентичних результатів. Це пояснюється неминучими випадковими похибками, властивими кожній вимірювальній процедурі, а фактори, що впливають на результат вимірювання, не піддаються повному контролю.

Прецизійність залежить лише від випадкових похибок і не має відношення до дійсного або встановленого значення вимірюваної величини. Міру прецизійності звичайно обчислюють як середньоквадратичне відхилення (СКВ) результату одиничного вимірювання. Кількісні значення міри прецизійності суттєво залежать від регламентованих умов.

Із викладеного вище можна сказати, що поняття «точність вимірювання» (*accuracy of measurement*) включає сполучення випадкових складових і загальної систематичної складової результату вимірювання (рис. 1).

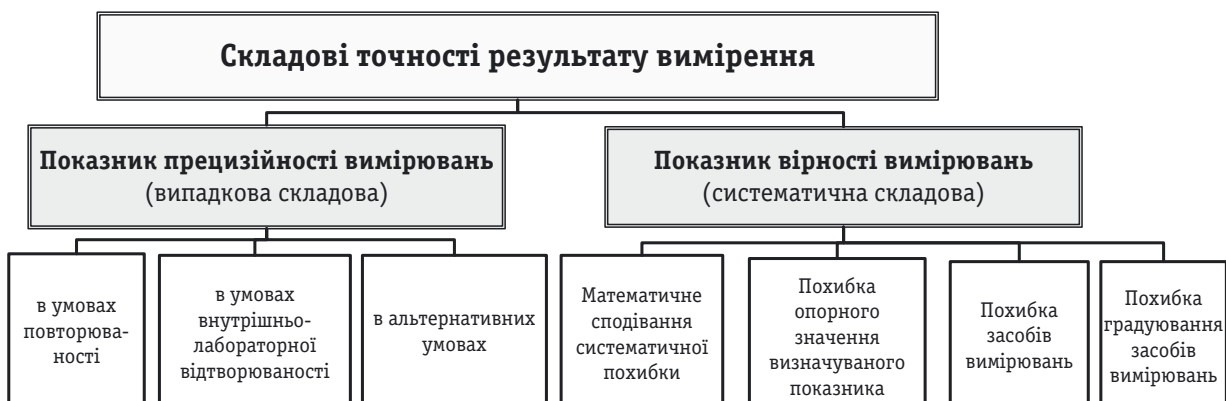


Рис. 1. Складові точності результату вимірювання (прецизійність і правильність)

Зупинимося на основних поняттях сучасної метрології — «концепції похибки» і «концепції невизначеності» результату вимірення.

Як уже відзначено, у «концепції похибки» точність результату вимірення характеризується похибкою вимірювання, що є відхиленням результату вимірення від дійсного значення вимірюваної величини [3]. Однак похибка не може бути точно відомою, оскільки дійсне значення завжди є невідомим. У зв'язку із цим на практиці користуються або оцінками похибки (наближеними їхніми значеннями), або певними характеристиками похибки — точковими або інтервальними. Точковою характеристикою похибки є СКВ похибки, інтервальною — довірчі границі, у яких похибка міститься із заданою ймовірністю [4].

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

Основним документом міжнародного рівня, що реалізує «концепцію невизначеності», є міжнародна рекомендація GUM [5], розроблена у 1993 році. Із її застосування в Україні практичні рекомендації представлено у ДСТУ-Н РМГ 43:2006 [6].

Поняття невизначеність¹ уводиться для однакового й спрощеного оцінювання точності вимірень, оскільки її визначення здійснюється на основі отримуваних результатів вимірень, відомих умов вимірювання і характеристик застосовуваних засобів вимірювання, а не на основі відомого дійсного значення вимірюваної величини.

Слід також зазначити, що у GUM [5] є відсутнім протиставлення похибки і невизначеності, а подано, що невизначеність вимірювання можна сприймати як міру можливої похибки, оскільки похибка не може бути відомою точно. І саме тому виникає невизначеність вимірювання (рис. 2). GUM [5] фактично пропонує чітко розмежувати поняття похибки, як моделі вимірювання, наближеної до дійсності, і невизначеності вимірення, як міри можливої неточності результату вимірення, яка показує, якою за цих умов може бути похибка, а не якою вона є у дійсності [4].

В ІСМА НАН України протягом тривалого часу проводяться вимірювання основних характеристик сцинтиляторів і оцінюються точність результатів вимірень на основі розрахунків похибки.

Сьогодні, відповідно до стандарту [8], від акре-

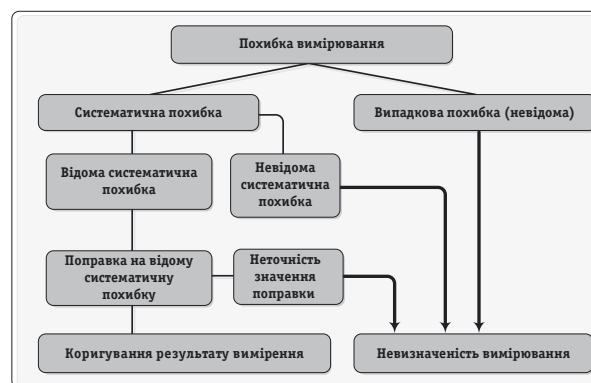


Рис. 2. Схема формування невизначеності вимірювань [4]

дитованої лабораторії потребується проведення поточного контролю достовірності вимірювань шляхом оцінювання й представлення результатів на основі розрахунків невизначеності вимірювань. У зв'язку з цим співробітниками інституту проведено розроблення міжнародного стандарту IEC 62372:2006 [9], який згодом гармонізовано і уведено в Україні як [10]. У стандарті [10] як оцінення точності результату вимірень уже взято не похибку, а невизначеність результату вимірень.

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДИК ОБЧИСЛЕННЯ ПОХИБКИ ТА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

У ході подальшої роботи проведено порівняння методик обчислення похибки й невизначеності вимірювань. Як приклад узято розрахунки технічного світлового виходу сцинтиляторів на основі органічних кристалів стильбену, антрацену й п-терфенілу різних габаритних розмірів.

У загальному виді технічний світловий вихід випробовуваного сцинтилятора (C_{ph}), за використання відносного методу порівняння з робочим зразком, визначається за формулою (18) стандарту [10]:

$$C_{ph} = \frac{C_{pho} \cdot (V_a - V_o)}{(V_{et} - V_o)}, \quad (1)$$

де C_{ph} — технічний світловий вихід випробовуваного зразка, фотонів/МзВ; C_{pho} — технічний світловий вихід робочого зразка, фотонів/МзВ; V_o — значення початкової точки характеристики перетворення установки, каналів; V_{et} — значення амплітуди імпульсів, яке відповідає максимуму піку повного поглинання для робочого зразка, каналів; V_a — значення амплітуди імпульсів, яке відповідає максимуму піку повного поглинання для випробовуваного зразка, каналів.

¹ Згідно з [7] невизначеність вимірювань — це параметр, пов'язаний із результатом вимірення, що характеризує розкид значень, які могли бути обгрунтовано приписані вимірюваній величині.

Вимірювання проводилися на стандартному спектрометричному пристрої (СП), що включає попередній зарядочутливий передпідсилювач, лінійний підсилювач і багатоканальний аналізатор імпульсів. Значення початкової точки характеристики перетворення СП (V_0) становило мінус 5 каналів. Як фотоприймач використовувався фотоелектронний помножувач (ФЕП) виробництва фірми «Hamamatsu», з діаметром фотокатода, рівним 70 мм. Для збудження сцинтиляційних кристалів використовувалося гамма-джерело іонізуючого випромінювання ^{137}Cs ($E_\gamma = 662$ кеВ) із набору еталонних спектрометричних гамма-джерел (ЕСГД).

Сцинтилятори виконано в геометрії циліндра й мали різні габаритні розміри. Робочі зразки досліджуваних сцинтиляторів, обрані для порівняння, мали такі габаритні розміри: стильбен — $\varnothing 40 \times 40$ мм; антрацен — $\varnothing 40 \times 20$ мм; п-терфеніл — $\varnothing 40 \times 16$ мм. Для кожного матеріалу було обрано по два випробувальні зразки, які мали таку ж конфігурацію і розмірний ряд — від 30 до 40 мм.

Спектри радіолюмінесценції досліджуваних сцинтиляторів наведено на рис. 3. Видно, що положення максимуму люмінесценції (λ) сцинтиляторів стильбену, антрацену й п-терфенілу мають значення 390, 445 і 420 нм, відповідно.

Як C_{pho} для робочого зразка сцинтиляторів на основі стильбену використовувалося значення технічного світлового виходу, наведене в [11], що дорівнює 7200 фотонів/МеВ. Значення C_{pho} для робочих зразків сцинтиляторів на основі кристалів антрацену й п-терфенілу розраховувалися за формулою (5) статті [11]. Використовувалося значення C_{pho} для робочого зразка сцинтилятора стильбену з урахуванням відмінності у величині світлового виходу сцинтиляторів, положення максимуму спектра радіолюмінесценції й, відповідно, у величині енергії, необхідної

для утворення одного фотона сцинтиляції. Отримані значення C_{pho} становили: для антрацену — 11 500 фотонів/МеВ; для п-терфенілу — 14 000 фотонів/МеВ.

Найбільший вплив на результат вимірення технічного світлового виходу C_{ph} мали такі фактори:

- статистичний розкид результатів багаторазових вимірень відношення амплітуд імпульсів f ;
- неточне значення світлового виходу C_{pho} , приписане робочому зразку;
- обмежена чутливість шкали багатоканального аналізатора $f_{пр}$, що впливає на значення відношення амплітуд імпульсів f .

Також на результат вимірення впливали й інші фактори [12]. У цій статті розглядалися такі додаткові фактори, як методичні похибки; температура навколишнього повітря й безперервна робота СП.

З урахуванням впливу всіх цих факторів на результат вимірення технічного світлового виходу математичну модель вимірювання (1) можна представити у виді:

$$C_{ph} = C_{pho} \cdot f \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_3, \quad (2)$$

де $f = (V_a - V_0)/(V_{et} - V_0)$ — відношення амплітуд імпульсів; a_1 — множник, що описує вплив на результат вимірення методичної похибки; a_2 — множник, що описує вплив на результат вимірення температури навколишнього середовища; a_3 — множник, що описує вплив на результат вимірення безперервної роботи СП.

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

Вплив методичної похибки (множник a_1) під час вимірювання світлового виходу різними методами (струмовим й імпульсним) досліджувався у [12]. Результат дослідження показав, що методична похибка є незначущою порівняно із основними складовими похибки (невизначеності) вимірювання, і нею можна знехтувати.

Зміна температури навколишнього середовища (множник a_2) не впливає на процес вимірювання, оскільки вимірювання проводилися у кондиціонованому приміщенні, зі збереженням постійного температурного режиму.

Застосування систем стабілізації живлення дозволило знехтувати впливом нестабільності результату вимірення, пов'язаної з часом безперервної роботи СП, тобто множителем a_3 , у силу незначності внеску до сумарної похибки.

Під час визначення технічного світлового виходу проводилися багаторазові вимірювання ($n = 9$; 3 постановки по 3 вимірення) значень амплітуд імпульсів V_{et} і V_a . Вимірювання проводилися серіями

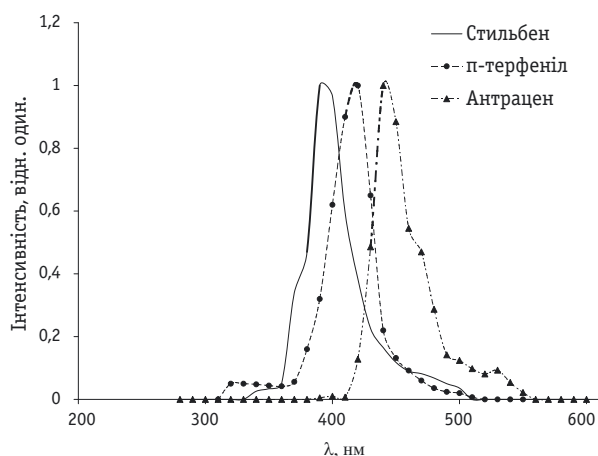


Рис. 3. Спектри радіолюмінесценції

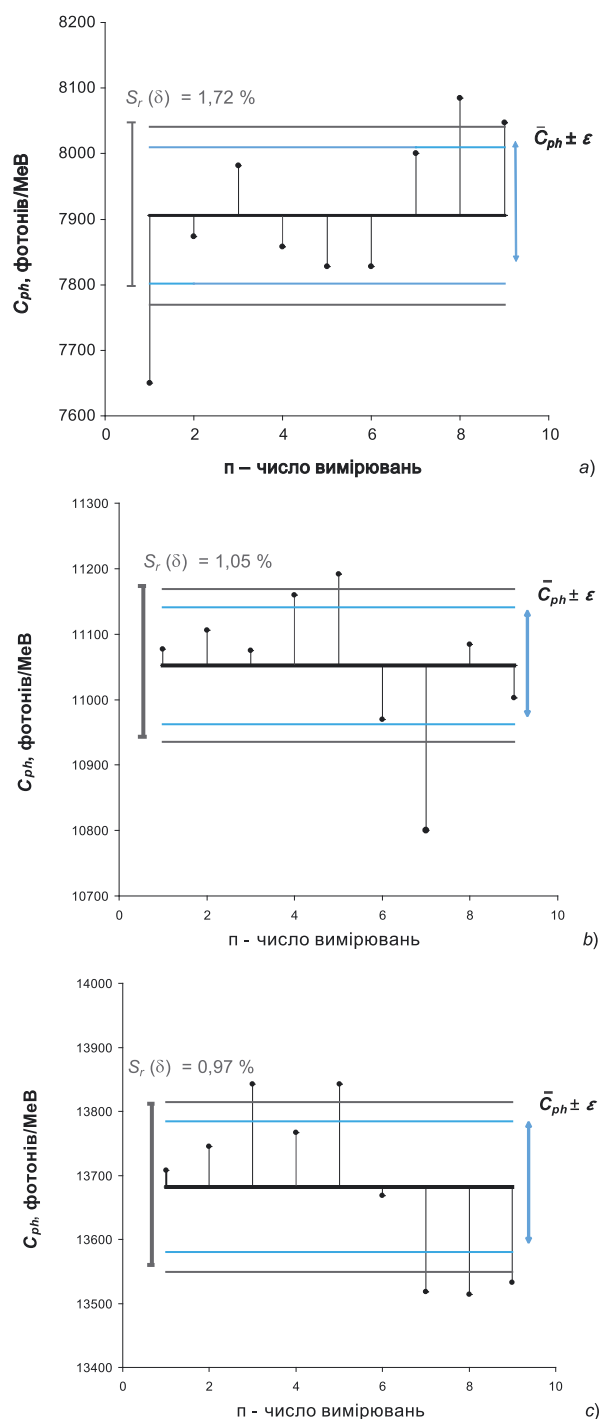


Рис. 4. Прецизійність вимірювань світлового виходу:

- a) стильбен — $\varnothing 40 \times 40$ мм;
- b) антрацен — $\varnothing 40 \times 20$ мм;
- c) п-терфеніл — $\varnothing 40 \times 16$ мм

з інтервалом у добу. Тому в ході подальшої роботи становило інтерес розрахувати кількісні значення показників прецизійності й правильності результату вимірювання технічного світлового виходу сцинтиляторів, відповідно до стандарту [1].

Під час визначення кількісного оцінювання показника прецизійності для одного зразка кожно-

го із досліджуваних сцинтиляторів обрано середні значення світлового виходу й розраховано СКВ результату одиничного вимірювання. Розрахунки проведено для сцинтиляторів, що мають такі розміри: стильбен — $\varnothing 40 \times 40$ мм; антрацен — $\varnothing 40 \times 20$ мм, п-терфеніл — $\varnothing 40 \times 16$ мм.

Для наочності (рис. 4) представлено прецизійність вимірювання світлового виходу, кількісне значення показника прецизійності $S_r(\delta)$ і довірчі границі випадкової складової результату вимірювання $\epsilon(C_{ph})$.

Як зазначалося, показником правильності є значення систематичної складової результату вимірювання. Оцінювання правильності проводилося з урахуванням впливу всіх наведених вище факторів. У цій статті питання повного оцінювання внесків систематичної складової докладно не розглядалося, оскільки цій тематиці вже присвячено відповідні публікації [13, 14].

Як опорне значення світлового виходу взято середнє значення трьох серій вимірювань, похибка опорного значення становила 6,5 % [11]. Внески систематичної складової точності результату вимірювань технічного світлового виходу, що визначають кількісні значення мір показника правильності, представлено на рис. 5.

Кількісні значення показника правильності для зазначених вище сцинтиляторів, представлено у табл. 1.

Отримані результати оцінювання точності результату вимірювання технічного світлового виходу досліджуваних зразків органічних сцинтиляторів, на основі обчислення похибки й оцінювання невизначеності вимірювань, наведено у табл. 2, 3. Обчислення проводилися відповідно до методики, описаної раніше в роботах [13, 14].

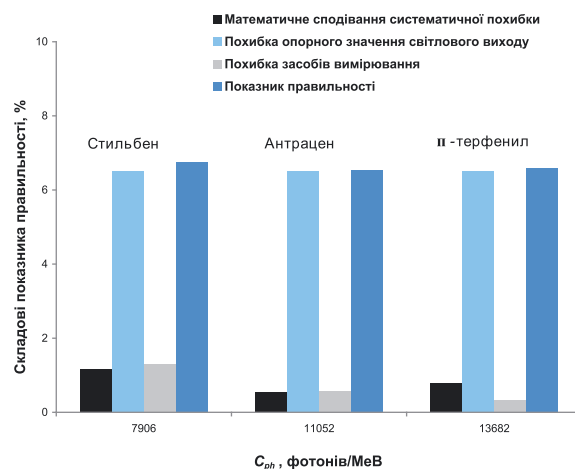


Рис. 5. Систематична складова точності результату вимірювання технічного світлового виходу

Таблиця 1. Розрахунки показника правильності вимірювання технічного світлового виходу сцинтиляторів на основі кристалів стильбену, антрацену й п-терфенілу

Сцинтилятор	Розмір сцинтилятора, мм	Опорне значення світлового виходу, фотонів / Мев	Математичне сподівання систематичної похибки, %	Похибка засобів вимірювань, %	Показник правильності, %
Стильбен	Ø 40×40	7906	1,165	1,292	6,741
Антрацен	Ø 40×20	11052	0,539	0,580	6,545
П-терфеніл	Ø 40×16	13682	0,7796	0,329	6,600

Таблиця 2. Розрахунки похибки вимірювання технічного світлового виходу сцинтиляторів на основі кристалів стильбену, антрацену й п-терфенілу

Сцинтилятор	Розмір сцинтилятора, мм	f	C_{ph} , фотон/Мев	$S(C_{ph})$		$\varepsilon(C_{ph})$		q		q		$\Delta\chi_{\text{пл}}$	
				Абс., фот/Мев	Відн., %	Абс., фот/Мев	Відн., %	Абс., фот/Мев	Відн., %	Абс., фот/Мев	Відн., %	Абс., фот/Мев	Відн., %
Стильбен	Ø 40×40	1,098	7905	45,23	0,57	104,29	1,32	102,14	1,29	576	7,29	586	7,41
	Ø 30×30	1,011	7283	26,26	0,36	60,57	0,83	97,93	1,35	532	7,30	535	7,35
Антрацен	Ø 40×20	0,961	11050	38,84	0,35	89,57	0,81	64,14	0,58	793	7,18	798	7,22
	Ø 30×20	0,946	10883	75,81	0,70	174,82	1,61	63,66	0,59	781	7,19	801	7,36
П-терфеніл	Ø 40×16	0,977	13680	44,25	0,32	102,05	0,75	45,02	0,33	979	7,16	985	7,20
	Ø 30×16	0,917	12838	90,36	0,70	208,36	1,62	43,65	0,34	919	7,16	942	7,34

Таблиця 3. Розрахунки невизначеності вимірювання технічного світлового виходу сцинтиляторів на основі кристалів стильбену, антрацену й п-терфенілу

Сцинтилятор	Розмір сцинтилятора, мм	C_{ph} , фотон/Мев	$u_A(C_{ph})$		$u_B(f_{\text{пр}})$		$u_B(C_{ph})$		$u_C(C_{ph})$		$U_P(C_{ph})$	
			Абс., фот/Мев	Відн., %	Абс., фот/Мев	Відн., %	Абс., фот/Мев	Відн., %	Абс., фот/Мев	Відн., %	Абс., фот/Мев	Відн., %
Стильбен	Ø 40×40	7905	45,23	0,57	53,61	0,68	301,45	3,81	304,82	3,86	610	7,71
	Ø 30×30	7283	26,26	0,36	51,40	0,71	278,12	3,82	279,36	3,84	559	7,67
Антрацен	Ø 40×20	11050	38,84	0,35	33,67	0,31	416,10	3,77	417,91	3,78	836	7,56
	Ø 30×20	10883	75,81	0,70	33,41	0,31	409,79	3,77	416,74	3,83	833	7,66
П-терфеніл	Ø 40×16	13680	44,25	0,32	23,63	0,17	513,97	3,76	515,87	3,77	1032	7,54
	Ø 30×16	12838	90,36	0,70	22,91	0,18	482,32	3,76	490,71	3,82	981	7,64

Під час зіставлення результатів вимірень і оцінень їх достовірності автори також розглянули питання перерахування характеристик похибки у характеристики невизначеності у випадку відсутності достатньої інформації для обчислення невизначеності вимірювань відповідно до настанови [6].

У прийнятих нормативних документах з метрології описуються два різні способи представлення результату вимірення: скорочений і розширений [16], які відповідають двом схемам перерахування, зазначеним у п. 5.4 настанови [6].

Використовуючи розширений спосіб, що припускає подальше опрацювання результатів або попереднє аналізування похибки вимірювань, проведено перерахування характеристик похибки технічного світлового виходу на характеристики невизначеності (табл. 4).

Для наочності отриманих результатів значення похибки (невизначеності) та їхніх складових, розраховані для одного із досліджуваних сцинтиляторів (на основі кристала антрацену з розміром Ø 30×20 мм), наведено у виді кругової діаграми (рис. 6).

Таблиця 4. Перерахунки характеристик похибки на характеристики невизначеності

Сцинтилятор	Розмір сцинтилятора, мм	$S(C_{ph})$, %	q	$u_A(C_{ph})$, %	$u_B(C_{ph})$, %	$u_C(C_{ph})$, %	k	$U_P(C_{ph})$, %
Стильбен	Ø 40×40	0,572	7,290	0,572	3,826	3,869	2	7,74
	Ø 30×30	0,361	7,301	0,361	3,832	3,849	2	7,70
Антрацен	Ø 40×20	0,352	7,178	0,352	3,768	3,784	2	7,57
	Ø 30×20	0,697	7,179	0,697	3,768	3,832	2	7,66
П-терфеніл	Ø 40×16	0,323	7,159	0,323	3,758	3,772	2	7,54
	Ø 30×16	0,704	7,160	0,704	3,758	3,823	2	7,65

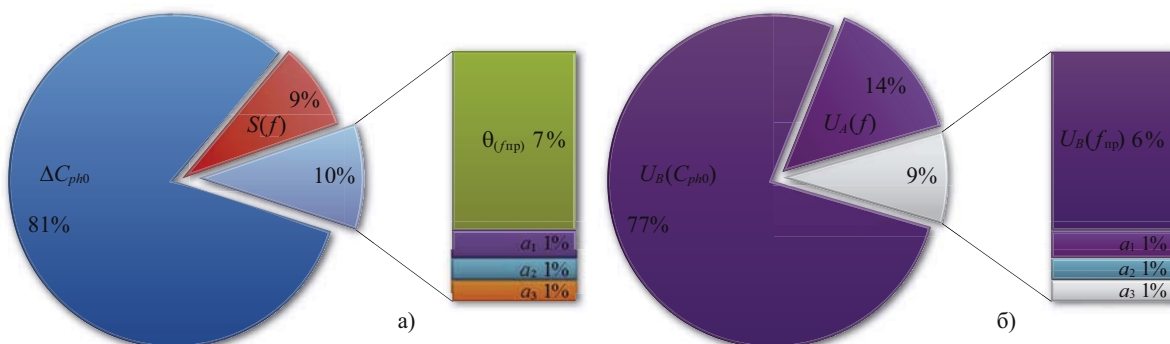


Рис. 6. Похибка (а) / невизначеність (б) результату вимірювання світлового виходу сцинтилятора на основі кристала антрацену з розміром Ø 30×20 мм

Необхідно відзначити, що на діаграмі показано внески похибок (невизначеностей) у результат вимірювання технічного світлового виходу й таких малозначимих факторів, як множників a_1 , a_2 , a_3 , хоча кількісні значення цих внесків прирівняні до нуля. За відсутності систем стабілізації тракту або систем кондиціювання вплив множників a_1 , a_2 , a_3 може бути значним, і ним неможливо буде знехтувати.

Отримані значення похибок (невизначеностей) вимірювань технічного світлового виходу розглянутих органічних сцинтиляторів наведено на рис. 7.

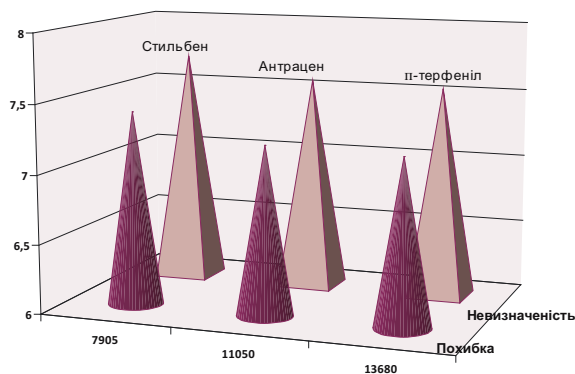


Рис. 7. Похибка і невизначеність вимірювань технічного світлового виходу сцинтиляторів

ВИСНОВКИ

Проведено порівняльне оцінювання точності результатів вимірювання технічного світлового виходу на основі методик обчислення похибки та невизначеності вимірювань. Показано, що розглянуті методики не суперечать одна одній й дають порівняно близькі значення оцінень. Це уможливило їхнє гармонічне використання, без взаємного протиріччя й виключення однієї з них.

Установлено, що основний внесок до результату вимірювання для розглянутого прикладу вносить визначення технічного світлового виходу робочого зразка. Внесками, пов'язаними з іншими незначними факторами, можна знехтувати через їхній малий вплив на результат вимірювання. Отриманий висновок можна поширити і на інші види відносних вимірювань, у яких визначальний внесок до точності результату вимірювання має складова вищого зразка.

Визначено кількісні значення мір показників прецизійності й правильності результату вимірювання технічного світлового виходу відповідно до стандартів [1]. Установлено, що розрахунки випадкових і систематичних складових точності вимірювань, з використанням зазначених вище стандартів [1], дають відносно близькі результати порівняно із розрахунками цих складових у «концепції похибки»,

а сама методика розрахунків є значно простішою у застосуванні у випадку відсутності достатньої інформації для проведення оцінювання точності вимірювання.

Проаналізовано перерахування характеристик похибки світлового виходу на характеристики невизначеності; показано, що оцінення невизначеностей, отримані у такий спосіб, в основному, збігаються зі значеннями невизначеностей, обчисленими відповідно до настанови [6], а наявні невеликі відмінності є незначними. Це дозволяє застосовувати зазначений метод розрахунків до розглянутого практичного завдання.

Випробувальним лабораторіям у разі оцінювання невизначеності не потрібно проводити додаткових випробувань або досліджень, оскільки вихідні положення, методи розрахунків і правила оцінювання похибки й невизначеності є близькими. Суттєво відрізняються лише правила додавання складових і форма подання результатів вимірень.

Зазначено, що національні стандарти, в яких упроваджено положення рекомендації GUM [5], а та-

кож ДСТУ ГОСТ ISO 5725 [1], значно полегшують роботу з оцінювання точності результатів під час лабораторних вимірювань та акредитації лабораторій. Але усе ще залишається велика кількість стандартів за цією тематикою, які потрібно у найкоротший термін гармонізувати й увести в дію, оскільки їхня відсутність у системі національної стандартизації сповільнює процес євроінтеграції нашої країни до міжнародного співтовариства.

Під час реалізації програми міжнародної стандартизації оцінювання характеристик точності вимірювань необхідно, щоб процес оцінювання невизначеності був однаковим і давав максимально достовірні оцінення. Це вимагає конструктивних пропозицій з удосконалювання й розвитку методів оцінювання невизначеності вимірювань, їх упровадження в метрологічну практику, подальшого удосконалювання нормативної бази, що, з урахуванням різноманіття видів і методів вимірювань, а також підходів до оцінювання невизначеності, є можливим лише за об'єднання зусиль теоретичних і практичних працівників високої кваліфікації у цій сфері.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ ГОСТ ISO 5725-1-2-3-4-5-6:2005. Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання.
2. Лифиц И.М. Стандартизация, метрология и подтверждение соответствия: Учебник // И.М. Лифиц. — 9-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во «Юрайт», 2009. — 315 с.
3. ДСТУ 2681-94 Метрологія. Терміни та визначення.
4. Коцюба А., Новіков В., Харченко І., Згура В. Невизначеність вимірювання та характеристики похибки // Стандартизація, сертифікація, якість. — 2004. — № 2. — С. 45—47.
5. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM): First edition. — ISO, Switzerland, 1993. — 101 p.
6. ДСТУ-Н РМГ 43:2006. Метрологія. Застосування «Руководства по выражению неопределенности измерений» (РМГ 43-2001, IDT).
7. Международный словарь основных и общих терминов в метрологии — International Vocabulary of Metrology — Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM): Second edition, 1993. — International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. — 40 p.
8. ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2005, IDT).
9. IEC 62372:2006. Nuclear instrumentation — Housed scintillators — Measurement methods of light output and intrinsic resolution.
10. ДСТУ IEC 62372:2009. Ядерне приладобудування. Сцинтилятори упаковані. Методи контролювання технічного світлового виходу та власної роздільної здатності (IEC 62372:2006, IDT).
11. Sysoeva E., Tarasov V., Zelenskaya O. Comparison of the methods for determination of Scintillation Light Yield (Сравнение методов определения светового выхода сцинтилляторов) // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 486. — 2002. — Р. 67—73.
12. Отчет по теме НИР «Разработка методов и метрологическое обеспечение контроля качества упакованных сцинтилляционных кристаллов». — Харьков: Институт монокристаллов, 1980. — 118 с.
13. Гринев Б.В., Гурджян Н.Р., Зеленская О.В., Любинский В.Р., Молчанова Н.И., Тарасов В.А. Сравнительный анализ методик вычислений погрешности и неопределенности измерений на примере сцинтиллятора // Метрологія та вимірювальна техніка: Наукові праці VIII Міжнародної науково-технічної конференції, м. Харків, 2012. — С. 54—60.
14. Гринев Б., Гурджян Н., Зеленська О., Любинський В., Молчанова Н., Тарасов В. Оцінення якості результатів вимірювань світлового виходу упакованих сцинтиляторів на основі неорганічних кристалів // Метрологія та прилади. — 2013. — № 1. — С. 31—39.
15. ДСТУ ГОСТ 8.207:2008 ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.
16. Захаров И.П., Кукуш В.Д. Теория неопределенности в измерениях. — Харьков: КОНСУМ, 2002. — 256 с. ■



А. Іващенко, начальник науково-виробничого відділу метрологічного забезпечення вимірювань параметрів руху та віброакустичних величин,

Д. Болюх, начальник науково-виробничої лабораторії віброакустичних вимірювань, ДП «Укрметрестандарт», м. Київ;

А. Владимирський, кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник, Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова, м. Київ;

І. Владимирський, кандидат технічних наук, начальник лабораторії служби науково-технічних розробок і діагностики енергоустаткування, СВП «Контроль та діагностика», ПАТ «Київенерго»

Розглянуто законодавчу й нормативну бази, технічні й метрологічні характеристики різних вимірників часу спрацьовування гальмової системи автомобілів.

The Legislative and Normative Basis, Technical and Metrological Characteristics of Automobile Brake System Response Time Various Meters are Considered.

Вимоги до технічного стану колісних транспортних засобів (КТЗ) регламентовано Державним стандартом України ДСТУ 3649:2010 [1]. Відповідно до нього одним із основних параметрів автомобіля, що характеризують його безпеку, є час спрацьовування гальмової системи — це час від початку гальмування (від моменту натискання на педаль гальма) до моменту, коли затримка (гальмова сила) досягає, (максимального) значення, що встановився. Разом із максимальною гальмовою силою, що розвивається колесами автомобіля у точці дотику коліс із покриттям, і масою КТЗ час спрацьовування гальм впливає на такий параметр, як гальмовий шлях.

Відповідно до ДСТУ 3649:2010 гальмовий шлях — це відстань, яку проходить КТЗ від моменту здійснення впливу на орган керування (від моменту натискання на педаль гальма) до моменту зупинки. Існує два основні методи перевірки

гальмової системи КТЗ — випробування стендові й дорожні. В основному, вимірювання гальмових сил КТЗ проводиться на роликкових гальмових стендах (метод стендових випробувань). Суть перевірки гальмової сили на роликковому гальмовому стенді полягає у такому. Автомобіль заїжджає передньою віссю на дві пари роликів. Кожне колесо КТЗ опиняється між парою роликів, покритих спеціальним покриттям, що імітує дорожнє полотно. Коробка передач переводиться у нейтральне положення, а ролики стенда починають обертатися зі швидкістю 2,5 км / год. Після цього випробувач має плавно натиснути на педаль гальма. Зусилля гальмування (гальмова сила автомобіля) за допомогою механічних вузлів роликкового стенда передається на вимірювальні датчики сили стенда. Після цього аналогічним способом перевіряються й інші осі КТЗ.

Далі проводяться розрахунки питомої гальмової сили — відношення сумарної гальмової сили КТЗ до ваги автомобіля. Для вимірювання часу спрацьовування гальмової системи автомобіля необхідно імітувати режим екстреного гальмування. У цьому випадку необхідно натискати на педаль гальма з максимальною швидкістю. Відповідно до ДСТУ 3649:2010 тривалість спрацьовування гальмової системи на стенді — проміжок часу від початку гальмування до моменту, коли гальмова сила колеса КТЗ досягає значення, що встановилося, або здійснюється блокування на роликах стенда. Значення, що встановилося, — це значення вимірюваної величини, коли вона змінюється у межах $\pm 5\%$ за час, не менший 1 с. Ролики гальмового стенда блокуються, коли проковзування колеса КТЗ відносно поверхні ролика перевищує встановлене значення (установлюється у межах від 12 до 30 %).

Відповідно до ДСТУ 3649:2010 час спрацьовування гальм не має перевищувати 0,5 с для КТЗ із гідравлічним приводом і 0,8 с для КТЗ із пневматичним. Для КТЗ випуску до 1988 року допускається збільшення нормативу часу спрацьовування на 10 %. Межі абсолютної похибки, що допускається, під час вимірювання часу спрацьовування гальм — $\pm 0,01$ с. Окрім цього параметра необхідно ще вимірювати зусилля натискання на орган управління (педаль) гальмової системи. Діапазон вимірювань зусилля натискання на педаль гальма КТЗ — від 40 до 800 Н. Межі відносної похибки, що допускається, під час вимірювання сили натискання на педаль гальма — $\pm 4\%$ [1].

Забезпечують вимірювання часу спрацьовування гальм гальмові стенди таких виробників: SHERPA, NUSSBAUM, МАНА, HOFMANN (усі — Німеччина), ENERGOTEST (Угорщина), META (Росія). Усі ці виробники доопрацьовували програмне забезпечення спеціально для того, щоб гальмові стенди відповідали вимогам державних стандартів України. А інженери фірм SHERPA, NUSSBAUM, ENERGOTEST у процесі розроблення програмного забезпечення консультувалися з фахівцями ДП «Укрметртестстандарт». Алгоритми вимірювання часу спрацьовування для різних гальмових стендів незначно відрізняються, як і метрологічні характеристики стендів.

Вимірювання часу спрацьовування у гальмових стендах фірм SHERPA, NUSSBAUM, МАНА, HOFMANN, ENERGOTEST засновано на вимірюванні й запам'ятовуванні гальмових сил і сили натискання на педаль під час імітації екстреного гальмування. Після відключення режиму вимірювань (зупинки роликів) визначається інтервал часу від моменту

натискання на педаль гальма (момент часу, коли зусилля на педалі перевищило 10 Н) до моменту, коли гальмові сили досягли рівня 90 % від своїх максимальних значень.

Гальмові стенди META виконують вимірювання часу від моменту натискання на педаль гальма до моменту, коли частота обертання пасивного ролика знизилася на 20 %. Межі абсолютної похибки, що допускається, стендів SHERPA, NUSSBAUM, МАНА, HOFMANN, ENERGOTEST під час вимірювання часу спрацьовування — $\pm 0,01$ с, а стендів META — $\pm 0,03$ с.

Це означає, що стенди META не відповідають вимогам ДСТУ 3649:2010. Під час проведення метрологічного контролю цих стендів фахівцями ДП «Укрметртестстандарт» визначено поправки, ураховуючи які можливо домогтися точності, яка вимагається за державними стандартами України.

Гальмові стенди фірми HOFMANN забезпечують вимірювання за два цикли. За першим вимірюється максимальна гальмова сила, яка розвивається на кожному колесі, за другим проводиться вимірювання часу спрацьовування з урахуванням результатів першого вимірювання. Усі інші виробники виконують вимірювання часу спрацьовування за один цикл.

Проведення робіт з державного метрологічного контролю цього параметра гальмових стендів було б неможливим, якби автори не розробили спеціального імітатора сигналів гальмового стенда. У ньому створюються такі сигнали: натискання на педаль, від датчиків гальмових сил, від пасивного ролика.

Фірма ТОВ «РОБЕРТ БОШ» (Україна) виготовляє вимірники часу спрацьовування гальмових стендів ИВТ-200, які установлюються на гальмові стенди фірми BOSCH (Німеччина). Принцип роботи ИВТ-200 є аналогічним стендам фірм SHERPA, NUSSBAUM, МАНА, HOFMANN, ENERGOTEST. Похибка — у межах $\pm 0,01$ с. Зовнішній вид ИВТ-200 представлено на рис. 1.



Рис. 1. Зовнішній вид вимірника ИВТ-200

Більшість роликів гальмових стендів випуску до 2005 року не мають у своєму складі каналу для вимірювання часу спрацювання гальмової системи. Із цієї причини такі стенди не можуть використовуватися для проведення техогляду КТЗ. У зв'язку з тим, що в Україні є достатньо велика кількість гальмових стендів, які не можуть проводити вимірювання часу спрацювання, вирішено розробити спеціальний пристрій для підключення до них. Авторами розроблено вимірник часу спрацювання гальмової системи автомобілів ВТС-1, який може підключатися до гальмових стендів і виконувати вимірювання часу спрацювання гальм. Крім того, конструкція ВТС-1 забезпечує можливість проведення державної метрологічної атестації й щорічної перевірки. Необхідно додати, що ВТС-1 може підключатися до роликів гальмових стендів різних виробників.

До складу вимірника часу спрацювання гальм ВТС-1 входять: педаль вимірювальна, блок живлення, електронний блок, програмне забезпечення, установлене на персональному комп'ютері. Зовнішній вид ВТС-1 представлено на рис. 2.

Педаль вимірювальну призначено для вимірювання зусилля натискання на педаль гальма. Вона установлюється на педаль гальма КТЗ або кріпиться на ногу випробувача, який виконує вимірювання. Для цього на педалі вимірювальній установлено відповідні реміні. За натискання на педаль гальма КТЗ педаль вимірювальна міститься між ногою випробувача й педаллю КТЗ. Педаль вимірювальну виконано на базі пружного елемента, на який наклеєно тензорезистори. Конструкція педалі забезпечує достовірність і необхідну точність вимірювання зусилля натискання на педаль КТЗ, незалежно від точки прикладення зусилля. Педаль вимірювальна з'єднується із електронним блоком, екранованим кабелем довжиною 14 м. Це забезпечує можливість випробування не лише легкових автомобілів, а й вантажних, багатосилових КТЗ.

Вхідні сигнали для електронного блока ВТС-1 складаються із: аналогового від педалі вимірювальної; двох

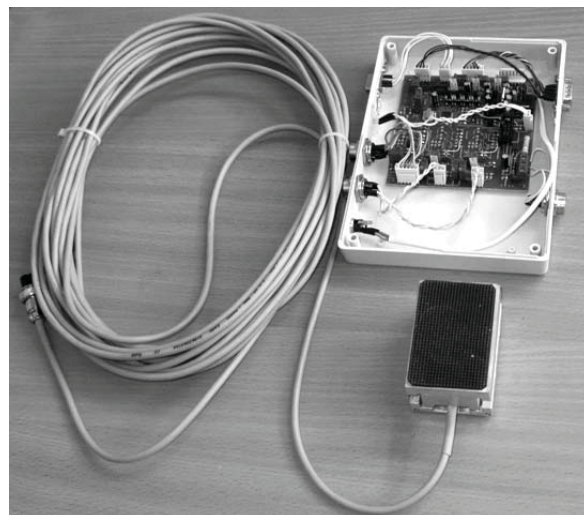


Рис. 2. Зовнішній вид вимірника ВТС-1

аналогових від датчиків гальмових сил роликів гальмового стенда (відповідають правому й лівому колесам КТЗ), дискретного початку вимірювань, який формується у роликів гальмового стенда. В електронному блоці здійснюється перетворення вхідних сигналів у цифрові коди. Вихідний сигнал електронного блока — цифровий код, який передається на персональний комп'ютер за відповідним інтерфейсом.

Програмне забезпечення на персональному комп'ютері забезпечує приймання сигналів з електронного блока, опрацювання цих сигналів і формування вихідного протоколу для роздрукування на паперовому носії. Крім того, формується база даних стосовно випробувань, яка зберігається на персональному комп'ютері. На екрані комп'ютера

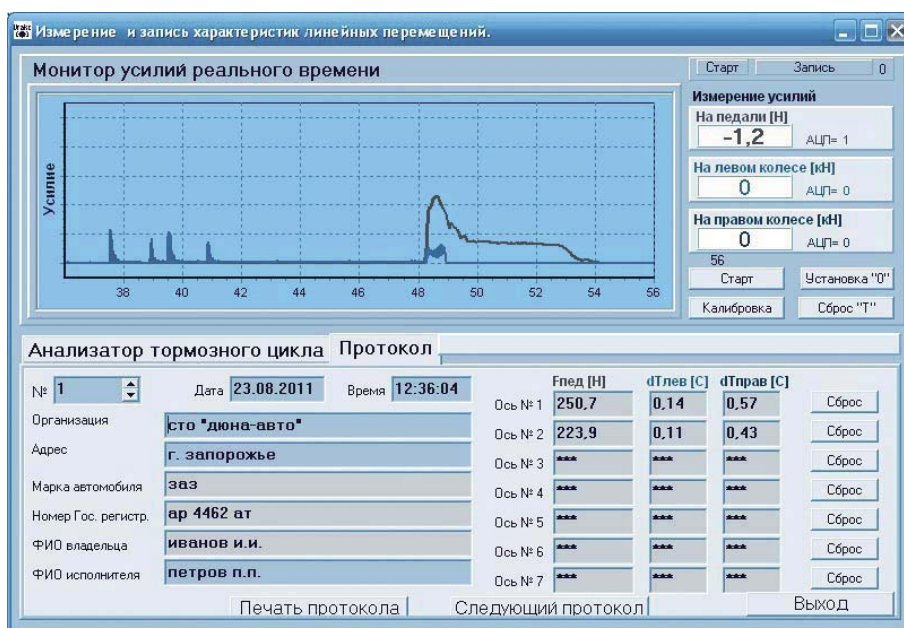


Рис. 3. Зразок відображення результатів вимірювань на екрані комп'ютера

у режимі реального часу здійснюється відображення поточних значень усіх вимірюваних величин у виді цифрових значень і графіків. У процесі проведення випробувань автомобіля за параметром часу спрацювання гальмової системи формується результат вимірювань у виді окремого графіка й цифрових значень, занесених у таблицю.

Алгоритм ВТС-1 забезпечує автоматичне визначення початку вимірювань і відбраковування некоректно проведених вимірювань.


За необхідності можна роздрукувати протокол вимірювань. Метрологічні характеристики ВТС-1: діапазон вимірювань часу спрацювання — від 0,1 до 2,0 с; межі похибки, що допускається, під час вимірювання часу — $\pm 0,01$ с; діапазон вимірювання зусилля на органи управління КТЗ (педаль) — від 25 до 800 Н; межі похибки, що допускається, під час вимірювання зусилля — ± 4 %. Ці характеристики повністю відповідають вимогам ДСТУ 3649:2010.

У вимірнику ВТС-1 реалізована можливість самоконтролю функціонування. В електронному блоці

формується сигнали, що імітують сигнали, що надходять від роликових гальмових стендів. На платі електронного блока розташовано відповідні кнопки й перемички, що дозволяють подавати імітовані сигнали на вхід вимірювальних ланцюгів електронного блока. Це забезпечує перевірку функціонування програм електронного блока, ліній зв'язку й персонального комп'ютера без включення роликового стенда.

Слід додати, що вимірювання часу спрацювання гальм відповідно до Закону України [2] належать до сфери дії державного метрологічного нагляду й контролю. Отже, має передбачатися можливість державної метрологічної атестації й щорічної перевірки. Для цього електронний блок має відповідний роз'єм, до якого можна підключити імітатор сигналів роликового гальмового стенда. Імітатор формує сигнали з фіксованою тривалістю часу спрацювання гальмової системи КТЗ. Імітатор можна реалізувати на базі електронного блока ВТС-1.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання.
2. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 11.02.1998, № 113/ 98-ВР (зі змінами, внесеними згідно із Законом № 762-IV від 15.05.2003). 

ЗАСІДАННЯ ТК 1.8/ПК 1 СООМЕТ «ЕЛЕКТРОХІМІЯ»

18 вересня у ФДУП «ВНИИФТРИ» (Менделєєво, Московської обл., Росія), відбулося засідання підкомітету ПК 1 «Електрохімія» Технічного комітету ТК 1.8 «Фізико-хімія» СООМЕТ. У ньому взяли участь представники Білорусі, Казахстану, Киргизстану, Росії та України.


На засіданні заслухано й обговорено доповідь Голови ТК 1.8/ПК 1 М. Балаханова стосовно діяльності підкомітету за останній період та повідомлення Голови підкомітету ТК 1.8/ПК 2 «Метали та сплави» Н. Муравської щодо стану міжнародних звірень ССQM у галузі медицини та біоаналізу. Запропоновано створити у рамках ТК 1.8 підкомітети з аерозолів, який координуватиме роботи з метрологічного забезпечення вимірювань концентрації аероіонів, наночастинок тощо, потреба у яких збільшується з розвитком новітніх технологій, та з простежуваності вимірювань у лабораторній медицині.

Фахівці національних метрологічних інститутів (НМІ) В. Зискін (УНИИМ, Росія), О. Давидова, В. Добровольський (ВНИИФТРИ, Росія), В. Гаврилкін (ДП «Укрметртестстандарт», Україна) поінформували учасників засідання стосовно стану поточних міжнародних звірень у галузі електрохімічних ви-

мірювань; В. Суворов (ВНИИМ ім. Д.І. Менделєєва, Росія) — щодо розроблення нового документа OIML «Measurement methods of electrolytic conductivity electrolytic solutions».

Заслухано інформації представників країн-учасників засідання стосовно діяльності НМІ у сфері електрохімічних вимірювань, доповідь В. Гаврилкіна щодо стану упровадження у метрологічну практику Рекомендацій ІЮПАК 2002 «Вимірювання рН. Визначення, еталони, процедури». В останній, зокрема, підкреслено, що упровадження загальноприйнятих у світовій метрологічній практиці Рекомендацій потребує прискорення прийняття відповідних проектів міждержавних стандартів, гармонізованих з Рекомендаціями;

Учасники засідання ознайомилися з еталонною базою та технологічним процесом виробництва й атестації еталонних матеріалів у ФДУП «ВНИИФТРИ».

Наступне засідання ТК 1.8/ПК 1 заплановано провести у травні 2014 року. 

В. Гаврилкін, начальник науково-виробничого відділу, ДП «Укрметртестстандарт», м. Київ



О. Величко, доктор технічних наук, професор, директор науково-виробничого інституту метрологічного забезпечення вимірювань електромагнітних величин,
С. Карпенко, науковий співробітник науково-дослідного відділу,
ДП «Укрметрестестстандарт», м. Київ

Розглянуто питання здійснення дистанційного калібрування високоточних цифрових лічильників електричної енергії (ЛЕЕ), особливості та способи його впровадження і технічні питання, що виникли під час розроблення систем дистанційного калібрування (СДК). Проведено аналізування бюджету невизначеності за дистанційного калібрування високоточних цифрових ЛЕЕ.

The paper concerns the problem about realization for the remote calibration of precision electric energy digital meters, peculiarities and methods to its adoption and technical problems arisen in the remote calibration systems elaboration. Analysis of uncertainty budget for the precision electric energy digital meters remote calibration is conducted.

На території України експлуатується близько 30 млн ЛЕЕ для обліку споживання її споживачами і для комерційного обліку електричної енергії (АСКОЕ та ЛУЗОД), які обов'язково мають бути повіреними згідно з вимогами чинного законодавства та нормативних документів з метрології. Обов'язковій повірці підлягають і робочі еталони одиниць електричної енергії та потужності, яких в Україні нараховується більше 1500 одиниць.

Останніми роками сучасні інформаційні технології широко упроваджуються у метрологічну практику. Одним із елементів такого упровадження є калібрування засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) із застосуванням мережі Інтернет [1–8], який отримав назву Інтернет-метрологія (ІМЕТ). Організаційно-технічні системи для здійснення такого калібрування ЗВТ вже легалізовано у деяких країнах, зокрема, в Японії, США, Великобританії, Нідерландах, Італії тощо. Особливості нормативного забезпечення організаційно-технічних СДК ЗВТ розглянуто у [9].

СДК ЗВТ електричних одиниць створено і апробовано у ДП «Укрметрестестстандарт» (м. Київ) [10–12]. Питання виконання вимог міжнародного стандарту ISO/IEC 17025 за дистанційного калібрування ЗВТ, зокрема, виконання вимог зазначеного стандарту під час транспортування еталонного обладнання до лабораторії замовника та проведення самого дистанційного калібрування розглянуто у [13].



О. Величко



С. Карпенко

Останніми роками стає актуальним питання застосування для ЛЕЕ, разом з їх повіркою і калібрування, зокрема дистанційного, для забезпечення необхідної метрологічної простежуваності [14, 15]. Такий підхід дозволяє здійснювати оперативний контроль метрологічних характеристик високоточних цифрових ЛЕЕ, значно скорочує час проведення їх калібрування, знижує вартість калібрування і вирішує проблему, пов'язану з транспортними витратами.

1. СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО КАЛІБРУВАННЯ ВИСОКОТОЧНИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ

Державний еталон одиниць електричної потужності й коефіцієнта потужності (ДЕТУ 08-08-02) і два вторинних еталона одиниці електричної потужності зберігаються у ДП «Укрметртестстандарт». Державний еталон має встановлену метрологічну простежуваність до національних еталонів інших країн, зважаючи на його участь у міжнарод-

них ключових звіреннях EUROMET.EM-K5.1, і опубліковані на сайті Міжнародного бюро з мір і вагів (BIPM) у спеціальній Базі даних ключових звірень (KCDB) калібрувальні та вимірювальні можливості [16—18].

У ДП «Укрметртестстандарт» створено СДК високоточних цифрових ЛЕЕ, яка пройшла необхідну апробацію. Функціональну схему розробленої системи наведено на рис. 1.

Основні компоненти запропонованої СДК ЛЕЕ:

- спеціалізоване програмне забезпечення (ПЗ), яке має бути встановлено на персональних комп'ютерах (ПК) калібрувальної лабораторії (КЛ) ДП «Укрметртестстандарт» та замовника;
- багатофункціональний пересувний робочий еталон КЛ, який має бути розміщено у замовника;
- ЛЕЕ, що має бути відкаліброваним;
- вимірювач параметрів повітря «Атмосфера-1» і Web-камера, які мають бути встановлені у лабораторії замовника;

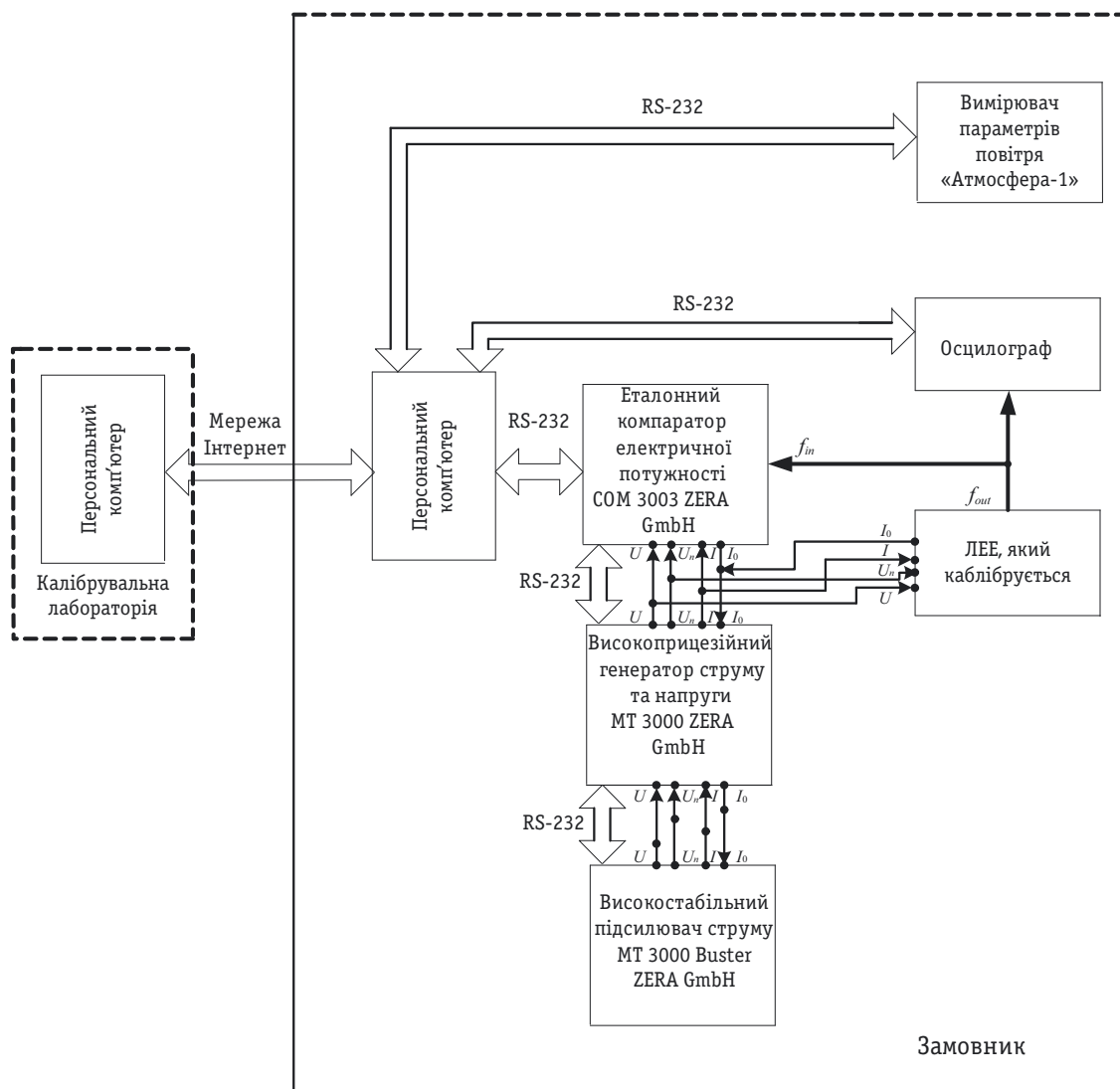


Рис. 1. Функціональна схема розробленої системи

- осцилограф з інтерфейсом управління (Com, Serial, IEEE, GPIB, USB тощо);
- лінія зв'язку, яка використовується для роботи з мережею Інтернет.

Спеціалізоване ПЗ складається із двох основних частин: основної програми (клієнт-програми) і програми управління пристроями. Першу розміщено на ПК КЛ, а другу — на ПК у лабораторії замовника. Доступ до основної програми має уповноважений персонал КЛ, для цього передбачено процедуру авторизації користувача. Алгоритм калібрування ЛЕЕ реалізується поза тілом основної програми у спеціальному окремому файлі, який підключається до основної програми.

Як багатофункціональний пересувний робочий еталон обрано еталонний комплект обладнання:

- еталонний компаратор електричної потужності COM 3003 ZERA GmbH;
- високоприцевий генератор струму і напруги MT 3000 ZERA GmbH;
- високостабільний підсилювач струму MT 3000 Buster ZERA GmbH до 120 А, що входить до складу вторинного еталона одиниць електричної потужності для промислового діапазону частот.

Зазначені ЗВТ мають модульну структуру (модуль напруги, модуль струму), що забезпечує високу стабільність і точність.

Комплект еталонного обладнання є повністю автоматизованим і може працювати автономно. Для реалізації дистанційного калібрування ЛЕЕ достатньо функціональних можливостей штатного ПЗ, але додатково розроблено спеціальне ПЗ, яке задовольняє всі вимоги до дистанційного калібрування.

Додаткові вимоги висуваються і до ЛЕЕ, які калібруються, а саме:

- * необхідна наявність віддаленого інтерфейса управління (Com, Serial, IEEE, GPIB, USB тощо) або імпульсного виходу;
- * наявність багатофункціональності вимірювання/відтворення одиниць електричної потужності (енергії);
- * висока точність вимірювання/відтворення.

Зовнішній вид еталонного компаратора електричної потужності COM 3003 наведено на рис. 2, а генератора струму і напруги MT 3000 — на рис. 3.

За допомогою розробленої системи можна дистанційно калібрувати такі робочі еталони: PWS 2.3, PWS 2.3 PLUS, PWS 3.3, CheckMeter 2.3 (MTE-EMH, Німеччина), MT 30, MT 10, MT 300, MT 310, MT 365, MT 320, MT 365 (Zera GmbH, Німеччина), WS 2310A, WS 2310B, WS 2310C, WS 2110A (Applied Precision, Словаччина) тощо.



Рис. 2. Зовнішній вид компаратора електричної потужності COM 3003 ZERA GmbH



Рис. 3. Зовнішній вид генератора струму і напруги MT 3000 ZERA GmbH

Уся інформація, яка передається за мережею Інтернет, проходить алгоритм шифрування/дешифрування даних, який здійснюється за допомогою криптографічного алгоритму «Blowfish». Він реалізує блочне симетричне шифрування з довжиною ключа від 32 до 448 біт [9].

Універсальністю розробленого спеціалізованого ПЗ є те, що алгоритм процедури калібрування ЛЕЕ прописано поза тілом програми в окремому файлі, що дозволяє створювати безліч процедур калібрування для різних типів ЛЕЕ. Істотною перевагою цього ПЗ є те, що воно ідентифікує ЗВТ, які задіяно під час калібрування.

Після закінчення калібрування ЛЕЕ основна програма формує протокол з результатами вимірювань і загальною невизначеністю результатів вимірювань. Уся інформація стосовно калібрування записується до спеціальної бази даних, а саме: організаційні дані (дата, ким і кому проведено калібрування ЛЕЕ, тип і заводські номери ЛЕЕ, які калібровано, тощо), результати вимірювань і загальна невизначеність.

Зовнішній вид розробленої СДК робочих еталонів одиниць електричної енергії та потужності (високоточних цифрових ЛЕЕ) представлено на рис. 4.

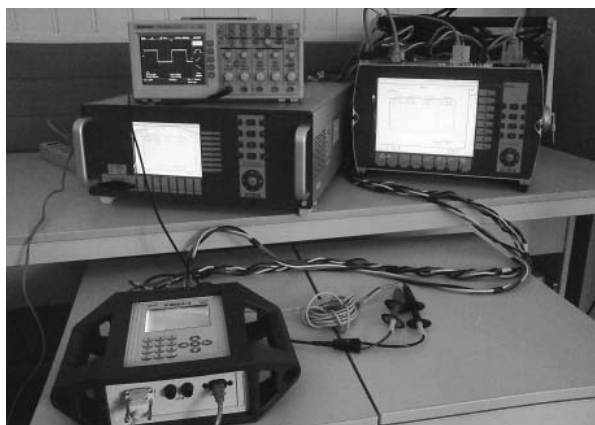


Рис. 4. Зовнішній вид розробленої системи дистанційного калібрування

2. ОЦІНЮВАННЯ СКЛАДОВИХ РОЗШИРЕНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Калібрувальні та вимірювальні можливості державного еталона ДЕТУ 08-08-02 [18] наведено у табл. 1.

Модель вимірювання за калібрування ЛЕЕ у відносній формі має такий вид [19, 20]:

$$\hat{P}_x = P_{0r} + \delta_{CKBr} + \theta_{COM3003} + \theta_{MT3000} + \theta_{MT3000Buster} + \delta_T + \delta_\phi + \delta_f + \delta_V,$$

де P_{0r} — дійсне значення електричної потужності (у відносній формі); δ_{CKBr} — значення середньоквадратичного відхилення результату калібрування ЛЕЕ; $\theta_{COM3003}$ — невизначеність еталонного компаратора електричної потужності COM 3003 (із сертифіката калібрування у відносній формі); θ_{MT3000} — невизначеність генератора струму і напруги MT 3000 (із сертифіката калібрування у відносній формі); $\theta_{MT3000Buster}$ — невизначеність підсилювача струму до 120 А MT 3000 Buster (із сертифіката калібрування у відносній формі); δ_T — невизначеність температурної нестабільності вимірювача параметрів повітря навколишнього середовища; δ_ϕ — невизначеність відхилення кута зсуву фаз між струмом і напругою; δ_f — невизначеність нестабільності частоти живлення; δ_V — невизначеність нестабільності напруги живлення.

Вираз для стандартної комбінованої невизначеності має вид:

$$u_c(P) = \sqrt{u_A^2(P) + \sum_{i=1}^7 u_{B_i}^2(P)} = \sqrt{\delta_{CKBr}^2 + 0,000025}.$$

Таблиця 1. Калібрувальні та вимірювальні можливості державного еталона ДЕТУ 08-08-02

Сервіс калібрування і вимірювання	Діапазон вимірювання, Вт	Умови вимірювання	Відносна розширена невизначеність*
Активна потужність змінного струму (однофазна)	1—600	Напруга: 10—600 В Струм: 0,1—10 А	PF = 1,0: 30 мкВт/Вт PF = 0,5: 50 мкВт/Вт
Активна потужність змінного струму (трифазна)	1—10392	Частота: 40—70 Гц Коефіцієнт потужності (PF): 1,0; 0,5 (ємнісний); 0,5 (індуктивний)	

* Рівень довіри 95 %, коефіцієнт охоплення $k = 2$.

Таблиця 2. Бюджет стандартної комбінованої відносної невизначеності для калібрування високоточних цифрових ЛЕЕ

Вхідна величина x_i	Оцінення вхідної величини	Стандартна відносна невизначеність, $u(x_i)$	Закон розподілу	Коефіцієнт чутливості, $\frac{\partial \Delta}{\partial x_i}$	Внесок відносної невизначеності
δ_{CKBr}	δ_{CKBr}	$u_A(P)$	Нормальний	1,0	δ_{CKBr}
$\theta_{COM3003}$	0,000026	$u_{B1}(P)$	Нормальний	1,0	0,000026
θ_{MT3000}	0,004	$u_{B2}(P)$	Нормальний	1,0	0,004
$\theta_{MT3000Buster}$	0,003	$u_{B3}(P)$	Нормальний	1,0	0,003
δ_T	0,004	$u_{B4}(P)$	Нормальний	0,1	0,0004
δ_ϕ	0,000012	$u_{B5}(P)$	Нормальний	1,0	0,000012
δ_f	0,000015	$u_{B6}(P)$	Нормальний	0,2	0,000003
δ_V	0,000139	$u_{B7}(P)$	Нормальний	0,2	0,000028
$u_c(P)$					$u_c(P)$

Бюджет стандартної комбінованої відносної невизначеності для калібрування високоточних цифрових ЛЕЕ наведено у табл. 2.


Розширена відносна невизначеність за рівня довіри 95 % та коефіцієнта охоплення $k = 2$ має вид:

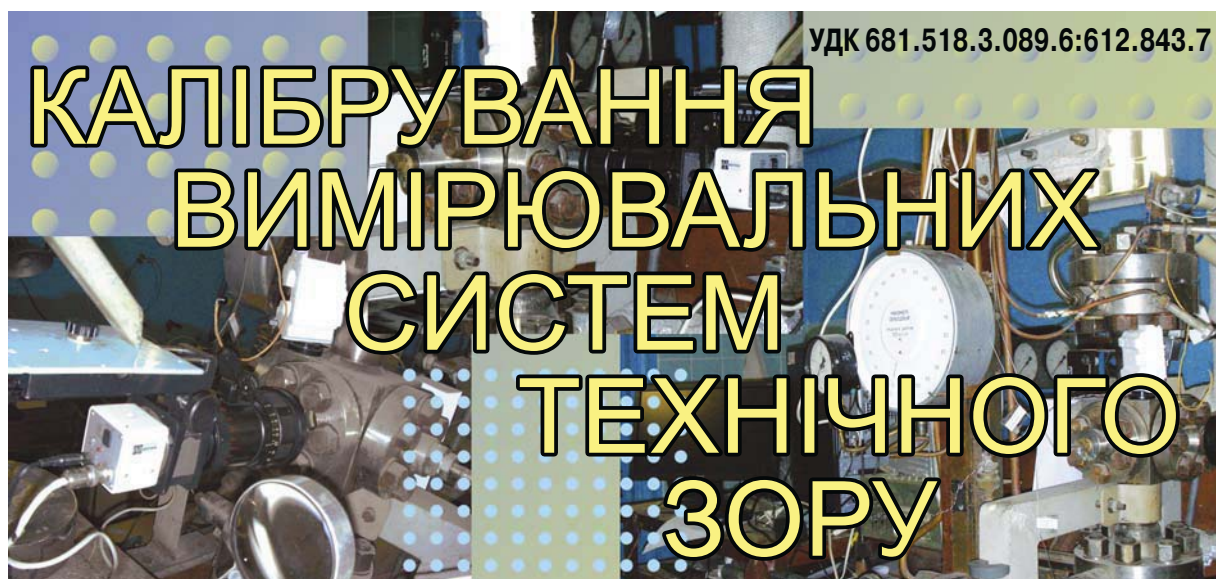
$$U(P) = ku_c(P) = 2\sqrt{\delta_{\text{СКВ}}^2} + 0,000025.$$

ВИСНОВКИ

Створено й апробовано СДК високоточних цифрових ЛЕЕ, яка дозволяє зменшити витрати часу на здійснення калібрування і вирішити проблеми транспортування лічильників від замовника до КЛ, що є перевагою такого виду калібрування.

ЛІТЕРАТУРА

1. O'Dowd R., Maxwell D., Farrell T., Dunne J. Remote Characterization of Optoelectronic Devices Over the Internet // Proceedings of 4th Optical Fibre Measurement Conference. — October 1997. — NPL, Teddington, UK. — P. 155—158.
2. Baca L. B., Duda L., Walker R., Oldham N., Parker M. Internet-Based Calibration of a Multifunction Calibrator // National Conference of Standards Laboratories. — 2000. — April. — Toronto, Ontario, Canada. — 10 p.
3. Sand A., Slide H. Secure control of instruments via the Internet // CPEM 2004 Conference Digest. — London, UK, June 2004. — P. 636—637.
4. Yoshida H. Present status of «e-trace» // NMIJ—BIPM Workshop on the Impact of Information Technology in Metrology. — AIST Tsukuba, May 2005. — P. 18—20. — WS-01.
5. Rietveld G. Internet enabled maintenance of an electrical multifunction calibrator // Joint International IMEKO TC1+TC7 Symposium. — Ilmenau, Germany, September 2005. — CD.
6. Величко О. М. Калібровка засобів вимірювальної техніки через Інтернет: стан і перспективи впровадження // УМЖ. — 2006. — № 1. — С. 45—49.
7. Величко О. Н. Особенности внедрения современных информационных технологий в аккредитованных лабораториях // Тез. докл. Межд. науч.-техн. конф. «Метрология и метрологическое обеспечение». — Минск, 2007. — С. 30—34.
8. Величко О. М., Коломієць Л. В., Гордієнко Т. Б. Калібрування засобів вимірювальної техніки: основи і нормативне забезпечення. Підручник. — Одеса: ВМВ, 2011. — 338 с.
9. Величко О., Гурін Р. Калібрування цифрових мультиметрів і калібраторів електричних сигналів із застосуванням мережі Інтернет // Метрологія та прилади. — 2011. — № 5. — С. 51—55.
10. Величко О., Фешук Д. Спеціалізована система для Інтернет-калібрування засобів вимірювання електричних величин // Метрологія та прилади. — 2011. — № 6. — С. 51—55.
11. Величко О. М., Карпенко С. Р., Гурін Р. В. Дистанційне калібрування аналізаторів якості електричної енергії // Інформаційно-вимірювальні технології в метрології, технічне регулювання та менеджмент якості. — 36. праць 3-ї Всеукраїн. наук.-практ. конф. ОДАТЯ (30—31 травня 2013 р.). — Одеса, 2013. — С. 135—141.
12. Величко О., Гордієнко Т., Анохін Ю. Особливості нормативного забезпечення організаційно-технічних систем дистанційного калібрування засобів вимірювальної техніки // Стандартизація, сертифікація, якість. — 2013. — № 2. — С. 27—33.
13. Величко О., Анохін Ю. Виконання вимог міжнародного стандарту ISO/IEC 17025 при дистанційному калібруванні засобів вимірювальної техніки // Метрологія та прилади. — 2013. — № 2 II (40). — С. 37—41.
14. Amicone D., Bernieri A., Betta G., Ferrigno L., Laracca M. On the Remote Calibration of Electrical Energy Meters // 16th IMEKO TC 4 Symposium «Exploring New Frontiers of Instrumentation and Methods for Electrical and Electronic Measurements». — Florence, Italy (Sept. 22—24, 2008). — 6 p.
15. Amicone D., Bernieri A., Ferrigno L., Laracca M. A smart add-on device for remote calibration of electrical energy meters // Proceedings of the IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC'09). — Singapore (21—23 May 2009). — IEEE, 2009. — 6 p.
16. Çayci H. Final report on key comparison EURAMET. EM-K5.1 (EURAMET Project No. 687): Comparison of 50/60 Hz power // Metrologia. — 2011. — Vol. 48. Tech. Sup. 01009.
17. Çayci H. Linking the Results of Key Comparison CCEM-K5 and EURAMET.EM-K5.1. — Comparison of 50/60 Hz Power. — March 2011. — 28 p.
18. http://kcdb.bipm.org/AppendixC/EM/UA/EM_UA.pdf.
19. Velychko O., Karpenko S., Gachok V. Uncertainty evaluation of calibration of the working standard of electrical power with using of the State standard of the unit of electrical power. — Lecture Notes in Information Technology. — Hong Kong, 2012. — Vol.13. — P. 293—298.
20. Velychko O., Karpenko S., Gachok V. Evaluation of the uncertainty of calibration of the three phase high precision comparator of the electrical power // 19th Symposium IMEKO TC 4 Symposium and 17th IWADC Workshop Advances in Instrumentation and Sensors Interoperability. — Barcelona, 2013. — P. 41—46. 



В. Нікішин, викладач кафедри технології вимірювань та оцінювання,
Севастопольський національний університет ядерної енергії й промисловості

*Розглянуто питання калібрування
вимірювальних систем технічного зору
(СТЗ) за допомогою калібрувальної сітки.*

*Article describe a calibration procedure
for measurement machine vision system
by using calibrated grid image sample.*

СТЗ широко використовуються під час відеоспостережень, ідентифікації об'єктів за зображенням, неруйнівного контролю поверхней, вимірювань лінійних та кутових величин за допомогою зображень, представлених у цифровому або аналоговому видах.

У зв'язку з тим, що СТЗ є специфічними засобами вимірювальної техніки, застосовуваними, в основному, для отримання якісних характеристик, в існуючих публікаціях відносно рідко зустрічається інформація щодо точнісних характеристик таких систем. Це може бути наслідком конкуренції між виробниками як устаткування, так і програмного забезпечення. Існує достатньо великий список фірм-виробників вимірювальних СТЗ, але у частині стосовно характеристик точності СТЗ інформація обмежується лише загальними рекламними деклараціями.

Разом з тим, у випадку використання СТЗ для специфічних завдань, наприклад у процесах досліджень фаз теплоносія, важливо знати й урахувати джерела похибок [1, 2].

Один із провідних виробників вимірювального устаткування, у тому числі й СТЗ, фірма «National Instruments™» у цьому питанні є відкритішою й надає програмний шлях (спосіб) виключення похибок під час вимірювання площі проекції парової фази у теплоносії у виді міхурів, що фіксуються СТЗ.

Калібрування здійснюється за допомогою еталонного зображення — калібрувальної сітки, яка розміщується у місці подальших вимірювань.

Відомо [3], що в епоху аналогового телебачення подібний спосіб використовувався для корекції й налаштування електронно-променевих трубок телевізорів за допомогою телевізійної випробувальної таблиці. За її допомогою коректувалися спотворення геометричні й передавання кольору (рис. 1).

Для СТЗ характерними є похибки, обумовлені оптичною системою лінз — 1; ефектом перспективи — 2; помилкою зсуву щодо спостережуваного об'єкта — 3 (рис. 2).

Вплив ефекту перспективи на отримуване зображення можна показати за допомогою рис. 3.



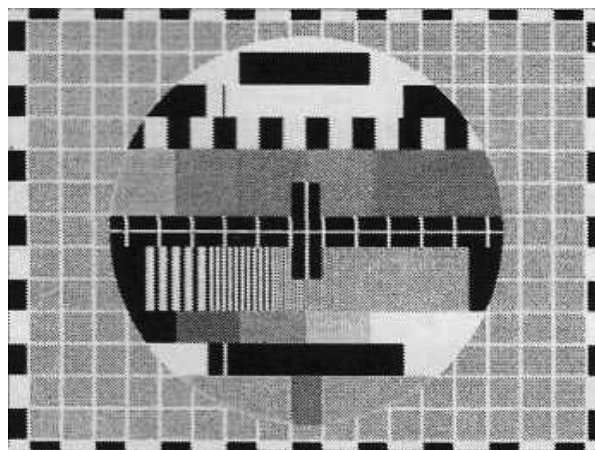


Рис. 1. Телевізійна випробувальна таблиця

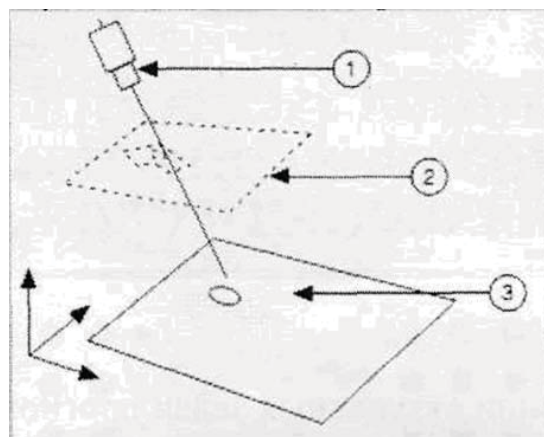


Рис. 2. Характерні для СТЗ джерела похибок

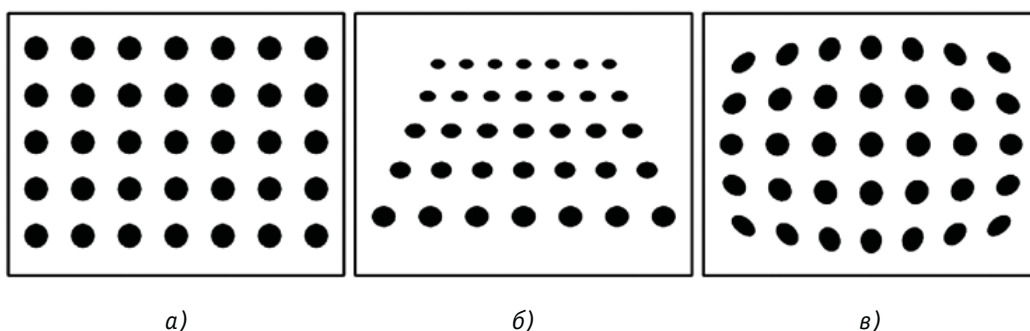


Рис. 3. Вплив перспективи на зображення:

- а) калібрувальна сітка; б) помилка перспективи, зумовлена нахилом відеокамери;
в) нелінійні помилки, зумовлені системою лінз

Нелінійні спотворення геометрії звичайно представляються у виді радіального зсуву від центру.

Для усунення зазначених вище джерел похибок, характерних для СТЗ, використовують метод внесення програмного виправлення (рис. 4).

Для еталонного зображення використовують калібрувальну сітку з нанесеними опорними точками. Алгоритм внесення виправлення полягає у лінеаризації відстаней dx і dy між центрами опорних точок.

Операція калібрування здійснюється один раз перед використанням СТЗ у вимірювальних завданнях.

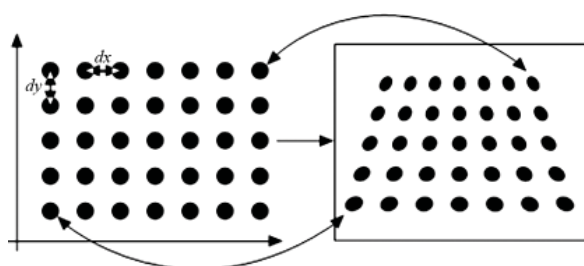


Рис. 4. Усунення похибки, обумовленої ефектом перспективи

У зв'язку з тим, що аналізування і вимірювання проводяться за цифровими зображеннями, слід зазначити, що, приміром, вимірювання лінійного розміру досліджуваного об'єкта полягає у визначенні кількості пікселів, що припадають на вимірювану ділянку. Проте, можливе перетворення в одиниці вимірювання системи SI. Для цього на етапі калібрування програмно встановлюють відповідність між лінійними розмірами dx і dy у пікселях цифрового зображення й розмірами в одиницях системи SI (рис. 5).

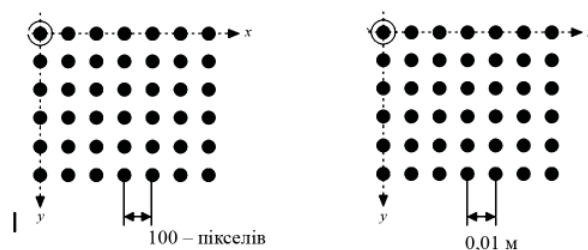


Рис. 5. Перетворення лінійних розмірів із координатної системи цифрового зображення в координатну систему реального об'єкта

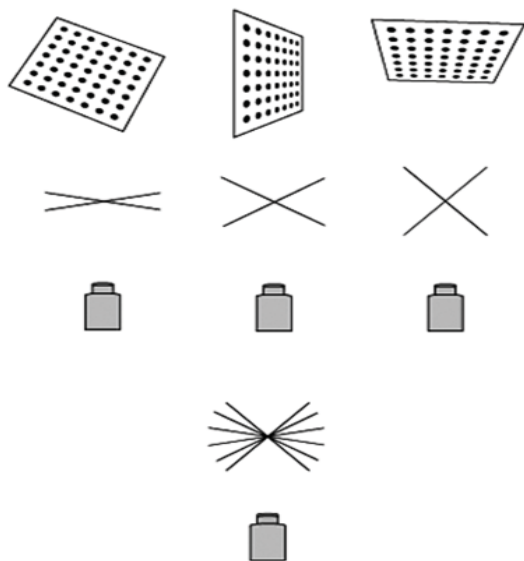


Рис. 6. Калібрування СТЗ

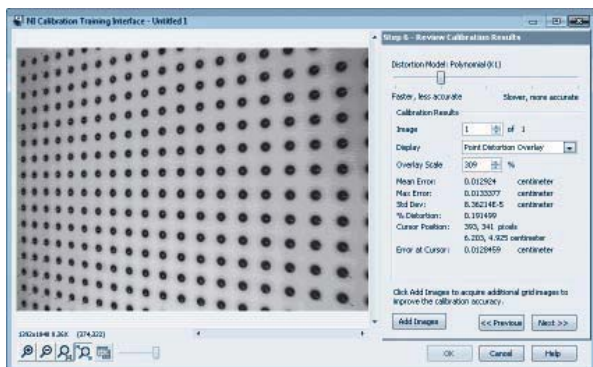


Рис. 7. Зовнішній вид вікна програмного забезпечення побудови карти похибок СТЗ

Перед проведенням вимірювань площі за допомогою калібрувальної сітки визначаються карти похибок для застосовуваної відеокамери.

Карта похибок — це оцінки помилки зсуву, яку слід очікувати у разі перетворення розмірностей із пікселів у систему SI. Карта похибок є масивом, що містить очікувану помилку зсуву для кожного пікселя цифрового зображення. Теоретично помилку зсуву можна розрахувати за такою формулою [4]:

$$e(i, j) = \sqrt{(x - x_d)^2 + (y - y_d)^2},$$

де x — горизонтальна координата пікселя; x_d — дійсна горизонтальна координата пікселя; y — вертикальна координата пікселя; y_d — дійсна вертикальна координата пікселя. Отже, можна узагальнити процес калібрування СТЗ:

1. Розмістити калібрувальну сітку в передбачувану область вимірювання.
2. Використовуючи програмне забезпечення, сфотографувати калібрувальну сітку за різних її положень (рис. 6).

3. Використовуючи програмне забезпечення, необхідно досягти повного розпізнавання калібрувальної сітки (рис. 7).

4. Використовуючи програмне забезпечення, побудувати карту похибок. Карта похибок показує спотворення нелінійної й перспективи для використовуваної відеокамери. На рис. 7 показано коригувальні вектори, напрямки і довжини вектора підбираються у такий спосіб, щоб досягти лінеаризації всього зображення, тобто в остаточному підсумку отримати оригінальну сітку без спотворень.

Якщо етап калібрування проведено успішно, результат подальшого вимірювання площі проєкції об'єктів на цифровому зображенні буде виправлено згідно з отриманою картою похибок уведенням виправлення.

У такий спосіб етап калібрування призначено, по-перше, для отримання співвідношення розмірностей системи SI з одиницями цифрового зображення — пікселями. По-друге, калібрування дозволяє визначити виправлення для кожного пікселя зображення.

Усі зазначені вище пункти етапу калібрування можливо провести за допомогою середовища *NI Vision Builder for Automated Inspection*, у якому створювалося програмне забезпечення для визначення площі проєкції парових міхурів.

ВИСНОВКИ

Використання еталонної калібрувальної сітки дозволяє виключити лінійні й нелінійні спотворення, внесені оптичною частиною СТЗ. Розглянутий спосіб калібрування СТЗ рекомендується застосовувати для процесів дослідження теплоносія на етапах проєктування довгострокової експлуатації ядерних реакторів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Маловик К.І., Нікішин В.В. Використання систем технічного зору для дослідження параметрів ядерних реакторів // Метрологія та прилади. — 2010. — № 2. — С. 25—27.
2. Попов И.А., Ловягин В.А., Сайда Д.М., Матузаев К.Б. Оптическая измерительная система технического зрения для измерения истинных характеристик двухфазного потока // Труды 2-й Российской конференции по тепломассообмену. — 1998. — С. 489.
3. ГОСТ 14872-82. Таблицы испытательные оптические телевизионные. Типы, размеры и технические требования.
4. NI VISION. Concepts manual, 11500 North Mopac Expressway Austin, Texas USA.

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ РЕАЛІЗАЦІЇ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДОППЛЕРІВСЬКОГО МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ РІДИНИ

УДК 004.9:532.57:534-8

В. Козлов, кандидат технічних наук, доцент кафедри інформатики та прикладних інформаційних технологій, Академія внутрішніх військ МВС України, м. Харків

С. Недзельський, кандидат технічних наук, головний метролог,

А. Стеценко, директор,
АТ «Енергооблік», м. Харків

*Розглянуто питання
можливості реалізації
ультразвукового доплерівського
методу вимірювання та
обліку витрати рідини
з використанням сучасних
інформаційних технологій.*

*The questions about
realization the feasibility
for ultrasonic Doppler method
of liquid flow measuring
and accounting using modern
information technology
are considered.*



В. Козлов

У Національній енергетичній програмі України [1] відзначено, що «щорічно на житлові, комунальні та побутові потреби населення України витрачається п'ята частина паливних ресурсів та електроенергії й третина теплової енергії, які використовуються в економіці, тобто за обсягами енергоспоживання ця галузь займає третє місце після енергетики та чорної металургії».

Закордонний досвід свідчить стосовно комплексного упровадження заходів з енергозаощадження, зокрема, оснащення всіх енергоприймачів пристроями вимірювання, обліку та регулювання, упровадження оплати вартості енергетичних та інших ресурсів, яка відповідає реальним витратам. Така стратегія суттєво впливає на скорочення споживання палива, енергії, інших ресурсів в економіці та невиробничій сфері.

Потреба в економії усіх видів ресурсів в Україні обумовлює необхідність їх комерційного та технологічного обліку [1, 2]. Для цього використовують витратоміри і побудовані на їх основі лічильники з різними первинними перетворювачами: механічними, електромагнітними, вихровими, ультразвуковими. Прилади з ультразвуковими перетворювачами протягом останніх років набувають широкого поширення і є одними з найбільш перспективних. Вони можуть використовуватися для вимірювання та обліку води, кислоти, луги, горючих рідин тощо [2—6].

Ультразвукові методи вимірювання витрат умовно поділяють на дві групи [3, 6]:

- методи, що використовують залежність швидкості розповсюдження ультразвукової хвилі від швидкості та напрямку потоку вимірюваного середовища,



С. Недзельський



А. Стеценко

застосовуються для вимірювання витрат чистих рідин, які містять незначну кількість домішок;

- методи, засновані на ефекті Доплера, що використовують зміни, які виникають у разі відбиття ультразвукової хвилі від неоднорідностей вимірюваного плинного середовища рідини типу стічних вод, пульпи тощо.

Тенденції розвитку засобів вимірювання та обліку витрати плинних середовищ передбачають широке застосування сучасних інформаційних технологій: інформація з первинних перетворювачів опрацьовується за допомогою засобів цифрової техніки [2, 5]. Як останні використовують спеціалізовані засоби (мікропроцесори, пристрої з жорсткою логікою роботи тощо), а також персональні комп'ютери, які дозволяють створювати так звані віртуальні прилади [7—9].

Це обумовлює актуальність і мету статті — розглянути можливість побудови ультразвукового доплерівського витратоміра з цифровим опрацюванням вимірювальної інформації.

СУТНІСТЬ МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ

Розглянемо сутність методу вимірювання витрати речовини, пов'язаного з ефектом Доплера [2—6].

На відрізок трубопроводу накладено зовні призми з передавальним та приймальним датчиками (п'єзоелементами) під кутом α_n до потоку вимірюваної речовини (рис. 1).

Точковий розсіювач, що рухається уздовж осі труби зі швидкістю V , опромінюється сигналом з частотою ω_0 під кутом α_p до вертикалі. Частота прийнятого відбитого сигналу визначається співвідношенням [4]:

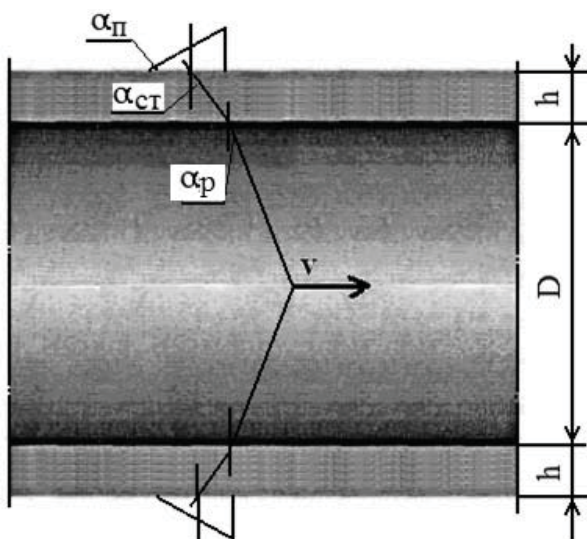


Рис. 1

$$\omega_d = \omega_0 \frac{(1 - V \cdot \sin \alpha_p) / C_p}{(1 + V \cdot \sin \alpha_p) / C_p}, \quad (1)$$

де C_p — швидкість поширення ультразвукових хвиль у рідині.

Якщо другий співмножник у (1) розкласти у степеневий ряд і взяти різницю $\Delta\omega = \omega_0 - \omega_d$, отримаємо так званий локаційний варіант формули ефекту Доплера:

$$\Delta\omega = 2\omega_0 \sum_{n=1}^{\infty} (V \cdot \sin \alpha_p / C_p)^n. \quad (2)$$

Як правило, $V \ll C_p$, тоді можна обмежитися лінійним наближенням

$$\Delta\omega = 2\omega_0 (V \cdot \sin \alpha_p / C_p). \quad (3)$$

Відповідно до закону Снелліуса [3]:

$$V = C_{TC} / (\sin \alpha_{TC}) = C_n / \sin \alpha_n = f(\alpha_n, C_n) = \text{const}. \quad (4)$$

Тут C_n — швидкість ультразвуку в матеріалі призми; α_n — кут між вертикаллю і напрямком уведення ультразвукових коливань у стінку трубопроводу, який дорівнює куту призми датчиків.

Із виразу (3) з урахуванням (4) випливає:

$$V = \Delta\omega \cdot f(\alpha_n, C_n) / 2\omega_0, \quad (5)$$

тобто, швидкість розсіювача V прямо пропорційна величині доплерівського зсуву і не залежить від швидкості ультразвуку в рідині.

За реальних умов у формуванні сигналів об'ємного розсіювання бере участь сукупність розсіювачів різної природи, випадково розташованих у потоці. Тому можна розглядати певний «доплерівський спектр», що відображає розподіл прийнятої енергії як функції радіальних швидкостей розсіювачів. Якщо у будь-який спосіб оцінити «центр тяжіння» спектра відбитого сигналу $\Delta^*\omega$, то для реальних розрахунків можна застосовувати вираз (5), де замість величини доплерівського зсуву $\Delta\omega$ використовується значення $\Delta^*\omega$.

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ «ЦЕНТРА ТЯЖІННЯ»

Розглянемо декілька методів визначення «центра тяжіння» доплерівського спектра.

1. *Вирішення завдання визначення $\Delta^*\omega$ методами нечіткої математики передбачає виконання процедури, аналогічної дефазіфікації [10—12] загальної процедури нечіткого виводу.*

Сутність цієї процедури така.

На першому етапі на основі заданих чітких значень $x_{\text{зад}}$ із їх універсумів за допомогою функцій належності (ФН) $\mu(x)$ формується єдина нечітка множина як результат композиції декількох нечітких множин, отриманих за певними правилами (рис. 2).



Рис. 2

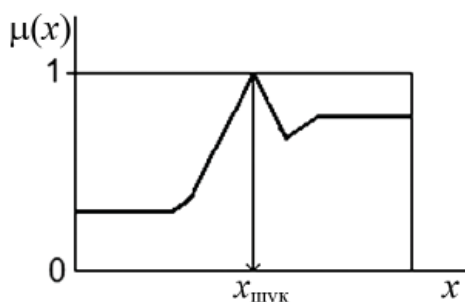


Рис. 3

На другому відшукується точне значення описаної єдиною нечіткою множиною змінної, що аналізується. Пошук рішення є аналогічним визначенню характеристик положення (математичного сподівання, моди, медіани) випадкових величин у теорії ймовірностей. Приклад для простішого випадку — вибору чіткого значення $x_{\text{шук}}$, відповідного максимуму результувальної ФН (рис. 3).

Дефазифікація результувальної ФН за наявності максимуму ускладнює не зумовлює (рис. 3). Більш складний випадок — відсутність явного максимуму результувальної ФН. Тоді рішення знаходять одним із таких методів [12]:

- середнього максимуму;
- першого максимуму;
- останнього максимуму;
- центра тяжіння;
- центра сум (додатків);
- висот.

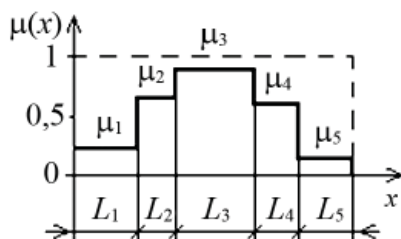


Рис. 4

Із зазначених вище методів для прямокутних ФН (результатів вимірювань певної фізичної величини неатестованим або новорозробленим приладом, що містить невизначеність) в області визначення результувальної ФН раціональним є використання методу центра тяжіння. У цьому випадку (рис. 4):

$$x_{\text{шук}} = \frac{\sum_{i=1}^m \mu_i L_i x_i}{\sum_{i=1}^m \mu_i L_i}, \quad (6)$$

де μ_i — i -та складова ФН; L_i — ширина i -тої складової ФН; x_i — модальне значення i -тої складової ФН.

За однакової ширини складових ФН

$$x_{\text{шук}} = \frac{\sum_{i=1}^m \mu_i x_i}{\sum_{i=1}^m \mu_i}. \quad (7)$$

Однакової ширини інтервалів неважко домогтися шляхом розбиття кожного із них на менші відрізки приблизно однакової ширини ΔL , для яких у межах L_i значення μ_i також буде однаковим.

Замість модального значення можна взяти середину i -го інтервалу

$$x_i = (x_{\text{ин}} + x_{\text{ик}})/2, \quad (8)$$

де $x_{\text{ин}}$, $x_{\text{ик}}$ — відповідно початок і кінець i -тої складової ФН.

ПРИКЛАД РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДУ

Вимірюється у деякий спосіб сукупність однорідних фізичних величин. Множину усереднених оцінень результатів вимірювання подамо об'єднанням множин оцінень A , B і C відповідно в інтервалах $[2,00—3,00)$, $(3,00—4,00)$, $(4,00—5,00]$:

$$Q = A \cup B \cup C. \quad (9)$$

Цій множині відповідає записана у термінах теорії нечітких множин ФН

$$\mu_Q(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x), \mu_C(x)). \quad (10)$$

Тут числові значення ФН $\mu_A(x)$, $\mu_B(x)$ і $\mu_C(x)$ отримані як результати n_A , n_B , n_C підрахунку результатів вимірювань, що потрапили у відповідні інтервали, нормовані до максимальної кількості оцінень у діапазоні 2—5:

$$\mu_A(x) = n_A/n_{\text{max}};$$

$$\mu_B(x) = n_B/n_{\text{max}};$$

$$\mu_C(x) = n_C/n_{\text{max}};$$

$$n_{\text{max}} = \max(n_A, n_B, n_C).$$

Припустимо, що результувальна ФН (рис. 5) цих оцінень має вид:

$$\mu(Q_{2-5}) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 2 \leq x < 3; \\ 1, & \text{якщо } 3 \leq x < 4; \\ 1, & \text{якщо } 4 \leq x \leq 5. \end{cases} \quad (11)$$

Тоді, відповідно до (7), маємо $x_{\text{шук1}} = 3,5$.

Для результувальної ФН (рис. 6,а)

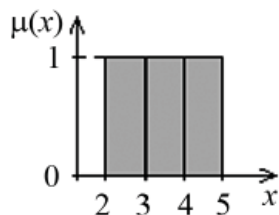


Рис. 5

$$\mu(Q_{2-5}) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 2 \leq x < 3; \\ 0,6, & \text{якщо } 3 \leq x < 4; \\ 0,4, & \text{якщо } 4 \leq x \leq 5; \end{cases} \quad (12)$$

$$x_{\text{шук}2} = 3,2.$$

Для результувальної ФН (рис. 6,б)

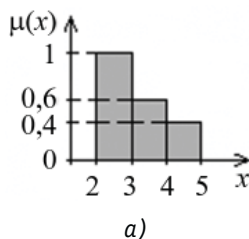
$$\mu(Q_{2-5}) = \begin{cases} 0,4, & \text{якщо } 2 \leq x < 3; \\ 0,6, & \text{якщо } 3 \leq x < 4; \\ 1, & \text{якщо } 4 \leq x \leq 5; \end{cases} \quad (13)$$

$$x_{\text{шук}3} = 3,8.$$

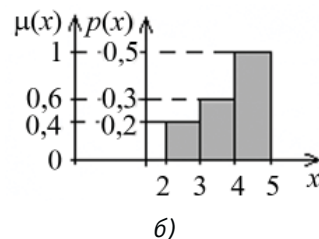
За стохастичної невизначеності математичне сподівання випадкових величин, що характеризують розподіли, аналогічні розглянутим вище результувальним ФН (рис. 5, 6), можна розрахувати за відомою формулою:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^m x_i p(x_i), \quad (14)$$

$$\text{де } \sum_{i=1}^m p(x_i) = 1.$$



а)



б)

Рис. 6

При цьому отримаємо аналогічні результати:

$$\bar{x}_1 = (2,5 + 3,5 + 4,5) \cdot \frac{1}{3} = 3,5 = x_{\text{шук}1};$$

$$\bar{x}_2 = 2,5 \cdot 0,5 + 3,5 \cdot 0,3 + 4,5 \cdot 0,2 = 3,2 = x_{\text{шук}2};$$

$$\bar{x}_3 = 2,5 \cdot 0,2 + 3,5 \cdot 0,3 + 4,5 \cdot 0,5 = 3,8 = x_{\text{шук}3}.$$

Це є підтвердженням того, що для визначення точного чисельного значення результувальної ФН як характеристики положення допускається використання середнього арифметичного [13].

Отриманий висновок, застосований для вирішення завдання визначення «центра тяжіння» доплерівського спектра, означає, що розрахунки можна виконувати за формулою:

$$\Delta^* \omega = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \omega_{Di}, \quad (15)$$

де ω_{Di} — сукупність прийнятих доплерівських частот.

Визначення основної відносної похибки визначення об'єму рідини

№	Витрата, м³/год	Температура, °C	Тиск, кПа	Час, хв:с	Показання установки		Показання ЗВТ, що повіряється			Відносна похибка, %	Границя відносної похибки, %
					N, імп.	V, л.	N, імп.	V, л.	Q, м³/год		
1	36,00	29,9	37,3	01:40	19897	994,85	5047	1009,40	36,34	1,46	± 2,0
2	36,00	30,0	36,8	01:40	19866	993,30	5002	1000,40	36,01	0,71	
3	28,00	30,4	32,8	01:40	15445	772,25	3858	771,60	27,78	- 0,08	
4	28,00	30,4	31,6	01:40	15444	772,20	3786	757,20	27,26	- 1,94	
5	28,00	30,4	32,8	01:40	15475	773,75	3830	766,00	27,58	- 1,00	
6	20,00	30,8	34,0	01:40	10821	541,05	2705	535,60	19,48	- 1,01	± 4,0
7	20,00	30,8	34,6	01:40	10845	542,25	2685	556,00	19,33	2,57	
8	20,00	30,7	34,0	01:40	10845	542,25	2708	536,20	19,50	- 1,12	
9	10,00	30,7	34,4	01:40	5538	276,90	1351	270,20	9,73	- 2,42	
10	10,00	30,8	34,5	01:40	5543	277,15	1422	284,40	10,24	2,62	
11	10,00	30,7	35,3	01:40	5538	276,90	1341	268,20	9,66	- 3,14	± 10,0
12	2,13	28,7	62,3	01:40	1181	59,05	315	63,00	2,27	6,69	
13	2,12	28,7	61,5	01:40	1178	58,90	321	64,20	2,31	9,00	
14	2,12	28,8	63,1	01:40	1176	58,80	319	63,80	2,30	8,50	
15	36,00	29,5	37,5	01:40	19914	995,70	5014	1002,80	36,10	0,71	

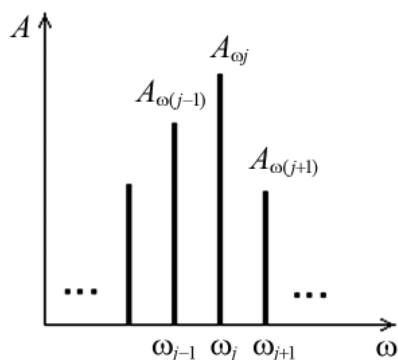


Рис. 7

2. «Центр тяжіння» доплерівського спектра можна оцінити також у такий спосіб.

У сукупності прийнятих доплерівських частот ω_{di} відшукується максимальне за амплітудою $A_{\omega j}$, попереднє $A_{\omega(j-1)}$ і наступне $A_{\omega(j+1)}$ значення (рис. 7).

Положення максимуму як оцінення «центра тяжіння» уточнюється за формулами параболічної трьохточкової інтерполяції [14]:

$$\Delta^* \omega = \omega_j + \Delta \omega_j, \quad (16)$$

$$\Delta \omega_j = \frac{A_{\omega(j-1)} - A_{\omega(j+1)}}{2(A_{\omega(j+1)} - 2A_{\omega j} + A_{\omega(j-1)})}. \quad (17)$$

Розглянуті методи визначення «центра тяжіння» доплерівського спектра забезпечують побу-

дову декількох варіантів цифрової схеми опрацювання.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Результати метрологічного дослідження (таблиця) системи обліку витрат рідини на базі доплерівського витратоміра УДР-011 показали задовільні значення відносної похибки вимірювання витрати рідини.

ВИСНОВКИ

Запропоновано варіанти реалізації ультразвукового доплерівського методу вимірювання та обліку витрати рідини з використанням сучасних інформаційних технологій. Результати метрологічних досліджень розробленої системи обліку показали, що розглянутий підхід, порівняно з існуючими витратомірами, дозволяє досягти прийнятної чутливості за високої завадостійкості й забезпечити вимірювання витрат навіть у трубопроводах зі значним терміном експлуатації, до яких належать, зокрема, системи забезпечення житлових, комунальних і побутових потреб.

Можливість побудови системи вимірювання та обліку витрати речовини на базі ультразвукового доплерівського методу із застосуванням сучасних інформаційних технологій підтверджено на практиці у процесі роботи витратоміра УДР-011 фірми «ТАХІОН» (Україна, м. Харків).

ЛІТЕРАТУРА

1. Про Комплексну державну програму енергозбереження України. Постанова Кабінету Міністрів України від 05.02.1997 № 148 [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу — www.darom.info/kompleksna_prog_1997-2010.doc.
2. Близнюк В. Ультразвуковые расходомеры и система учета на их основе / В. Близнюк, В. Костылев, В. Сорокопут, А. Стеценко, А. Стеценко // Современные технологии автоматизации. — 1998. — №2. — С. 70—73.
3. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / Под ред. И.П. Голяминой. — М.: Сов. энциклопедия, 1979. — 400 с.
4. Хамидуллин В.К. Ультразвуковые контрольно-измерительные устройства и системы / В.К. Хамидуллин. — Л.: Изд-во ЛГУ. 1989. — 249 с.
5. Хансуваров К.И. Техника измерения давления, расхода, количества и уровня жидкости, газа и пара / К.И. Хансуваров, В.Г. Цейтлин. — М.: Изд-во стандартов, 1990. — 278 с.
6. Чистяков В.С. Краткий справочник по теплотехническим измерениям / В.С. Чистяков. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 320 с.
7. Вышлов В.А. Персональные измерительные системы / В.А. Вышлов, В.А. Кузнецов, Е.Ю. Тимофеев // Измерительная техника. — 1995. — № 11. — 1996. — № 2, № 3.
8. Кузнецов В. А. Основы эксплуатации средств измерений / В.А. Кузнецов, А.Н. Пашков, О.А. Подольский и др.; под ред. Р.П. Покровского. — М.: Радио и связь 1984. — 184 с.
9. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы / П.П. Орнатский. — К.: Вища школа, 1986. — 503 с.
10. Борисов А.Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьев. — М.: Радио и связь, 1989. — 304 с.
11. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. — М.: Радио и связь, 1989. — 316 с.
12. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат; пер. с англ. — БИНОМ, 2011. — 798 с.
13. Орлов А.И. Эконометрика / А.И. Орлов. — М.: Экзамен, 2002. — 442 с.
14. Фильчаков П.Ф. Справочник по высшей математике / П.Ф. Фильчаков. — К.: Наук. Думка, 1974. — 744 с.

РЕЗЕРВУАРНИЙ ОБЛІК НАФТИ ТА НАФТОПРОДУКТІВ

УДК 547.912:621.642



Г. Народницький, доктор технічних наук, директор наукового центру,
ННЦ «Інститут метрології», м. Харків

Розглянуто особливості резервуарного обліку нафти та нафтопродуктів. Показано, що використання точних коріолісових лічильників може бути альтернативою вимірюванню маси й об'єму нафти і нафтопродуктів у залізничних і автомобільних цистернах опосередкованим методом статичних вимірювань, але не може забезпечити точного обліку цих рідин у резервуарах.

The discounting features of oil and oil products by storage tanks are considered. It was showing that the using of high-precision coriolis acceleration flowmeters may be the alternative of the measuring of oil and oil products mass and volume in railway tanks and in road-tankers by static measurements indirect method but it can not provide the good discounting of such liquids in tanks.

Вертикальні й горизонтальні сталеві циліндричні резервуари [1, 2] широко використовуються для зберігання та вимірювання об'єму й маси нафти та нафтопродуктів. Під час градування резервуарів отримують індивідуальні градувальні таблиці залежності місткості (внутрішнього об'єму) від рівня наповнення. Вимірювання об'єму рідини у резервуарах проводяться за допомогою засобів вимірювання рівня (рівнемірів, рулеток, метрштоків) і градувальних таблиць. Похибка вимірювання маси таким методом опосередкованих статичних вимірювань, за даними вимірювань об'єму і густини, складає, за певних умов, не більше $\pm 0,5 \%$ [3].

З появою високоточних лічильників рідини, зокрема коріолісових, з основною похибкою у значній частині діапазону витрати від $\pm 0,05$ до $\pm 0,2 \%$, обговорюється питання щодо обліку нафти і нафтопродуктів лише за даними цих лічильників, без застосування резервуарних вимірювань. Розглянемо його детальніше.

Основне призначення лічильників на нафтобазах — не облік, а забезпечення торговельних операцій. Резервуари з цією метою практично не використовуються [4]. Без лічильників торговельні операції проводяться за даними вимірювань маси отриманих нафти і нафтопродуктів у залізничних цистернах (зважуванням або за градувальними таблицями цистерн) і таких, що відпускаються в автомобільних цистернах відомої місткості. Отже, лічильники є одними із засобів вимірювальної техніки під час вимірювань маси у залізничних цистернах методом прямих або опосередкованих динамічних вимірювань [3] та можливими альтернативними для вимірювання маси в автомобільних цистернах, не передбаченими на сьогодні чинною



інструкцією [4]. Разом з тим об'єм і маса залишків нафти і нафтопродуктів у резервуарах визначається не для забезпечення торговельних операцій, а для обліку — як внутрішнього, так і здійснюваного органами державної виконавчої влади. За фінансовими документами визначаються отримані та витрачені кошти. За їхньою різницею визначаються кошти, які мають залишитися на підприємстві. Однак завжди при цьому перевіряється фактичний залишок коштів. Причому, якщо залишок коштів має точно дорівнювати різниці отриманих та витрачених коштів, то маса залишку нафти і нафтопродуктів, яку отримують як різницю результатів вимірювань лічильниками маси отриманих та відпущених цих рідин, може бути визначена лише з відносною похибкою $\delta_{m \text{ різн ліч}}$. Ця похибка дорівнює похибці лічильника $\delta_{m \text{ ліч}}$ лише у разі, якщо для залізничної й автомобільної цистерн використовується один лічильник на одній витраті. Якщо лічильники різні, то за даними опосередкованих вимірювань (операції віднімання) [5]:

$$\Delta_{m \text{ різн ліч}} = \pm 1,1\sqrt{2}\Delta_{m \text{ ліч}}, \quad (1)$$

де $\Delta_{m \text{ ліч}}$ та $\Delta_{m \text{ різн ліч}}$ — абсолютні похибки лічильника та визначення різниці об'ємів, відповідно.

Як правило, як похибка різниці результатів вимірювань використовується відносна похибка, яка дорівнює абсолютній похибці, віднесеній до маси отриманих або відпущених продуктів. Тоді

$$\delta_{m \text{ різн ліч}} = \pm 1,1\sqrt{2}\delta_{m \text{ ліч}}. \quad (2)$$

Вимірювання маси залишків нафти у резервуарах і магістральних трубопроводах є дуже важливим у задачах визначення балансу на підприємствах з транспортування нафти [6, 7]. Для якісного балансу похибки визначення маси лічильниками й за допомогою резервуарів мають бути близькими. За [3] похибка вимірювання маси нафти (брутто) та нафтопродуктів лічильниками не має перевищувати


$\pm 0,25\%$, а резервуарами (для маси ≥ 120 т — $\pm 0,5\%$, що є достатньо для забезпечення якісного балансу.

Відзначимо, що згідно з експлуатаційними документами основна похибка у значній частині діапазону вимірювань коріолісових лічильників становить від $\pm 0,05$ до $\pm 0,2\%$. Однак цілий ряд факторів може призвести до того, що за реальних умов експлуатації вона є більшою [8], і значення похибки $\pm 0,25\%$, що застосовується у [3], є виправданим. Так само розрахована похибка вимірювань маси рідини у резервуарах, за відносної похибки їх градування $\pm 0,1\%$ [1] та відносної похибки вимірювання густини рідини $\pm 0,1\%$, може бути меншою від $\pm 0,5\%$. Однак у випадку приймання (видачі) не дуже великих об'ємів рідини значення похибки $\pm 0,5\%$ є також виправданим.

Окремо слід розглянути вплив похибки рівнеміра, використовуваного під час резервуарних вимірювань, на похибку визначення маси нафти і нафтопродуктів у резервуарі для найбільш поширених рівнемірів з абсолютною похибкою. У методиках виконання вимірювань [9] показано, що у разі абсолютної похибки рівнеміра Δ_H , відносна похибка вимірювання маси брутто нафти не перевищує $\pm 0,5\%$, якщо різниця рівнів нафти у резервуарі на початку та у кінці торговельної операції $|H_{\text{макс}} - H_{\text{мін}}| \geq 600 \Delta_H$. Для $\Delta_H = \pm 1$ мм, $|H_{\text{макс}} - H_{\text{мін}}| \geq 0,6$ м, для $\Delta_H = \pm 3$ мм, $|H_{\text{макс}} - H_{\text{мін}}| \geq 1,8$ м. Для резервуара місткістю 2000 м³, 0,6 м за рівнем відповідає об'єму, близькому 100 м³ або десяти автомобільних цистерн. Перехід від $\Delta_H = \pm 1$ мм до $\Delta_H = \pm 3$ мм призводить до неможливості розрахунку балансу для відпуску менше, ніж тридцяти автомобільних цистерн.

Отже визначення балансу під час обліку нафти і нафтопродуктів є неможливим без правильних вимірювань у резервуарах, при цьому дуже важливо застосовувати високоточні рівнеміри.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 4147:2003 (ГОСТ 8.570-2000, MOD). Метрологія. Резервуари сталеві вертикальні циліндричні. Методика повірки: Чинний з 01.01.2003. — К.: Держспоживстандарт України, 2002. — 65 с.
2. ДСТУ 4218:2003 (ГОСТ 8.346-2003, MOD). Метрологія. Резервуари сталеві горизонтальні циліндричні. Методика повірки: Чинний з 01.01.2004. — К.: Держспоживстандарт України, 2003. — 52 с.
3. ДСТУ 7094:2009 (ГОСТ 8.587-2006, MOD). Метрологія. Маса нафти та нафтопродуктів. Загальні вимоги до методик виконання вимірювання: Чинний з 01.04.2010. — К.: Держспоживстандарт України, 2009. — 25 с.
4. Інструкція № 805/15496 «Про порядок приймання, транспортування, зберігання, відпуску та обліку нафти і нафтопродуктів на підприємствах і організаціях України»: Зареєстр. Міністерством юстиції України 02.09.2008.
5. ГОСТ 24104-88. Весы лабораторные общего назначения и образцовые. Общие технические условия: Введ. 01.01.89. — М.: Изд-во стандартов, 1988. — 13 с.
6. СОУ 60.3.00013741-001:2007. Транспортування нафти. Розрахунок норм похибки балансу маси нетто нафти при облікових операціях. Правила.
7. МИ 2736-2002. Рекомендация. Нормы погрешности баланса сдаваемой и принимаемой массы нетто нефти по ОАО МН «АК «Транснефть». — Казань. — 2012. — 13 с.
8. Кравченко В. Измерения расхода с помощью кориолисовых расходомеров в случае двухфазного потока. Применение кориолисовых расходомеров в свете выхода ГОСТ Р 8.615:2005 / В. Кравченко, М. Риккен / Законодательная и прикладная метрология. — 2006. — № 4. — С. 37—44.
9. МПУ 03-98:2011. Метрологія. Маса нафти. Методики виконання измерений в резервуарах. 



УДК(528.563:53.089.5

В. Болюх, доктор технічних наук, професор кафедри загальної електроніки, НТУ «Харківський політехнічний інститут»,

А. Вінніченко, провідний інженер, вчений-зберігач Державного еталона, ННЦ «Інститут метрології», м. Харків

Представлено огляд сучасних абсолютних лазерних гравіметрів (АЛГ) та їхніх метрологічних характеристик за результатами міжнародних звірень варіантів конструкцій АЛГ, розроблених у різних країнах. Проаналізовано напрямки підвищення точності вимірювань прискорення вільного падіння (ПВП).

The review of modern absolute laser gravimeters and metrological characteristics by the results of international comparisons of design options absolute laser gravimeters developed in different countries is presented. The ways to increase of accuracy for measurements of free fall acceleration is analyzed.

АЛГ — це прилади для вимірювання абсолютного значення й варіацій ПВП у процесах розв'язку фундаментальних геофізичних, геодезичних і метрологічних задач, досліджень в астрономії. Створені транспортбельні АЛГ дозволяють підвищити ефективність гравіметричних робіт на пунктах фундаментальної астрономо-геодезичної та державної фундаментальної гравіметричної мереж, еталонних гравіметричних і геодинамічних полігонах, польових гравіметричних пунктах і виконувати вимірювання абсолютного значення ПВП з відносною похибкою порядку 10^{-9} . Стосовно метрологічної важливості вимірювань ПВП свідчить той факт, що з 1981 року в Міжнародному бюро з мір і вагів (BIPM) (Севр, Франція) кожні чотири роки проводяться Міжнародні звірення абсолютних гравіметрів (ICAG).

Абсолютні вимірювання ПВП із похибкою, нижчою від 10^{-6} , розпочато у другій половині двадцятого сторіччя Престоном-Томасом (Оттава, Канада, 1959 рік), Куком (Теддінгтон, Англія, 1963), Тейтоном (Прінстон, США, 1964). У 1963 році у BIPM під керівництвом А. Сакуми створено оригінальну установку для вимірювання g методом симетричного вільного руху, засновану на вимірюванні інтервалів шляху пробного тіла (ПТ) інтерференційним методом за допомогою еталонів Фабрі-Перо у білому світлі. Прорив у сфері абсолютної гравіметрії стався з появою високостабільних джерел когерентного випромінювання (лазерів). Найбільш плідно розробляння



В. Болюх



О. Вінніченко

й удосконалювання гравіметрів зазначеного класу здійснювалися у США під керівництвом професора Дж. Фаллера (гравіметри серії JILA_g і FG5) і в Інституті автоматики й електрометрії (ІАиЭ) Сибірського відділення РАН, Росія (гравіметри серії ГАБЛ і його модифікації). Період з 1975 року по 1995 рік характеризувався удосконалюванням методик побудови приладів і застосуванням нових технологій, що дозволило досягти точності вимірювань порядку декількох мікрогал ($1 \text{ мкГал} = 10^{-8} \text{ м/с}^2$) або відносної похибки порядку $10^{-9} g$ [1, 2].

Сучасні АЛГ

Проаналізуємо сучасні АЛГ, що мають найвищу точність вимірювання g . Найбільш широко використовуваними на сьогодні є гравіметри JILA_g, FG-5, A-10 (США) і ГАБЛ (Росія) з несиметричним способом вимірювання ПВП.

Принцип дії сучасних АЛГ (симетричний або несиметричний спосіб) засновано на балістичному методі вимірювання абсолютного значення ПВП. Визначається ПВП за результатами вимірювань шляху й часу вільного падіння оптичного куточкового відбивача, який є основним елементом конструкції ПТ гравіметра. Вимірювання шляху, пройденого ПТ, що вільно падає, у полі сили тяжіння Землі, здійснюється лазерним інтерферометром [3]. Мірою шляху слугує довжина хвилі випромінювання лазера, стабілізованого за атомним репером у спектрі його випромінювання, а мірою інтервалів часу є сигнали прецизійного, наприклад, рубідієвого стандарту частоти. Інтерферометричний метод визначення пройденого шляху вільного падіння ПТ використовує мітки часу у процесі вимірювань заданих інтервалів пройденого шляху ПТ, сформованих із сигналів рубідієвого стандарту частоти. АЛГ містить балістичний блок (ББ) з вакуумною камерою (ВК), у якій за допомогою пускового пристрою (катапульт) переміщується ПТ, вакуумний пост з іонним вакуумним насосом і віброзахисну систему.

Гравіметр JILA_g

Три покоління АЛГ на вільне падіння розроблені у США в Об'єднаному Інституті Астрофізичних Лабораторій (JILA) Дж. Фаллером зі співавторами у 1983 році [1]. У першому застосовувалися ПТ на вільне падіння (несиметрична траєкторія вимірювання) і лазер, стабілізований за провалом Лемба. У другому до конструкції додалася механічна каретка у виді камери, яка ізолювала ПТ за вільного падіння від молекулярного потоку залишкового газу у ВК, і мала активно захисний інерціаль-

ний пристрій звіту. Наступне покоління складалося із шести гравіметрів серії JILA_g (рис. 1), які мали поліпшену точність і відтворюваність вимірювань у діапазоні від $3 \cdot 10^{-8}$ до $5 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}^2$ [1]. Похибка вимірювального приладу цієї серії міститься на рівні або нижчому рівня шуму джерел навколишнього середовища, таких як коливання атмосферного тиску (порядку $5 \cdot 10^{-8} — 10 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}^2$) і горизонту ґрунтових вод (порядку $10 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}^2$), хоча ці шуми можуть бути і більшими залежно від місця спостереження [4].

У сьомих ICAG (Севр, Франція, 2005 рік) невизначеності вимірювань АБГ серії JILA_g оцінювалися так: невизначеність вимірювань за типом $A - u_A = (0,2 - 0,9) \cdot 10^{-8} \text{ м/с}^2$; невизначеність вимірювань за типом $B - u_B = (1,8 - 2,6) \cdot 10^{-8} \text{ м/с}^2$; розширена невизначеність вимірювань — $U = (5,0 - 7,0) \cdot 10^{-8} \text{ м/с}^2$ [5].

Гравіметр FG5

Потреби геофізиків і метрологів поставили завдання подальшого удосконалювання абсолютних гравіметрів у США. У 1990 році почалася спільна робота американських академічних інститутів, урядових організацій і комерційних фірм із розроблення приладу FG5 (виробник Micro-*g* LaCoste Inc., США). У 1992—1993 роках перші два прилади FG5 були вже розроблені й випробувані. Слід зазначити, що проектувався FG5 і як гравіметр із симетричним способом вимірювання, який на сьогодні залишається лише метою [1].

Абсолютний балістичний лазерний гравіметр типу FG5 — це модифікований гравіметр серії JILA_g. Досвід роботи з гравіметром JILA_g дозволив створити більш досконали конструкцію FG5, який є «еталоном» у вимірюваннях ПВП серед АЛГ. На рис. 1 представлено світлину гравіметра FG5. У ньому реалізовано несиметричний спосіб вимірювання, де основна його система — лазерний інтерферометр переміщення на основі модифікованого інтерферометра Маха — Цендера розділяє лазерний промінь на два: вимірювальний, який формується від оптичного куточкового відбивача ПТ, що переміщується у вакуумній камері з тиском звичайно нижчим за 10^{-4} Па, й опорний, що формується від нерухливого референтного оптичного куточкового відбивача, установленого усередині спеціального віброзахисного пристрою *Superspring* [1].

Обчислення абсолютного значення ПВП здійснюється у стандарті оптичної довжини (гелій-неоновий (He-Ne) лазер зі стабілізацією за йодом, довжина хвилі $\lambda \approx 633 \text{ нм}$) і в стандарті частоти (рубідієвий). Число звітів інтервалів шляху й часу

за один кидок ПТ становить 700 (у гравіметрі JILAg: 200) на довжині падіння ПТ 0,20 м за тривалості 0,20 с. Одна серія спостережень може містити до декількох тисяч кидків (для гравіметра FG5#220 від 1500 до 3000, для гравіметра JILAg-3 — 300). У кожній серії вимірювань звичайно використовується по 50 кидків. Інтервал часу між кидками для гравіметра FG5#220 становить 10 с, а для гравіметра JILAg-3 — 12. Уся серія вимірювань ПВП здійснюється від одного до двох днів.

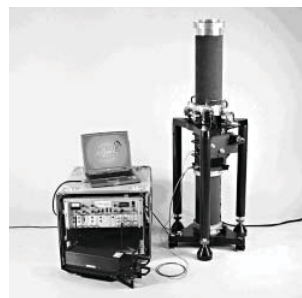
Конструкція ББ у приладі FG5 запозичена від гравіметра серії JILAg. ББ FG5 міститься у верхній частині гравіметра, на відміну від гравіметрів із симетричним способом вимірювання, де ББ міститься у нижній його частині. Удосконалення механічної конструкції частин ББ призвело до підвищення рівня вакууму, не гіршого 10^{-4} Па, який підтримується іонним насосом під час вимірювання; різко збільшилася вакуумна провідність пристрою іонного насоса й клапанних пристроїв; новий пристрій блокування ходу підвищив міцність механічної конструкції. Загальна вага FG5 становить 150 кг, номінальна споживана потужність ~ 500 Вт, діапазон робочих температур — від $+20$ до $+30$ °C.

Сейсмометр *Superspring* установлено прямо під основою інтерферометра. Система *SuperSpring* призначена для віброзахисту референтного оптичного куточкового відбивача й вимірювання сейсмічного шуму. Застосована у FG5 нова конструкція *Superspring* має розміри у висоту 0,46 м, що становить половину розміру початкового прототипу (*Superspring* JILAg має довжину 0,90 м), подібний пасивний і поліпшений активний віброзахист. Це досягнуто за допомогою удосконалень найгнучкішої структури системи, заміни матеріалів пружини й електронного устаткування.

Для FG5 застосовано модифікований інтерферометр Маха — Цендера, на відміну від JILAg, де використовувався інтерферометр Майкельсона. Нова оптична схема інтерферометра FG5 дозволила мінімізувати впливи механічного збурювання під час падіння ПТ на геометричні зсуви (горизонтальні, вертикальні, нахили) закріплених на корпусі інтерферометра оптичних елементів (включаючи лазер) і руху самої основи інтерферометра.



JILAg-3



FG5



FG5-X



FG-L



A-10



FGC-1

Рис. 1. Абсолютні гравіметри JILAg, FG5, FG-L, FG5-X, A-10, FGC-1 (США)

У сьомих ICAG-2005 невизначеність вимірювань серії FG5 оцінювалася так: невизначеність вимірювань за типом $A - u_A = (0,2 - 0,7) \cdot 10^{-8}$ м/с²; невизначеність вимірювань за типом $B - u_B = 2,3 \cdot 10^{-8}$ м/с²; розширена невизначеність вимірювань — $U = (4,8 - 5,6) \cdot 10^{-8}$ м/с² [5].

Гравіметр FG5-X

Гравіметр FG5-X (виробник Micro-g LaCoste Inc., США), модернізований на основі FG5, має поліпшений ББ і електронну систему. У АЛГ FG5-X (рис. 1) ББ має такі удосконалення: збільшено довжину вільного падіння, яка становить 0,33 м за 0,26 с; у системі привода створено протидію ліфта для зменшення механічної віддачі й модуляції повітряного зазору; використовується мікропроцесорний контролер сервопривода; підвищено плавність передавання руху, зменшено впливи горизонтального прискорення (Коріоліса) і зовнішнього магнітного поля на ПТ. Інтерфейсний модуль *System (Simx)* забезпечує надійніше електронне керування функціональними блоками гравіметра й зменшує загальний розмір електроніки, включаючи: *Dropper Controller*, *Superspring Controlle*, *Includes System A/D – interface*, *GPS-систему* на основі рубідієвого стандарту частоти, *USB* інтерфейс для нової програми *g-software*; використовує дистанційне керування через Інтернет. Загальна вага FG5X під час транспортування становить 150 кг, номінальна

споживана потужність ~ 500 Вт, діапазон робочих температур — від $+10$ до $+30$ °С. Для гравіметра FG5-X невизначеність вимірювань за типом B оцінюється — $u_B = 2 \cdot 10^{-8}$ м/с² [6].

Гравіметр FG-L

Абсолютний гравіметр типу FG-L (виробник: Micro-g LaCoste Inc., США) розроблено у 2005 році. Він має невеликі розміри і переваги гравіметра A10 і не поступається за продуктивністю гравіметру FG5. У ньому знайдено компроміс між ціною й точністю. Прилад FG-L (рис. 1) є модифікованою версією серій FG5, у якому оптимізовано (зменшено) геометричні розміри, простий в експлуатації, мобільний: загальна вага у випадку транспортування становить 140 кг, номінальна споживана потужність ~ 500 Вт, діапазон робочих температур — від $+15$ до $+30$ °С. Гравіметр можна використовувати у польових умовах. Багато функціональних блоків АЛГ FG-L є сумісними з відповідними FG5, що дозволяє спростити взаємозамінність їх у разі удосконалення у подальшому. Абсолютна похибка вимірювання ПВП становить порядку $10 \cdot 10^{-8}$ м/с², відносна — оцінюється порядку 10^{-9} г [7].

Гравіметр A-10

Гравіметр A-10 (виробник: Micro-g LaCoste Inc., США) є першим (застосований у 2000 році) транспортбельним АЛГ, який оптимізовано для швидкісного збору даних за високоточних вимірювань ПВП. Простота в експлуатації й мобільність A-10 (рис. 1) на відкритій місцевості, дозволяють зберігати метрологічні характеристики за впливу на апаратуру складних кліматичних умов (атмосферного тиску і опадів, сонячного випромінювання, вологості, вітру). Діапазон робочих температур під час вимірювань міститься у межах від -18 до $+40$ °С. У вакуумній камері ББ ПТ проходить шлях вільного падіння довжиною близько 0,05 м [8]. Тому серед високоточних АЛГ, які звичайно мають довжини падіння близько (0, 20—0,30) м, гравіметри типу A-10 мають скорочену довжину падіння (окрім FGC-1: 0,025 м). Загальна вага гравіметра A-10 — 105 кг: основні блоки — 40 кг, електронна стійка з комп'ютером — 23 кг, пакувальна тара — 25 кг, сполучні кабелі — 7 кг тощо. Електроживлення гравіметра A-10 у польових умовах може здійснюватися від автомобільного акумулятора. За даними [5] для гравіметра A-10 (модель A10-008) невизначеність вимірювань за типом A становить $u_A = (2,1 - 3,8) \cdot 10^{-8}$ м/с², невизначеність вимірювань за типом B — $u_B = 5,9 \cdot 10^{-8}$ м/с², розширена невизначеність вимірювань — $U = (12,4 - 14,2) \cdot 10^{-8}$ м/с².

Гравіметр FGC-1

У розробленні портативного транспортбельного лазерного гравіметра FGC-1 (рис. 1) (орієнтовна вага 45 кг) використано оригінальний ексцентриковий привід управління кареткою, що несе ПТ. Ексцентриковий механізм, виготовлений із титану, може виконувати близько 200 кидків за хвилину (або більше трьох разів за секунду) у випадку несиметричної траєкторії польоту ПТ із довжиною падіння, близькою 0,025 м, і вищою частотою вимірювань, ніж в існуючих гравіметрах [8, 9].

ICAG—2005 показали, що абсолютний гравіметр FGC-1 має такі метрологічні характеристики: невизначеність вимірювань за типом A — $u_A = (1,2 - 2,2) \cdot 10^{-8}$ м/с²; невизначеність вимірювань за типом B — $u_B = 2,3 \cdot 10^{-8}$ м/с²; розширена невизначеність вимірювань — $U = (5,6 - 6,6) \cdot 10^{-8}$ м/с² [5].

Абсолютні гравіметри серії ГАБЛ

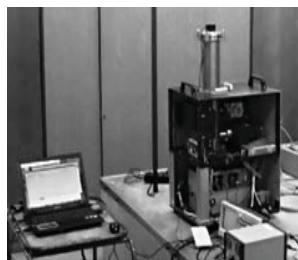
Міжнародне визнання гравіметрів серії ГАБЛ (рис. 2) виявилось у включенні його, починаючи з 1976 року, до різних міжнародних програм досліджень гравітаційного поля Землі. У лазерних гравіметрах типу ГАБЛ (модифікації ГАБЛ-М, ГАБЛ-Э, ГАБЛ-Г, ГАБЛ-П), створених в ІАиЭ (Росія), використовується несиметрична схема вільного падіння ПТ [2].

Гравіметр ГАБЛ

У 1976 році в ІАиЭ створено транспортбельний АЛБГ за назвою ГАБЛ, який брав участь у перших ICAG у 1981 році. У цьому гравіметрі вперше для контролю довжини хвилі робочого лазера інтерферометра використовувався транспортбельний малогабаритний лазер з йодною чарункою поглинання, який дозволяв контролювати випромінювання робочого лазера з відносною похибкою, меншою за $5 \cdot 10^{-10}$ під час вимірювань [2].

Гравіметр ГАБЛ-М

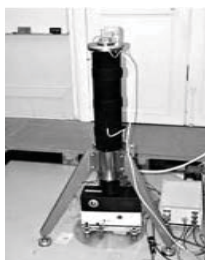
У других і третіх ICAG у 1985 і 1989 роках брав участь абсолютний гравіметр ГАБЛ-М [2]. Протягом 2006 — 2009 років в ІАиЭ розроблено нову версію російського балістичного абсолютного польового гравіметра ГАБЛ-М (рис. 2), у якого середньоквадратична похибка вимірювання ПВП не перевищує $5 \cdot 10^{-8}$ м/с², сумарна середньоквадратична інструментальна похибка визначення абсолютного значення ПВП не перевищує $5 \cdot 10^{-8}$ м/с². Нова версія гравіметра ГАБЛ-М має відмінності від конструкції ГАБЛ-Э. Так у ГАБЛ-М замість He - Ne лазера з довжиною хвилі $\lambda = 633$ нм (червоне випромінювання)



ГАБЛ-М



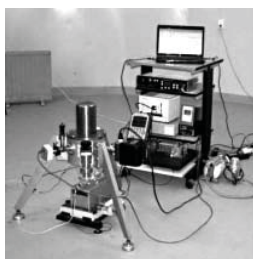
ГАБЛ-Э



ГАБЛ-Г



ГАБЛ-П



ВНИИМ-АБГ-1

Рис. 2. Абсолютні гравіметри серії ГАБЛ і новий гравіметр ВНИИМ-АБГ-1 (Росія)

застосовується неодимовий лазер Nd:YAG з довжиною хвилі $\lambda = 532$ нм (зелене випромінювання); у приладі використовується малогабаритний рубідієвий стандарт частоти 10 МГц з довготривалою нестабільністю 10^{-10} ; до складу вакуумного поста включено іонний (магніторозрядний) насос, що підтримує тиск у вакуумній камері на рівні $1,33 \cdot 10^{-5}$ Па (10^{-7} мм рт. ст.) під час транспортування і вимірювань тощо. Тут слід зазначити, що блок інтерферометра і ББ гравіметра містяться на одній платформі й представляють єдине ціле, визначають основні габаритні розміри приладу — $(450 \times 500 \times 930)$ мм, а маса основної частини приладу під час вимірювань і перенесення складає 54 кг. Порівняно з американським гравіметром А-10 російський поступається в автоматизації деяких процесів, при цьому перевагою є те, що у ГАБЛ-М використовується потужніший лазер з нестабільністю довжини хвилі 10^{-10} , тоді як в А-10 — лише 10^{-9} [10].

Гравіметр ГАБЛ-Э

Гравіметр ГАБЛ-Э (розроблення ІАиЭ) брав участь у п'ятих ІСАГ у 1997 році [2]. Принциповою відмінністю інтерферометра ГАБЛ-Э (рис. 2) є використання двох лазерів: основного й контрольного з йодною чарункою [3]. Основу оптичної схеми гравіметра становить інтерферометр Майкельсона. Відносна похибка атестації довжини хвилі не перевершує у цьому випадку $1 \cdot 10^{-9}$, а середньоквадратична похибка вимірювання оцінюється, як не більша $2 \cdot 10^{-8}$ м/с², систематична похибка — як не більша $5 \cdot 10^{-8}$ м/с². Габаритні розміри граві-

метра: оптико-механічний блок — $(1200 \times 700 \times 700)$ мм, електронний блок — $(620 \times 560 \times 660)$ мм. Загальна вага гравіметра — 180 кг [2, 3, 11].

Гравіметр ГАБЛ-Г (GABL-G)

Абсолютний лазерний балістичний гравіметр ГАБЛ-Г (рис. 2) брав участь у сьомих ІСАГ у 2005 році. Він має механічну систему для запуску ПТ у вакуумі ББ та оптичну схему інтерферометра для вимірювання довжини переміщення ПТ, що вільно падає, до 500 мм, яка була однією із найтриваліших серед балістичних гравіметрів, що зв'язалися [9]. В інтерферометрах під час звірень АБГ, в основному, застосовують Ne-He/I₂ лазери з довжиною хвилі випромінювання $\lambda \approx 633$ нм, стабілізовані

ні за піками поглинання в ізотопі йоду ¹²⁷I₂. Проте, застосований стабілізований за йодом твердотільний Nd:YAG/KTP/I₂ лазер з накачуванням лазерними діодами на довжині хвилі $\lambda \approx 532$ нм успішно функціонував у гравіметрі типу ГАБЛ-Г, що відзначалося у роботах [5, 9].

Гравіметр ГАБЛ-П

Польові випробування гравіметра ГАБЛ-П (рис. 2) (розроблення ІАиЭ) проведені у 2009 році на території Росії у Гірському Алтаї й Заполяр'ї в екстремальних кліматичних умовах. У ньому завдання високоточного вимірювання вирішується інтерферометричним методом (число звітів інтервалів шляху й часу за один кидок ПТ є не меншим від 5000). У схемі модифікованого інтерферометра Майкельсона використовується оптичний стандарт Nd:YAG/I₂ з довжиною хвилі $\lambda \approx 532$ нм, стабілізований за йодом. Вихідна потужність випромінювання (≥ 5 мВт) у зовнішню оптичну схему в 5—10 разів перевищує потужність лазерів, застосовуваних в інших АЛГ, що дозволяє поліпшити співвідношення сигнал / шум вихідного сигналу за використання оптоволоконного кабеля для уведення лазерного випромінювання в інтерферометр. Відносна стабільність частоти використовуваного стандарту довжини є не гіршою від $2 \cdot 10^{-10}$. Використання рубідієвого стандарту типу AR-40A забезпечує стабільність відтворення частоти до $5 \cdot 10^{-10}$. Віброзахисна система гравіметра ГАБЛ-П розроблена за класичною схемою вертикального сейсмографа Б.Б. Галіцина. Робочий тиск

порядку $5 \cdot 10^{-5}$ Па у ВК ББ підтримується іонним (магніторозрядним) насосом, виготовленим у виді труби з нержавіючої сталі, що забезпечує зниження впливу сили опору залишкового газу на вимірювання ПВП до величини порядку $0,5 \cdot 10^{-9}$ g.

Випробування ГАБЛ-П показали, що гравіметр зберігає свої метрологічні характеристики у складних польових умовах і дозволяє виконувати вимірювання абсолютного значення ПВП із середньоквадратичною похибкою, не більшою за $\pm 5 \cdot 10^{-8}$ м/с². Інструментальна середньоквадратична похибка вимірювання не перевищує $\pm 5 \cdot 10^{-8}$ м/с² [12].

Гравіметр ВНИИМ-АБГ-1

У 2011 році у ВНИИМ ім. Д. І. Менделєєва (Росія) розроблено новий Державний первинний спеціальний еталон (ДПЕ) одиниці прискорення вільного падіння у сфері гравіметрії. Цей ДПЕ дозволяє забезпечити вихідні умови для вирішення завдань метрологічного забезпечення у сфері вимірювання параметрів гравітаційного поля, необхідних для розвитку пріоритетних напрямів науки, технологій і техніки Російської Федерації. До складу ДПЕ одиниці ПВП входить новий АЛГ типу ВНИИМ-АБГ-1 (рис. 2). Метрологічні характеристики абсолютного гравіметра ВНИИМ-АБГ-1 на цей момент є відсутніми [13].

АБСОЛЮТНІ ГРАВИМЕТРИ СЕРІЇ MPG

Тут розглядатимуться два типи гравіметрів: MPG-1 і MPG-2 (MPL, Німеччина), які за своєю базовою конструкцією мають подібності із гравіметрами типу FG5.

Гравіметр MPG-1

Стаціонарний гравіметр MPG-1 (вага основних блоків — 500 кг) за своєю структурою є схожим до FG5. ВК ББ (тиск порядку $1 \cdot 10^{-6}$ Па, який під час вимірювання підтримується іонним насосом) гравіметра MPG-1 з довжиною вільного падіння ПТ у 0,3 м є важчою ніж у FG5. Механічні частини усередині ВК виконано із алюмінію і нержавіючої сталі, а сама ВК має розміри заввишки 1 м і діаметром 0,25 м. У цьому гравіметрі використовується віброзахисна система Superspring від Micro-g LaCoste (США), всередині якої вбудовано референтний куточковий відбивач (рис. 3).

Траєкторія вільного падіння ПТ відслідковується модифікованим інтерферометром типу Маха—Цендера. Як еталон довжини використовується частотно-стабілізований He-Ne лазер з довжиною хвилі 633 нм і довгостроковою стабільністю, близь-

кою до $6 \cdot 10^{-9}$. Однією із відмінних особливостей установки MPG-1 є те, що весь сигнал інтерференційної смуги оцифровується та опрацьовується (виявляється до 1,6 млн. нульових перетинань).

Довжина вільного падіння ПТ у ВК в MPG-1 становить близько 30 см (час падіння — 0,25 с) за довжини хвилі He - Ne лазера, близької до $\lambda \approx 633$ нм, тому частота інтерференційної смуги на максимальній швидкості падіння ПТ досягає 7,7 МГц. У гравіметр вбудовано бортовий годинник, який прив'язано до частоти рубідієвого стандарту FS725 (виробництва компанії «Stanford Research», США) і має короткочасну нестабільність, не гіршу від $2 \cdot 10^{-11}$ [14].

Невизначеність вимірювань за типом А оцінюється як $u_A = 0,6 \cdot 10^{-8}$ м/с², сумарна стандартна невизначеність — $u_c = 16,6 \cdot 10^{-8}$ м/с² [14].

Гравіметр MPG-2

Конструкція портативного абсолютного гравіметра MPG-2 (рис. 3) на вільне падіння відрізняється від MPG-1, насамперед масогабаритними розмірами: у висоту на штативі має розмір 1,30 м і важить 70 кг. Компактний апарат отримано шляхом зменшення розміру ВК, використовуючи штатив замість оптичного стола у MPG-1 і кріплення інтерферометра на вершині системи Superspring.

Іншою відмінністю є змінена конструкція механізму кидання ПТ. Ліфт, який містить ПТ, прискорюється механічною пружиною замість двигуна, що дозволяє використовувати мотор меншої потужності, який працює лише на підйом ліфта із ПТ, а під час падіння ПТ перебуває у спокої. Як і в MPG-1, ліфт орієнтується на шарикопідшипниках, які змазуються вакуумним змащенням. Слід зазначити, що деякі магнітні частини ПТ, а саме кульки у трьох шарикопідшипниках, замінені на частини із загартованої нержавіючої сталі. У подальшому для виготовлення нових ПТ для наступного покоління гравіметрів MPG-2 планується застосовувати сучасні немагнітні матеріали. Довжину падіння ПТ у MPG-2 зменшено до максимального вільного падіння, довжиною у 0,15 м, це якість додаткової вимоги до компактності конструкції гравіметра [14].

Невизначеність вимірювань за типом А оцінюється як $u_A = (1,6 - 5,0) \cdot 10^{-8}$ м/с², сумарна стандартна невизначеність — $u_c = (38,5 - 38,8) \cdot 10^{-8}$ м/с² [14].

АБСОЛЮТНІ ГРАВИМЕТРИ ІЗ СИМЕТРИЧНИМ СПОСОБОМ ВИМІРЮВАННЯ

Гравіметр IMG-02

Нову версію транспортабельного абсолютного гравіметра IMG-02 (рис. 4) із симетричним спосо-

бом вимірювання ПВП, де спеціальним пружинним механізмом у ВК (тиск порядку $1 \cdot 10^{-6}$ Па) ББ підкидається ПТ вертикально вверх, розробила гравіметрична група Національного інституту метрологічних досліджень (INRiM, Італія) [15].

Гравіметр IMGC-02 має такі габаритні розміри: висота — 1,0 м, ширина — 0,5 м, довжина — 0,6 м. Його вага — 180 кг, включаючи стійку електронних систем, вакуумний насос і монтажний інструмент. Апарат можна транспортувати у невеликому фургоні, й оператор збирає його протягом однієї години. IMGC-02 призначено для роботи в умовах кімнатної температури за стабільності $\pm 2^\circ\text{C}$.

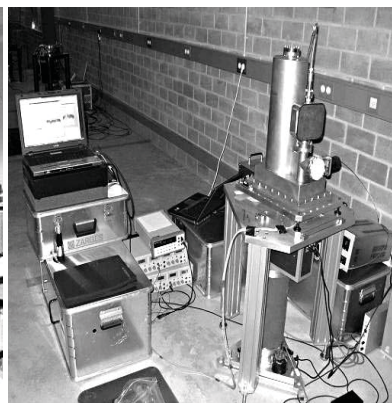
В інтерферометрі лазерного гравіметра IMGC-02 для відстеження симетричної траєкторії вільного руху оптичного куточкового відбивача ПТ використовується оптична схема модифікованого інтерферометра Майкельсона з віброзахисною системою. Як джерело світла в інтерферометрі застосовується *He-Ne* лазер (потужність випромінювання 100 мкВт, розмір плями ≈ 1 мм), стабілізований за йодом. Довжина хвилі випромінювання цього типу лазера визначається з відносною похибкою порядку $1 \cdot 10^{-10}$.

Дальність (висоту підкидання) вільного польоту ПТ (вага: 40 г) у зазначеній версії приладу встановлено на відстані близько 0,20 м за загального часу польоту близько 0,4 с, максимальна швидкість — 1,96 м/с. Довжина хвилі випромінювання *He-Ne* лазера становить близько $\lambda \approx 633$ нм, тому частота інтерференційної смуги на максимальній швидкості досягає 6,2 МГц [15].

За ICAG-2009 для абсолютного гравіметра IMGC-02 розширена невизначеність вимірювань з довірчою ймовірністю 95 % (коефіцієнт охоплення $k = 2,10$ і 19 ступенів свободи) оцінюється як $U = 8,0 \cdot 10^{-8}$ м/с² (за звіреннями ICAG-2005 розширена невизначеність оцінювалася як $U = 8,6 \cdot 10^{-8}$ м/с², невизначеність за типом A — $u_A = (1,1 - 1,3) \cdot 10^{-8}$ м/с², невизначеність за типом B — $u_B = 3,8 \cdot 10^{-8}$ м/с² [5]).



MPG-1

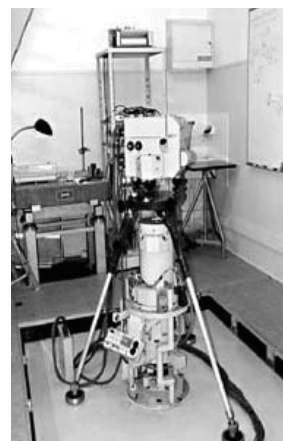


MPG-2

Рис. 3. Абсолютні гравіметри серії MPG (Німеччина)



IMGC-02



ТБГ

Рис. 4. Абсолютні гравіметри IMGC-02 (Італія) і ТБГ (Україна) із симетричною траєкторією вимірювання

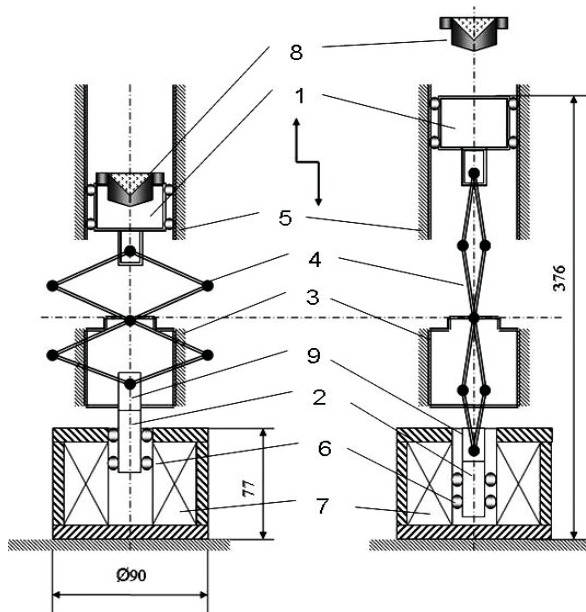


Рис. 5. Конструкція катапульти ТБГ

Таблиця 1

Позиція	Найменування деталі	Кількість, од.
1	Каретка	1
2	Якір	1
3	Стакан	1
4	Планка	6
5	Направляючі	6
6	Підшипник 5-1000084 ГОСТ8338-75	38 (змащування ВНИИ НП-274)
7	Електромагнітна котушка	1
8	Пробне тіло	1
9	Вилка	1
—	Вісь	20
—	Інші (шайба, кільце)	89
Усього:		165

Таблиця 2. Бюджет похибок ТБГ, зумовлених недосконалістю катапульт

Джерело похибки	Значення, 10^{-8} м/с ²
Відхилення лазерного променя від вертикалі	5
Обертання куточкового оптичного відбивача під час польоту	5
Вплив вібраційних коливань постаменту через віддачу катапульт	15

Гравіметр ТБГ (TBG)

Транспортабельний балістичний гравіметр типу ТБГ (рис. 4) створено у період 1992—1994 років у ННЦ «Інститут метрології» (Харків, Україна). Гравіметр ТБГ — один із небагатьох АЛГ, що має на відміну від несиметричної схеми симетричну

Таблиця 3. Список країн, організацій і типів гравіметрів з метрологічними характеристиками учасників ICAG-2005

Країна	Організація	Гравіметр, тип	Оцінювання невизначеності вимірювань		
			За типом А, u_A , 10^{-8} м/с ²	За типом В, u_B , 10^{-8} м/с ²	Розширена невизначеність, U , 10^{-8} м/с ²
1	2	3	4	5	6
Франція	Міжнародне бюро з мір і вагів (BIPM), Севр	FG5#108	0,2	2,3	5,2
Німеччина	Федеральне агентство з картографії й геодезії (BKG), Франкфурт	FG5#101	0,2 — 0,3	2,3	5,2 — 5,4
Бельгія	Королівська обсерваторія Бельгії (ROB), Брюссель	FG5#202	0,21 — 0,38	2,3	5,4
Франція	Школа й обсерваторія наук про Землю (EOST), Страсбург	FG5#206	0,24 — 0,26	2,3	5,4
Швейцарія	Федеральний інститут метрології (METAS), Берн-Wabern	FG5#209	0,13 — 0,27	2,3	5,2 — 5,6
Іспанія	Національний географічний інститут (IGN), Мадрид	FG5#211	0,24 -0,5	2,3	5,1 5,2
Японія	Японський національний інститут метрології, Національний інститут передової промислової науки й технологій (NMIJ / AIST), Цукуба	FG5#213	0,2 — 0,32	2,3	5,2
Чеська Республіка	Геодезична обсерваторія Респу (GOP), Науково-дослідний інститут геодезії, топографії й картографії, Прага	FG5#215	0,14 — 0,16	2,3	5,2
Люксембург	Університет Люксембурга, Люксембург	FG5#216	0,4 — 0,74	2,3	4,8 — 5,4
Фінляндія	Фінський геодезичний інститут (FGI), Масала	FG5#221	0,2 — 0,35	2,3	5,4
Китайський Тайбей	Центр з еталонів, Дослідницький інститут промислових технологій (CMS/ITRI), Китайський Тайбей	FG5#224	0,28 — 0,49	2,6	5,2

закінчення таблиці 3

1	2	3	4	5	6
Франція	Лабораторія динаміки літосфери (CNRS), Університет Монпельє, Монпельє	FG5#228	0,3	2,3	5,4
США	Об'єднаний інститут астрофізичних лабораторій (JILA), Університет Колорадо (CU) — Національний інститут стандартів і технології (NIST), Колорадо	FGC1	1,2 — 2,2	2,3	5,6 — 6,6
США	Геологічна служба Сполучених Штатів (USGS), Рестон, Вірджинія	A10-008	2,1 — 3,8	5,9	12,4 — 14,2
Канада	Міністерство природних ресурсів Канади (NRC), Оттава	JILAg-2	0,2 — 0,4	2,3	5,0 — 5,2
Австрія	Федеральне бюро метрології й геодезії (BEV), Відень	JILAg-6	0,7 — 0,9	2,6	6,8 — 7,0
Італія	Національний інститут метрологічних досліджень (INRiM), Турін	IMGC-2	1,1 — 1,3	3,8	8,6
Росія	Інститут автоматики й електрометрії, СВ РАН, Новосибірськ	GABL-G	1,1	5,1	11,6 — 11,8
Україна	Національний науковий центр «Інститут метрології», Харків	TBG	7,0 — 15,0	10,0	29,0 — 40,0

траєкторію вимірювання, реалізувати яку практично набагато складніше. При цьому його метрологічні параметри поступаються кращим закордонним зразкам, що робить завдання щодо його удосконалення актуальним [5].

Одним із істотних факторів, що впливають на недостатньо високі метрологічні характеристики гравіметра ТБГ, є конструкція його катапульти, пов'язана з віддачею, яка через механічний зв'язок впливає на відлікову систему й призводить до неврахованих систематичних похибок результату вимірювань ПВП (рис. 5, табл.1). ПТ масою близько 120 г, отримавши імпульс механічної енергії від важільного механізму (пантографа), продовжує рівносповільнений рух за інерцією відповідно до закону руху тіла, що вільно рухається угору. Досягнувши максимальної висоти, ПТ починає рухатися рівноприскорено униз до зустрічі з кареткою катапульти. Оскільки механізм катапульти збалансовано у певний спосіб, каретка з ПТ опускається униз і повертається у вихідне положення до надходження наступного імпульсу струму (наступний цикл підкидання ПТ може розпочатися через 3 с).

Значним фактором, що впливає на працездатність інтерферометра під час роботи катапульти ТБГ у виді шестизв'язного важільного механізму (пантографа) за симетричної схеми визначення ПВП g , є зміна взаємного розташування лазера інтерферометра й рухливого куточкового відбивача ПТ через складність створення катапультирувального пристрою ПТ,

що забезпечує пересування ПТ з куточковим оптичним відбивачем строго вертикально, без повороту (нахилу) й віддачі катапульти.

Основні складові інструментальної похибки вимірювань гравіметра ТБГ оцінюються так: через відхилення лазерного променя від вертикалі — на рівні $5 \cdot 10^{-8}$ м/с²; через обертання куточкового відбивача ПТ — на рівні $5 \cdot 10^{-8}$ м/с². Крім того, недоліком катапульти для розгону ПТ за симетричною траєкторією польоту є їхня віддача (вібрація), яка через механічний зв'язок впливає на відлікову систему балістичного гравіметра і призводить до невизначеності результату вимірювань ПВП g , яка оцінюється у межах $15 \cdot 10^{-8}$ м/с² (табл. 2).

Робота катапульти у вакуумі супроводжується тертям і наступним зношуванням контактів рухливих її елементів і нерухливих елементів корпусу гравіметра, де коефіцієнти тертя й зношування деталей можуть досягати у вакуумі екстремальних значень, аж до заклинювання й руйнування механізму. Ці завдання можна вирішити шляхом удосконалювання усієї кінематичної схеми за рахунок імпульсного електромеханічного лінійного перетворювача, роботу й конструкцію якого докладно описано у ряді робіт [16, 17].

Слід зазначити для ТБГ, що стандартна невизначеність за типом А оцінюється у межах $(7,0 - 15,0) \cdot 10^{-8}$ м/с², сумарна стандартна невизначеність — $u_c = (15,0 - 20,0) \cdot 10^{-8}$ м/с² [5].


У табл. 3 представлені метрологічні характеристики основних сучасних АЛГ [5].

ВИСНОВКИ

У ICAG-2005 і ICAG-2009, відповідно, із дев'ятинадцяти й двадцяти одного АЛГ представлено лише два гравіметри (IMGC-02 і ТБГ) із симетричним способом вимірювання ПВП. Тенденція переваги несиметричних гравіметрів у загальному обсязі виконуваних вимірювань може призвести до то-

го, що всі створювані гравіметричні мережі міститимуть невідомі систематичні похибки, властиві гравіметрам однієї конструкції. Тому розвиток методів аналізування похибок і удосконалювання кінематичних схем симетричних гравіметрів, як і раніше, залишається актуальним науковим і практичним завданням.

ЛІТЕРАТУРА

1. Niebauer T.M., Sasagawa G.S., Faller J.E., Hilt R. and Klocking F. A new generation of absolute gravimeters // *Metrologia*. — 1995. — V. 32. — № 3. — P. 159 — 180.
2. Арнаутів Г.П. Результати міжнародних метрологічних порівнянь абсолютних лазерних гравіметрів // *Автометрія*. — 2005. — Т. 45. — № 1. — С. 126 — 136.
3. Коронкевич В.П., Полещук Г.П., Седухин А.Г., Ленкова Г.А. Лазерні інтерферометричні та дифракційні системи // *Комп'ютерна оптика*. — 2010. — Т. 34. — № 1. — С. 4 — 23.
4. Двуріт П.Д. Про врахування неприпливних змін прискорення сили ваги під час виконання високоточних абсолютних вимірювань // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. — 2009. — Вип. 1 (17). — С. 70—73.
5. Jiang Z., Francis O., Vitushkin L. et al. Final report on the Seventh International Comparison of Absolute Gravimeters (ICAG 2005) // *Metrologia*. — 2011. — № 48. — P. 246 — 260.
6. Micro-g LaCoste Absolute Gravimeters: FG5-X Absolute Gravimeter. <http://www.microgacoste.com>
7. Micro-g LaCoste Absolute Gravimeters: FG5-L Small Absolute Gravimeter. <http://www.microgacoste.com>
8. Витушкин А.Л., Фаллер Д.Е. Разработка и исследование компактного транспортабельного абсолютного баллистического гравиметра // *Измерительная техника*. — 2002. — № 9. — С. 3—7.
9. Витушкин Л. Ф., Орлов О. А., Джермак А. Д., Агостино Д. Лазерные интерферометры перемещений с субнанометровым разрешением в абсолютных баллистических гравиметрах // *Измерительная техника*. — 2012. — № 3. — С. 3—8.
10. Юшкин В.Д., Сапунов А.Н., Стусь Ю.Ф., Калиш Е.Н., Бунин И.А., Носов Д.А. Измерения новым полевым баллистическим гравиметром ГАБЛ-М в условиях тундры // *Измерительная техника*. — 2011. — № 10. — С. 9 — 12.
11. Гравиметр абсолютный баллистический лазерный типа ГАБЛ-Э. <http://www.iae.nsk.su>.
12. Бунин И.А., Калиш Е.Н., Носов Д.А., Смирнов М.Г., Стусь Ю.Ф. Полевой абсолютный лазерный баллистический гравиметр // *Автометрия*. — 2010. — Т. 46. — № 5. — С. 94 — 102.
13. Отчет ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» об основных итогах метрологической деятельности в 2011 году и задачах на 2012-2014 гг. — Санкт-Петербург. <http://www.vniim.ru> — 33 с.
14. Rothleitner Ch., Svitlov S., Merimeche H., Hu H. and Wang L.J.. Development of new free-fall absolute gravimeters // *Metrologia*. — 2009. — № 46. — P. 283 — 297.
15. D'Agostino G., Germak A. and Origlia C. Absolute Measurements of the Free-Fall Acceleration g in Sèvres (ICAG09) // *Technical report I.N.R.I.M.* — 2009. — RT N. 31/2009 (November). — 36 p.
16. Болюх В.Ф., Винниченко А.И. Математическая модель и характеристики индукционно-динамической катапульты баллистического гравиметра // *Вісник НТУ «ХПІ»*. Тем. випуск: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. — Харків: НТУ «ХПІ». — 2011. — № 4. — С. 3 — 13.
17. Вінниченко О.І. Кінематичні схеми пускових пристроїв балістичних гравіметрів // *Метрологія та прилади*. — 2012. — № 3 (35). — С. 47 — 53. 

УДК 389.64:001.76:623.094



В. Бойко, начальник науково-дослідного відділу військових еталонів — заступник начальника Центру,
Ю. Рондін, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
 Метрологічний центр військових еталонів Збройних Сил України, м. Харків
О. Меркулов, заступник начальника відділу Центрального управління метрології та стандартизації
 Збройних Сил України, м. Київ

Розглядаються основи методології процесу модернізації зразків (комплексів) озброєння і військової техніки (ОВТ) з визначенням актуальних питань метрологічного забезпечення зразка на етапах його модернізації та подальшої експлуатації.

Methodology bases for process in modernisation of arms and military technics samples (complexes) with definition of metrological maintenance pressing questions on the stages of the sample modernisation and the further operation are considered.



В. Бойко



Ю. Рондін



О. Меркулов

Аналізування світових тенденцій удосконалювання технічного оснащення збройних сил показує, що пріоритетним підходом до підтримання боєздатності збройних сил є підхід, що раціонально поєднує модернізацію зразків (комплексів) ОВТ з розробленням нових. При цьому досвід розвинених країн у створенні нового покоління зразків (комплексів) ОВТ свідчить, що постановка питання стосовно пріоритету якісних параметрів зброї вимагає суттєвого збільшення витрат на науково-технічне забезпечення, розроблення і виробництво озброєння. Однією з причин актуальності розгляду технічного оснащення Збройних Сил України (ЗСУ) шляхом проведення модернізації ОВТ є істотне здорожчання сучасних і перспективних зразків ОВТ, що вимагає залучення на оборонні потреби значних фінансових ресурсів (щорічні світові закупки ОВТ, наприклад, складають у середньому не більше 10% нових зразків) [1].

Організаційні основи розроблення (модернізації) ОВТ визначені у відповідному Положенні, затвердженому наказом Міністра оборони України [2]. У ньому систематизовано основні етапи розроблення (модернізації) озброєння і військової техніки, функції основних учасників робіт, порядок виконання та приймання робіт з проведення державних випробувань і приймання нових (модернізованих) зразків ОВТ на озброєння.

Визначено, що «розроблення (модернізація) ОВТ проводиться шляхом виконання дослідно-конструкторських робіт (ДКР) з розроблення (модернізації) ОВТ відповідно до державних цільових оборонних програм розвитку ОВТ Збройних Сил України, потреб і пріоритетів, визначених Генеральним штабом Збройних Сил України. ДКР виконуються на підставі державних контрактів (договорів), що укладаються між Міноборони, як державним замовником, та суб'єктами підприємницької діяльності всіх форм власності, визначеними відповідно до законодавства України виконавцями цих робіт».

Також зазначено, що науково-дослідні установи ЗСУ виконують функції науково-дослідних установ Замовника та, за дорученням Замовника в межах повноважень, здійснюють наукове супроводження розроблення (модернізації) ОВТ за напрямками своєї діяльності.

Модернізація зразків (комплексів) ОВТ (безпосередньо, як і розроблення нових) пов'язана з вирішенням цілого комплексу науково-технічних і організаційних проблем, серед яких важливе місце посідає проблема удосконалення метрологічного забезпечення (МЗ) зразків (комплексів) на усіх етапах їх життєвого циклу.

Ефективність МЗ зразків (комплексів) ОВТ гарантує повноту, своєчасність, точність та достовірність численних вимірювань, що проводяться під час контролю якості випробувань модернізованого зразка (комплексу) ОВТ, а також під час підготовки до застосування та використання за призначенням зразка (комплексу) ОВТ [2, 3].

Узагальнене аналізування показує [4], що практично жоден зразок (комплекс) ОВТ не може бути підготовлений до застосування без попередніх вимірювань багатьох параметрів і характеристик. Обсяг вимірювань під час виконання контрольних операцій складає близько 50% загального обсягу трудовитрат на технічне обслуговування.

Мета статті — визначення актуальних питань МЗ зразків (комплексів) ОВТ на етапах їх модернізації та подальшої експлуатації.

УЗАГАЛЬНЕНЕ АНАЛІЗУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ПРОВЕДЕННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЗРАЗКІВ (КОМПЛЕКСІВ) ОВТ І МЕТРОЛОГІЧНІ ПИТАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Сучасний методичний підхід до вибору оптимального варіанту проведення модернізації зразка (комплексу) ОВТ здійснюється на основі використання векторного показника оцінювання його якості та системного розгляду оперативно-технічної

необхідності, науково-технічних і технологічних можливостей, фінансових і ресурсних можливостей [1]. До показників, у першу чергу, належать: показники бойових характеристик, витрат ресурсів, рівня технічної досконалості зразка (комплексу) і його основних складових частин, ефективності застосування модернізованого зразка (комплексу) за призначенням. Одними із основних є показники рівня технічної удосконаленості модернізованого зразка (комплексу) ОВТ, які є основою створення системи технічного забезпечення зразка (комплексу) ОВТ на усіх етапах життєвого циклу. МЗ, як складова частина технічного забезпечення, багато в чому визначає бойову готовність і ефективність застосування модернізованого зразка (комплексу) ОВТ і значною мірою залежить від визначення того, наскільки правильно у процесі модернізації вирішені питання МЗ, а саме, питання вибору вимірюваних і контрольованих параметрів, установлення норм точності їх вимірювання, визначення складу та характеристик засобів вимірювань і вимірювального контролю, забезпечення придатності цих засобів до експлуатації в бойових умовах.

Оцінювання об'єктивності та ефективності МЗ зразка (комплексу) ОВТ здійснюється під час проведення метрологічної експертизи документації, в ході якої визначається відповідність рівня МЗ зразка (комплексу) оперативно-технічним вимогам Замовника та вимогам чинних нормативно-технічних документів [5].

Логіко-структурну схему процесу визначення оптимального варіанту модернізації зразка (комплексу) ОВТ представлено на схемі.

Метрологічні питання модернізації вирішуються у такій послідовності.

На початковому етапі оцінюються результати експлуатації базового зразка (комплексу) ОВТ: ефективність його застосування відповідно до функціонального призначення, якість виконання вимог за видами забезпечення, техніко-економічних вимог. При цьому обов'язково проводять порівняльне комплексне оцінювання відповідності базового зразка (комплексу) ОВТ закордонним аналогам. Технічний стан базового зразка (комплексу) оцінюється за результатами вимірювального контролю його параметрів і функціонального застосування.

При цьому аналізуються види вимірювань, засоби вимірювальної техніки, точність і достовірність вимірювань і узагальнені характеристики МЗ: оперативність та автономність. За результатами аналізування визначається загальне оцінен-



Логіко-структурна схема процесу визначення оптимального варіанта модернізації зразка (комплексу) ОВТ

ня МЗ зразка (комплексу) ОВТ, що модернізується. Наступний етап пов'язаний із визначенням варіантів модернізації зразка (комплексу) ОВТ і вибором показників порівняльного аналізу варіантів модернізації. Варіанти технічного виконання модернізованого зразка (комплексу) ОВТ повинні забезпечити рівень технічної удосконаленості, який задовольняє пред'явленим оперативно-тактичним і тактико-технічним вимогам. Основний зміст тактико-технічних вимог складають вимоги, характеристики, норми, показники, інші параметри, що визначають призначення, бойові можливості, умови експлуатації та бойового застосування зразка (комплексу) ОВТ, що модернізується. На цьому етапі також визначаються і систематизуються показники МЗ зразка (комплексу) ОВТ кожного із варіантів (види, методи, засоби і норми точності вимірювань).

Наступні етапи процесу модернізації зразка (комплексу) ОВТ пов'язані із визначенням і ухваленням остаточного рішення модернізації з об'єктованого пріоритетного ряду варіантів модернізації. Методичним підходом до визначення оптимального

пріоритетного варіанта модернізації зразка (комплексу) ОВТ може бути використання узагальненої функції корисності, визначення якої повинно бути засновано на методах теорії ухвалення рішень з урахуванням фінансових і часових ресурсів, необхідних для проведення модернізації. У процесі вибору оптимального пріоритетного варіанта модернізації зразка (комплексу) ОВТ можливі такі основні форми підтримки прийняття рішень: інтелектуальна, інформаційна і обчислювальна [1, 3].

Під час вирішення метрологічних питань модернізації зразків (комплексів) ОВТ слід урахувати одну принципову обставину: вирішення багатьох цільових завдань сучасних збройних сил є неможливим без високоточного, надійного і доступного навігаційно-часового (частотно-часового) забезпечення військових структур, озброєння і військової техніки [6]. Складність різних систем і зразків озброєнь постійно зростає, посилення залежності між носіями зброї й технічними засобами забезпечення бойових дій вимагає чіткої координації дій між частинами і підрозділами за місцем і часом, а також організації між ними інтенсивного інформаційного

обміну, що дозволить відображати тактичну (оперативну) обстановку в реальному масштабі часу.

Слід відзначити достатньо принципову обставину: вимоги споживачів ЗСУ до навігаційно-часового і частотно-часового забезпечення постійно зростають. Так, максимальні вимоги щодо робочої глобальної зони — похибка місця визначення (СКВ) повинна бути не більшою сотих часток метра за доступності 0,99999. Вимоги споживачів до частотно-часової інформації (максимальні): до точності часу (мкс) $\sim 0,001$, до точності частоти (відносні один.) $\sim 1 \cdot 10^{-13} \div 1 \cdot 10^{-14}$.

Отже, сьогодні істотно посилюються вимоги до методів і ЗВТ за видом вимірювань (згідно з МІ 2222-92) 07 — вимірювань часу і частоти.

У зв'язку з цим, виникає гостра необхідність створення високоточних ЗВТ для контролю сигналів навігаційно-часового забезпечення споживачів ЗСУ, які здійснюються за рахунок глобальних навігаційних супутникових систем (ГЛОНАСС, GPS, GALILEO).

Після ухвалення оптимального варіанта модернізації зразка (комплексу) ОВТ розробник повинен представити пропозиції із МЗ модернізованого зразка (комплексу) ОВТ. На цьому етапі принципова роль при цьому відводиться проведенню метрологічної експертизи ескізного (технічного) проекту, метрологічної експертизи на етапі розроблення робочої конструкторської документації для виготовлення модернізованого зразка (комплексу) і проведення його випробувань, а також на етапах приймальних випробувань і на стадії експлуатації. Ці експертизи повинні проводитися згідно з вимогами «Положення про проведення метрологічної експертизи документації на озброєння і військову техніку», затвердженого наказом Міністра оборони України від 16.12.2005 № 731.

Головним показником ефективності МЗ модернізованих зразків (комплексів) ОВТ слід уважати показник якості очікуваного результату $Y^{(m)}$ МЗ, який можна представити m -мірним вектором, і у загальному випадку він включає три групи компонентів:

$$Y^{(m)} = \{g_1^{(m)}, C_2^{(m)}, T_3^{(m)}\},$$

де $g_1^{(m)}$ — вектор показників, що характеризують очікувану ефективність функціонування МЗ; $C_2^{(m)}$ — вектор показників, що характеризують кількість витрачених ресурсів на створення функціонування системи; $T_3^{(m)}$ — вектор показників, що характеризують витрати часових ресурсів.


На закінчення слід відзначити, що технічне оснащення ЗСУ шляхом проведення модернізації ОВТ здійснюється достатньо ефективно. За даними «Укроборонпрому», наприклад, підписано акт приймання 21 модернізованого бронетранспортера для армії Таїланду. Бронетранспортери мають підвищену дальність ураження цілі, підвищену точність, досконалу систему наведення і управління з використанням тепловізора.

ВИСНОВКИ

МЗ зразків (комплексів) ОВТ гарантує повноту, своєчасність, точність і достовірність численних вимірювань, що проводяться у випадку контролю якості випробувань, технічного обслуговування, діагностування і відновлення, підготовки до застосування та використання за призначенням ОВТ, як у мирний період, так і під час проведення бойових дій.

Якість пророблення питань МЗ зразків (комплексів) ОВТ, що модернізуються, на початкових етапах їх життєвого циклу багато в чому визначає ефективність ОВТ на усіх наступних етапах експлуатації зразків (комплексів) ОВТ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Демидов Б.О. Методичний підхід до вибору раціонального варіанта проведення модернізації зразків озброєння і військової техніки / Б.О. Демидов, М.В. Науменко // Системи озброєння і військова техніка. — 2009. — № 4(20). — С. 41 — 44.
2. Положення про організацію розроблення (модернізації) озброєння та військової техніки для потреб Збройних Сил України / Наказ Міністра оборони України від 10.08.2010 № 416.
3. Буренок В.М. Управление качеством вооружения и военной техники / В.М. Буренок, А.А. Ивлев, С.С. Смирнов // Военная мысль. — 2006. — № 8. — С. 18 — 23.
4. Гаврилов А.Б. Деякі погляди на проблемні питання організації метрологічного забезпечення через призму метрологічної експертизи документації на озброєння і військову техніку, що розробляється (модернізується) / А.Б. Гаврилов, С.В. Красинський // Системи озброєння і військова техніка. — 2010. — № 1 (21). — С. 48 — 54.
5. Положення про проведення метрологічної експертизи документації на озброєння та військову техніку / Затв. Наказом Міністра оборони України від 15.12.2006 № 73.
6. Пашкевич І. Д. Актуальні метрологічні проблеми координатно-часового забезпечення Збройних Сил України і шляхи їх вирішення / І.Д. Пашкевич, В.М. Романько, А.Б. Гаврилов // Системи озброєння і військова техніка. — 2008. — Вип. 2 (14). — С. 64 — 67. 

УДК 620.165.29:614.894.628.511

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОЦІНЮВАННЯ ЗАХИСНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОТИПИЛОВИХ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ОРГАНІВ ДИХАННЯ

Д. Радчук, кандидат технічних наук, доцент кафедри аерології та охорони праці,

С. Чеберячко, кандидат технічних наук, доцент кафедри,

М. Наумов, асистент кафедри,

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ,

С. Денисова, заступник начальника відділу,

Л. Гордєєва, провідний інженер,

ДП «Дніпростандартметрологія»

Упровадження нових стандартів приносить певні труднощі до оцінювання якості засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД). Основною метою стандартів є створення умов для отримання достовірних результатів. У роботі розглянуто основні причини виникнення помилок у процесі тестування зразків та запропоновано шляхи їх усунення на прикладі роботи лабораторії. Розглянуто модель виникнення помилок з урахуванням імовірнісного методу побудови «дерева подій».

The introduction of new Standards brings some difficulties into quality evaluation of respiratory protective devices. The main aim of the Standards is creating of conditions for getting reliable results. In research consider the main causes of happens error in the sample testing and suggest the ways of it elimination at laboratory work as example. The model of happens error is considered into research and based on the probabilistic method of construction «Tree of events».

Прагнення України інтегруватися до європейських структур актуалізують необхідність гармонізації сучасної системи оцінювання якості ЗІЗОД на відповідність вимогам чинних міжнародних стандартів. Одночасна присутність на ринку інтересів різних виробників, у тому числі й закордонних, висуває проблему забезпечення необхідної точності та достовірності результатів випробувань, створення умов для забезпечення їх порівняння та взаємного визнання незалежно від часу і місця проведення випробувань. З цього приводу в країні впроваджено міжнародні вимоги до компетентності ви-

пробувальних лабораторій відповідно до ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 [1] та ДСТУ ГОСТ ISO 5725:2005 [2]. Виконання їхніх вимог і є доказом здатності лабораторії отримувати технічно обґрунтовані дані та результати випробувань, що полегшить співпрацю між лабораторіями та іншими організаціями, сприятиме обміну інформацією, досвідом, а також гармонізації стандартів і процедур [3].

Однак сьогодні в країні одночасно діють міждержавні стандарти для визначення захисної ефективності протипилових респіраторів і гармонізовані з європейськими, які набули чинності з 2010 року.

Це призводить до плутанини у тлумаченнях термінів та показників стосовно випробувань ЗІЗОД. Наприклад, відомо, що якість випробування значною мірою визначається якістю методики випробувань, яку згідно з одними нормативними документами слід валідувати, а за іншими — атестувати [4]. У свою чергу, термін «атестація» не має свого англomовного перекладу, тобто у зарубіжній практиці не застосовується. Неоднозначними є розуміння й перевірки достовірності отриманих результатів — або визначення похибки вимірювань, або невизначеності. Все це створює значні перешкоди для забезпечення якості проведення випробувань ЗІЗОД.

Метою цієї публікації є визначення основних причин помилок у процесі дослідження захисної ефективності протипилових респіраторів та пошук шляхів підвищення якості випробувань ЗІЗОД.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Основним параметром протипилових респіраторів є захисна ефективність, яка визначається за коефіцієнтом проникнення тест-аерозолі [5]:

$$K_n = C/C_0, \quad (1)$$

де C , C_0 — концентрації шкідливої речовини у підмасковому просторі респіратора та у повітрі навколишнього середовища, мг/м³, відповідно.

На рис. 1 наведено принципову схему випробувань респіратора для визначення його захисної ефективності. Випробування відбувається у такий спосіб: у генератор зі спеціальною рідиною подають стиснене повітря. Утворений у ньому тест-аерозоль надходить до змішувальної камери, де його розбавляють чистим повітрям до необхідної концентрації, а потім потрапляє у камеру з респіратором. За допомогою лічильника аерозольних частинок визначають вхідну та вихідну концентрації тест-аерозолі, і за формулою (1) розраховують коефіцієнт проникнення [5].

Для визначення причин виникнення помилок під час випробувань ЗІЗОД можна використати метод побудови «дерева подій», що набув поширення у теорії надійності [6]. Метою його побудови є символічне представлення існуючих у системі умов, здатних призвести до збою. Крім того, побудоване

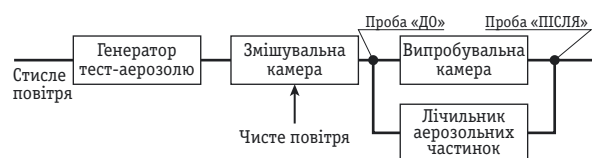


Рис. 1. Принципова схема випробувань респіратора за тест-аерозолями

«дерево» дозволяє показати в явному вигляді слабкі місця системи і є наочним засобом установлення ступеня відповідності конструкції системи заданим вимогам. Структура «дерева подій» (рис. 2) включає одну головну подію Y — «неякісний ЗІЗОД, прийнятий за якісний», що з'єднується з набором відповідних вихідних подій, які утворюють причинні ланцюги. Взаємодія вихідних подій може показуватися з використанням спеціальних операторів. З урахуванням того, що похибки й помилки у процесі випробувань ЗІЗОД можуть бути наслідком помилок персоналу чи несправності обладнання, і визначалися основні групи вихідних подій.

Кожна визначена подія X_n може призвести до результувальної Y , тому в «дереві подій» використовувався оператор «або». Аналітичний вираз умов появи результувальної події Y має вид структурної функції:

$$Y = X_1 \cup X_2 X_3 = (X_4 \cup X_5) \cup (X_6 \cup X_7 \cup X_8) \cup (X_9 \cup X_{10})$$

де X_1 — «несправність вимірювального обладнання»; X_2 — «помилка персоналу під час прийняття рішення щодо придатності ЗІЗОД» (помилка мислення та прийняття рішення); X_3 — «помилка персоналу під час визначення коефіцієнта проникнення» (помилка сприйняття); X_4 — «несправність генератора аерозолі»; X_5 — «несправність роботи лічильника»; X_6 — «неправильне розміщення ЗІЗОД у випробувальній камері»; X_7 — «порушення швидкісних режимів випробувальної установки»; X_8 — «помилка персоналу під час порівняння отриманого значення коефіцієнта проникнення з нормативним»; X_9 — «помилка персоналу під час зчитування даних з лічильника»; X_{10} — «помилка персоналу під час визначення початкових показників лічильника».

Якісне аналізування «дерева подій» полягає у виявленні небезпечних поєднань, що можуть призвести до появи від'ємного результату події. Отже, кож-

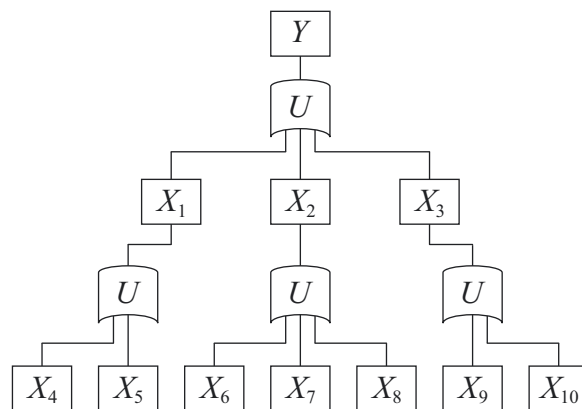


Рис. 2. Дерево подій виникнення помилки у процесі випробування ЗІЗОД

на вихідна подія може призвести до появи події Y . А значить, мінімальна кількість небезпечних поєднань дорівнює кількості вихідних подій.

У результаті кількісного аналізування «дерева подій» для оцінювання ймовірності $P(Y)$ отримані розрахункові багаточлени такого виду:

$$P(Y) = (1 - (1 - P(X_1))(1 - P(X_2))(1 - P(X_3))) = \\ = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P(X_i)),$$

де n — кількість вихідних подій нижчого порядку.

Для визначення ймовірності появи результувальної події Y використовуються статистичні дані стосовно причини повторної перевірки ЗІЗОД, результати суміжних випробувань, результати опитування виконавців та керівників випробувальних робіт. Крім того, використовується інформація щодо рекламцій щодо неякісних виробів.

Оскільки певні події, враховані у процесі побудови «дерева», можуть носити сезонний характер, для обчислення ймовірності виникнення $P(Y)$ вибрано період в один рік. Імовірнісні характеристики, отримані у результаті, не можуть бути використані для безпосереднього оцінювання безпомилковості випробувального процесу. Це пояснюється їх імовірнісним характером та значною залежністю від випадкових факторів, якими можуть бути організація випробувань, особливості проведення дослідження та ряд зовнішніх чинників. Найбільший вплив на результат випробувань проявляється саме через людський фактор. І якщо від впливу вказаних факторів численні значення ймовірностей вихідних подій у різних випробувальних лабораторіях можуть різнитися, характер їх відношення залишатиметься майже незмінним. Це дозволяє оцінювати саме ступінь впливу кожної вихідної події на результувальну та уважати отриманий результат достовірним.

Ступінь впливу вихідних подій на появу результувальної визначалася за величиною коефіцієнта значимості, що являє собою співвідношення ймовірності вихідної події до ймовірності результувальної [5]:

$$K_i = P(X_i)/P(Y).$$

У табл. 1 наведені розраховані значення ймовірності появи вихідних подій нижчого порядку та їхні коефіцієнти значимості.

Із наведених даних видно, що сумарний коефіцієнт значимості вихідних подій, які виникають з вини персоналу, $(X_2 + X_3)$ становить 94 %. Коефіцієнт значимості несправності стенда становить 6 %, що підтверджує високу надійність випробувального стенда, обумовлену простотою конструкції

Таблиця 1. Імовірнісні характеристики вихідних подій помилки у процесі випробувань ЗІЗОД

Позначення	Імовірність вихідної події $P(X_i)$	Коефіцієнт значимості K_i
X4	0,0033	0,02449
X5	0,0055	0,04490
X6	0,0342	0,27758
X7	0,0531	0,43270
X8	0,0088	0,06531
X9	0,0154	0,12246
X10	0,0233	0,18777

та принципу дії, ефективністю системи планово-попереджувальних ремонтів, метрологічною повіркою та атестацією.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Результати проведених досліджень визначають напрями підвищення якості випробувань ЗІЗОД. Перший — це підбір та підготовка персоналу, забезпечення його мотивації до сумлінного виконання своїх обов'язків. Другий — це автоматизація процедури визначення коефіцієнта проникнення протилового респіратора для зменшення впливу людського чинника.

Нині доцільною є поетапна автоматизація процесу випробувань. Наведемо її на прикладі випробувальної лабораторії. Спочатку доцільно автоматизувати перевірку захисних властивостей ЗІЗОД (рис. 3). Для цього випробувальний стенд слід доукомплектувати датчиками з контролю витрати повітря, тиску і температури з цифровим виходом. Збір інформації й передавання її в комп'ютер для подальшого опрацювання доцільно здійснювати за допомогою мікроконтролера, наприклад, *Intel MCS-51*.

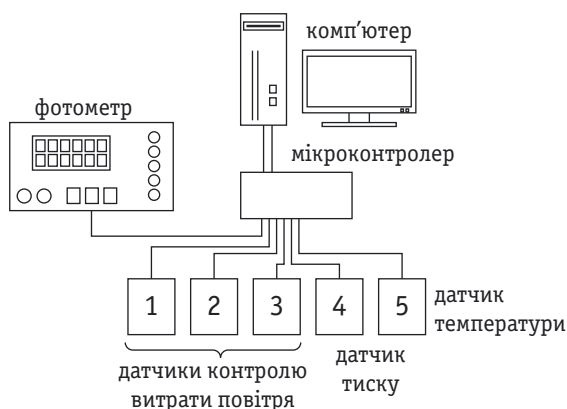


Рис. 3. Схема підключення датчиків і фотометра до комп'ютера

Під час випробувань від датчиків надходить інформація стосовно температурного стану генератора аерозолі, величини тиску в системі та кількості повітря для забезпечення необхідної концентрації аерозольної суміші. Вхідні дані порівнюються з вимогами і, якщо є невідповідність, процес випробувань зупиняється, вказується причина і запобіжна дія. За відповідності отриманих параметрів починається зчитування показників з лічильника за визначений час і обчислюється середнє значення (рис. 4).

Наступний крок — автоматизація контролю вихідних параметрів для забезпечення стабільності показників, перевірки обладнання, умов проведення випробувань, аналізування процесу випробувань (рис. 5). Це значно зменшить величину невизначеності вимірювання.

В основу процедури випробування ЗІЗОД покладено вимоги до компетентності випробувальних лабораторій, наведені у ДСТУ ISO 17025:2006 [1]. Так, підготовка до випробувань передбачає перевірку працездатності обладнання та кліматичних умов, результати заносяться до спеціальної програми, яка враховує їх під час обчислення невизначеності вимірювань.

Після випробувань передбачено процедуру перевірки отриманого результату, що збільшує достовірність результатів випробувань. За негативного результату, проводиться аналіз процесу випробувань, який також передбачає і перевірку зразків уже з відомими коефіцієнтами проникнення тест-аерозолі. У результаті виявлення помилок або відмов обладнання запроваджуються коригувальні дії, які також помічаються у журналах поточного випробування.

Коротка методика дослідження

Складові підготовки до випробувань протипилових респіраторів:

- підготовка спектрофотометра (включення аспіратора, запалювання пальника, калібрування);
- запуск генератора хлориду натрію (перевірка необхідної кількості соляної суміші, подавання стисненого повітря та його підігрівання);
- перевірка випробувальної камери (роботи вентиляторів для рівномірного розподілу тест-аерозолі за об'ємом камери);
- налаштування роботи комп'ютерної програми (форму-

вання таблиці даних, перевірка наявності результатів опитування датчиків).

Перед початком випробувань досягаємо стабілізації показників, що відображається на моніторі, встановлюємо початкову концентрацію у випробувальній камері, яку визначаємо спектрофотометром. Потім перевіряємо її показники у таблиці даних на моніторі, за відхилення сигналів індикаторів виконуємо процедуру оптимізації.

У процесі випробування з підмаскового простору

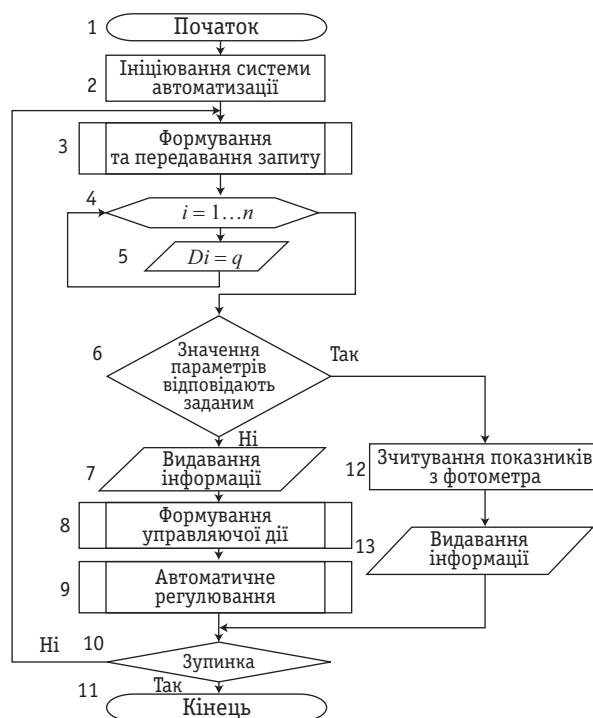


Рис. 4. Алгоритм роботи мікроконтролера



Рис. 5. Принципова схема випробування ЗІЗОД



Рис. 6. Процес вибору методики

респіратора під час вдихання надходить до спектрофотометра газова суміш, концентрація якої порівнюється з початковою, і тим самим встановлюється коефіцієнт проникнення, який відображається на моніторі та реєструється у таблиці. За час проведення тестування випробувачем виконується серія визначених стандартом рухів, тому накопичується декілька значень коефіцієнта проникнення. Кінцевий результат осереднюється. Дані з датчиків використовуються для розрахунку невизначеності вимірювання. Результати випробувань оформлюються відповідним протоколом.

Звертаємо увагу на процедуру перевірки відповідності методу випробувань (валідації методів). Стандарт вимагає оцінювати придатність до застосування методик, що використовуються лабораторією для підтвердження того, що ці методики підходять для цільового застосування у лабораторії, яка розглядається.

Після отримання замовлення на визначення захисних властивостей ЗІЗОД визначаються вимоги щодо результатів перевірки. Згідно з ними виби-

рається існуюча методика, що проходить оцінювання придатності до застосування.

У разі підтвердження такої придатності починається підготовка до випробувань. Якщо ж методика виявилася непридатною до застосування, розглядається можливість її удосконалення або доопрацювання. Якщо це можливо, після відповідного удосконалення методика має знову пройти процес валідації. Якщо удосконалення методики є неможливим, розглядається можливість пом'якшення поставлених вимог. У разі неможливості пом'якшити поставлені вимоги лабораторія відмовляється від такої роботи. Процес вибору методики для вирішення конкретної вимірювальної задачі та місце валідації у цьому процесі схематично зображено на рис. 6 [8].

Ще одна задача — це перевірка відсутності відмов та помилок під час проведення випробувань. Для цього передбачено процедури внутрішнього і зовнішнього контролю, схему яких наведено на рис. 7.

Необхідно передбачити проведення порівняльних випробувань між лаборантами, що допомагає визначити помилки у процесі підготовки та перевірки обладнання перед випробуваннями, проведення процедури самого випробування, оформлення проміжних записів тощо.

Важливим є проведення міжлабораторних випробувань: з одного боку це дисциплінує колектив, вимагає від нього постійно виконувати необхідні процедури, з іншого — робота над помилками, нерозумінням тих чи інших фізичних процесів [8].

Наприклад, у процесі проведення міжлабораторних випробувань нами виявлені неточності проведення випробувань з визначення перепаду тиску на фільтрах. Так, затискання фільтра у спеціальному пристрої (рис. 8 а) суттєво збільшує опір фільтра (більше 20%) через деформування фільтрувальної коробки і здавлювання гофрів. Закріплення фільтра

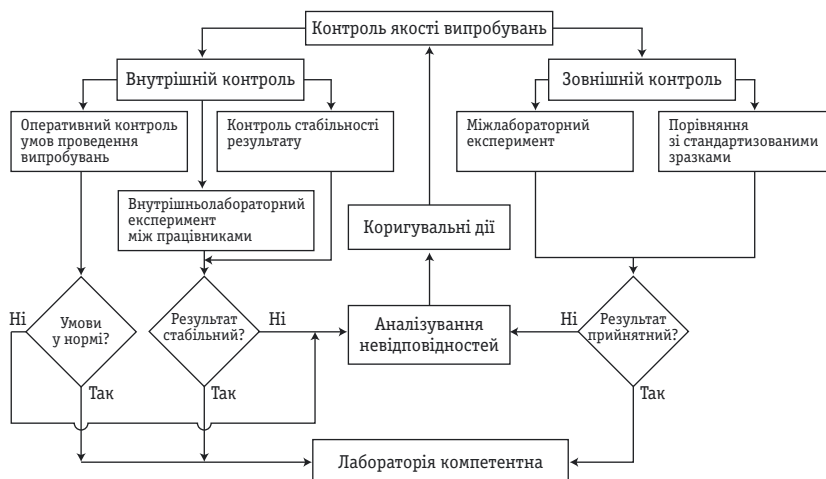


Рис. 7. Схема перевірки якості випробувань



а

б

Рис. 8. Розміщення фільтра для визначення перепаду тиску:

а — спеціальний затискний пристрій;
б — насадка

на насадці (рис. 8 б) не погіршує його умови роботи. Має значення і режим руху повітряного потоку у випробувальній камері з розміщеним у ній ЗІЗОД. Вимірювання коефіцієнта проникнення під час нагнітання повітряного потоку в камеру дає занижені результати, порівняно з показниками, отриманими у процесі відсмоктування повітря з камери за однакового часу відбирання проби.

Розбіжність результатів пояснюється тим, що у першому варіанті швидкість фільтрування на зразку зменшується порівняно з другим на величину опору ЗІЗОД, оскільки кількість повітря, що подається в камеру, складає 95 дм³/хв. Отже, необхід-

но забезпечити однаковий режим руху повітря або за нагнітання повітря у випробувальну камеру вимірювати витрату повітря після виробу.

ВИСНОВКИ

1. У результаті аналізування причин виникнення помилок у процесі випробувань ЗІЗОД встановлено, що більше 90 % їх з'являється з вини персоналу.

2. Для збільшення достовірності випробувань керівництво лабораторії має формулювати завдання стосовно кваліфікації, навчання та досвіду персоналу. Необхідно упроваджувати процедури для навчання та підготовки персоналу з урахуванням як поточних, так і майбутніх завдань лабораторії. Система підготовки персоналу має включати аналізування професійно-кваліфікаційного рівня, ділових якостей, результатів праці з відповідними параметрами та вимогами. На основі його мають розроблятися процедури навчання, перевірки та контролю рівня професійної компетентності.

3. У лабораторії необхідно впроваджувати автоматизовані системи проведення випробувань, які зменшують вплив персоналу на результати випробувань. Це передбачає: вибір методу випробувань, перевірку працездатності обладнання, вплив кліматичних умов випробувань, забезпечення перевірки отриманих результатів, контроль якості випробувань та коригувальні дії. Усі процеси мають бути взаємно пов'язаними один з одним. Також має передбачатися можливість їх відслідковувати для подальшого аналізування.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.
2. ДСТУ ГОСТ ИСО 5725:2005. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений.
3. Кошева Л.О. Алгоритм оцінки відповідності стандартизованої методики виконання вимірювань / Л.О. Кошева // Системи управління, навігації та зв'язку. — 2009. — №4 (12). — С. 94—97.
4. Володарский Е.Т. Отличительные особенности некоторых экспериментальных процедур / Е.Т. Володарский, Л.А. Кошечая // Український метрологічний журнал. — 2008. — № 3. — С. 12—18.
5. Лепесток (Легкие респираторы) / Петрянов И.В., Кошечая В.С., Басманов П.И. и др. — М.: Наука, 1984. — 218 с.
6. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. — М.: Высшая школа, 1988. — 238 с.
7. Дорожовець М. Опрацювання результатів вимірювань: Навч. посібник. — Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2007. — 624 с.
8. Новіков В. Валідація методик / В. Новіков, О. Никитюк // Стандартизація, сертифікація, якість. — 2007. — № 5. — С. 50—52.
9. Новіков В. Аналіз впровадження міжнародних вимог до компетентності у випробувальних лабораторіях агропромислового комплексу України / В. Новіков, О. Никитюк., А. Коцюба // Стандартизація, сертифікація, якість. — 2004. — № 6. — С. 31—35. ■

УДК 681.121534.8:532.57

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НЕОДНОРІДНОСТІ ПОТОКУ НА РОБОТУ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ВИТРАТИ

І. Коробко, кандидат технічних наук, доцент,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
Я. Волинська, інженер,
ДП «Укрметртестстандарт», м. Київ

Наведено результати експериментальних досліджень впливу асиметрії профілю швидкостей потоку рідини в циліндричному трубопроводі під час вимірювання її витрати та кількості ультразвуковим (УЗ) методом. Для визначення ступеня асиметрії профілю місцевих швидкостей використано методик, що розроблена з метою оцінювання впливу неоднорідності потоку на метрологічні характеристики вимірювальних перетворювачів витрати (ВПВ) для забезпечення їх ефективної роботи та ґрунтується на енергетичному оціненні плинного середовища. Проаналізовано взаємозв'язок моменту розсіяння імпульсу потоку та похибки ВПВ.

This article were described the asymmetry effect of the fluid flow velocity profile in a cylindrical pipe during measuring her flow rate and the amount by ultrasonic method. A new approach was suggested to determine the asymmetry degree in the local velocity profile, which is designed to evaluate the heterogeneity effect on the flow of the measuring flow meters metrological characteristics to ensure their efficient operation and is based on the current environment energy assessment. The analysis of the relationship since the scattering of momentum flux and uncertainty of ultrasonic flow transducers.



І. Коробко



Я. Волинська

У зв'язку з модернізацією систем водо- і теплопостачання зростають вимоги до точності вимірювань на вузлах комерційного обліку енергоресурсів. Це призводить до необхідності заміни застарілих приладів сучасними, які дозволяють проводити вимірювання з високою точністю, мінімізувавши при цьому вплив різних факторів.

Широкого розповсюдження для вимірювання витрати та кількості рідинних потоків отримали УЗ ВПВ.

Їх застосування у процесі комерційного обліку енергоресурсів дозволяє проводити вимірювання з більш високою точністю, ніж установлені на сьогодні засобами вимірювання, а також дає можливість створення автоматизованої системи обліку. Хоча прилади такого типу мають значні переваги порівняно із засобами вимірювання аналогічного призначення, вони також мають ряд недоліків, які вимагають достатньо детального вивчення і дослідження. Серед них — робота УЗ ВПВ за явно вираженої асиметрії профілів швидкості потоку.

Під час вимірювання витрати та кількості рідини у трубопроводах внаслідок місцевих гідравлічних опорів, мають місце потужні просторові неоднорідності турбулентних потоків, які суттєво впливають на метрологічні характеристики ВПВ. Для вирівнювання профілів швидкості перед і після ВПВ установлюють прямолінійні ділянки. За реальних умов експлуатації ВПВ рідини складно забезпечити необхідні прямолінійні ділянки до і після них, внаслідок чого профілі швидкостей потоку в місцях установлення ВПВ розподілені нерівномірно, що вносить додаткову похибку вимірювання. Виходячи з цього, необхідно визначити реальні параметри векторного поля швидкостей у різних поперечних перетинах потоків, а також оцінити ступінь впливу неоднорідності потоку на роботу УЗ ВПВ.

Стендові дослідження впливу неоднорідності рідинних потоків на метрологічні характеристики УЗ ВПВ

Для отримання кількісної характеристики ступеня асиметрії потоку вимірюваного середовища розроблено методику визначення моменту розсіяння імпульсу потоку (енергетичного оцінювання) [1].

Кількість руху рідини (сумарний імпульс) можна виразити залежністю [2]:

$$J = \int_S \rho \cdot v^2 \cdot dS, \quad (1)$$

де ρ — густина вимірюваного середовища; v — миттєва швидкість вимірюваного середовища; S — площа поперечного перерізу.

Залежно від розподілу швидкості у перерізі, потік може бути більш компактным або розмитим. Ступінь компактності потоку характеризується моментами розсіяння імпульсу потоку у виді:

$$\sigma_x^2 = \frac{V_m^2}{J} \int_y (y - y_0)^2 v(y)^2 dy, \quad (2)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{V_m^2}{J} \int_x (y - y_0)^2 v(x)^2 dx, \quad (3)$$

де x_0, y_0 — координати центра потоку; x, y — плінні координати точки потоку.

У разі отримання дискретних результатів вимірювання або комп'ютерного моделювання вирази (1—3) набудуть такого виду:

$$J = \sum_{i=1}^N v_i^2 \cdot \rho \cdot \Delta x, \quad (4)$$

$$\sigma_x^2 = \frac{v_{\max}^2}{J} \cdot \sum_{i=1}^N (x_i - x_0)^2 \cdot v_i^2 \cdot \rho \cdot \Delta x, \quad (5)$$

де Δx — крок між i -тими значеннями швидкості в напрямку діаметральної хорди; N — кількість точок.

Для практичного підтвердження розробленої методики проведено стендові дослідження впливу асиметрії потоку на роботу УЗ ВПВ. Дослідженню піддалися УЗ ВПВ, які реалізують часово-імпульсний метод вимірювання з різним виконанням вимірювальної камери:

а) УЗ сигнал поширюється паралельно вимірюваної рідини;

б) УЗ сигнал поширюється під кутом до осі вимірювальної ділянки.

Для моделювання місцевих гідравлічних опорів зібрано пристрій, який представляє собою два послідовних коліна з кутами повороту на 90° , з'єднаних із наступним коліном гнучкою трубопроводною системою (рис. 1).

Дослідження впливу гідравлічних опорів на гідродинамічні характеристики рідиннофазного потоку у вимірювальній камері перетворювача виконувалися методом вимірювання динамічного тиску в різних точках перетину, що відбирався за допомогою трубки Піто, яка зміщувалася у двох напрямках координатних осей вибраного перерізу (рис. 2). Зсув здійснювався дискретно на певні значення кроку від стінок камери до її центра.

Вимірювання проводилися на відстані 3, 5, 10 умовних діаметрів D_y після місцевого гідравлічного опору за витрат: $Q_1 = 0,15 \text{ м}^3/\text{год}$; $Q_2 = 1,5 \text{ м}^3/\text{год}$; $Q_3 = 15 \text{ м}^3/\text{год}$; $Q_4 = 30 \text{ м}^3/\text{год}$. Отримано діаграми розподілу швидкостей у поперечному перерізі

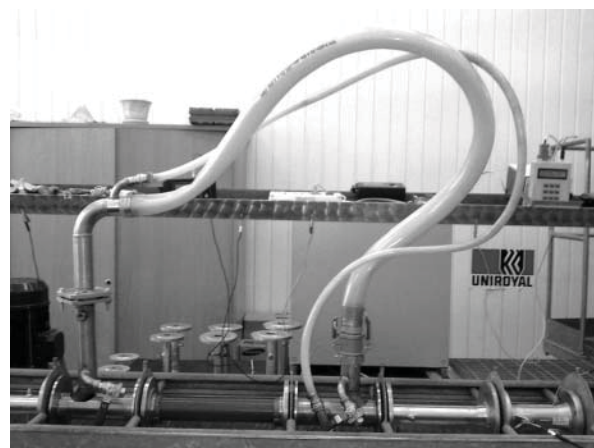


Рис. 1. Пристрій моделювання гідравлічних опорів



Рис. 2. Трубка Піто з координатною прив'язкою у перерізі

перед входом у вимірювальний канал перетворювача витрати (для прикладу наведено результати за витрати $Q_4 = 30 \text{ м}^3/\text{год}$) (рис. 3 — 5).

Для кількісного оцінювання неоднорідностей потоку в досліджених перетинах обчислено значення сумарного імпульсу і моментів розсіяння імпуль-

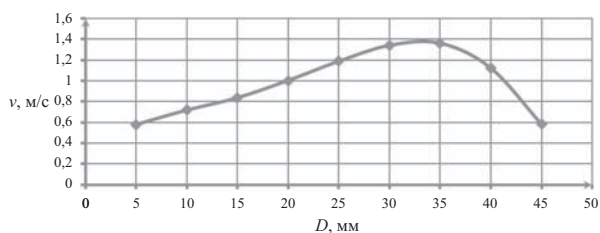


Рис. 3. Діаграма розподілу швидкостей на відстані $3 D_y$ після місцевого опору

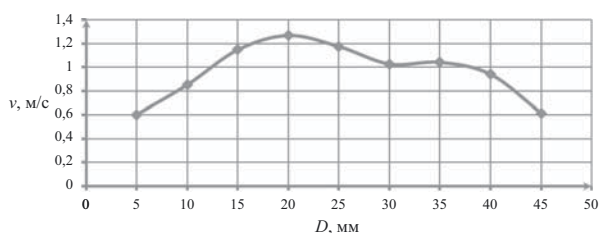


Рис. 4. Діаграма розподілу швидкостей на відстані $5 D_y$ після місцевого опору

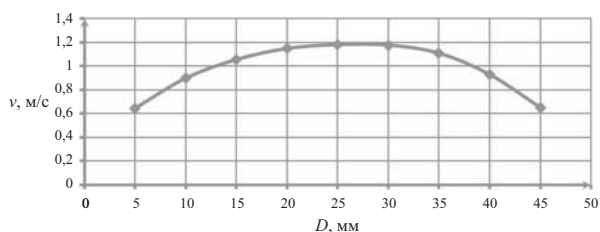


Рис. 5. Діаграма розподілу швидкостей на відстані $10 D_y$ після місцевого опору

Сумарний імпульс і моменти розсіяння імпульсу потоку

$Q, \text{ м}^3/\text{год}$	$3 D_y$		$5 D_y$		$10 D_y$	
	J	$\sigma_x^2 \cdot 10^5$	J	$\sigma_x^2 \cdot 10^5$	J	$\sigma_x^2 \cdot 10^5$
30	45,5814	19,975	43,459	17,643	44,199	15,757
15	18,5530	7,8992	18,3141	7,0579	16,3446	5,1792
1,5	0,1665	0,0638	0,1549	0,05192	0,1552	0,0457
0,15	0,0018	0,00066	0,00161	0,00055	0,00152	0,000447

су потоку за чотирьох досліджуваних витрат рідини (таблиця).

Аналізування отриманих результатів визначення ступеня асиметрії потоку рідини (рис. 3 — 5) показує, що зі збільшенням відстані від локального гідравлічного опору неоднорідності потоку зменшуються внаслідок вирівнювання епюри швидкостей.

Для визначення впливу неоднорідностей потоку на точність вимірювання його витрати УЗ перетворювачі установлювалися на магістралі в місцях, аналогічних визначенню асиметрії швидкості $D_y = 3; D_y = 5; D_y = 10$. Похибки вимірювання витрати рідини при цьому визначалися методом зрівнення з еталонним витратоміром-лічильником (рис. 6—7).

Результати первинних метрологічних досліджень двох УЗ ВПВ показують, що перетворювачі, побудовані за схемою вимірювання з поширенням УЗ сигналу паралельно вимірюваному середовищу, є менш чутливими до асиметрії потоку, ніж прилади, в яких

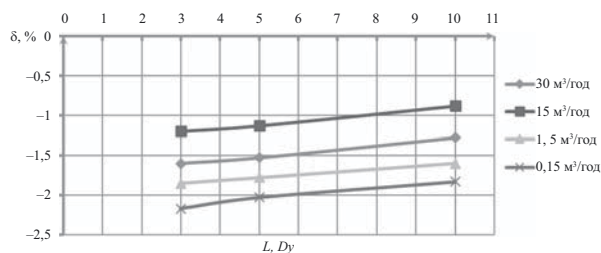


Рис. 6. Похибки приладу № 1 залежно від місця його встановлення

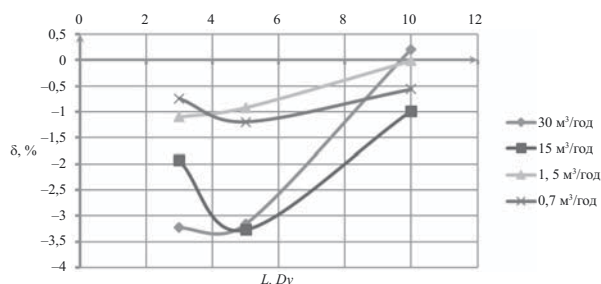


Рис. 7. Похибки приладу № 2 залежно від місця його встановлення

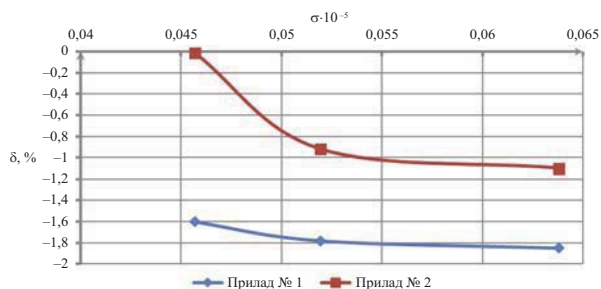


Рис. 8. Залежності похибки вимірювання $\delta, \%$ від енергетичного оцінення σ_x^2 за витрати $1,5 \text{ м}^3/\text{год}$

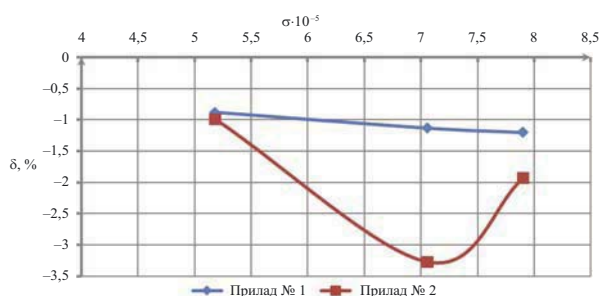


Рис. 9. Залежності похибки вимірювання $\delta, \%$ від енергетичного оцінення σ_x^2 за витрати $15 \text{ м}^3/\text{год}$

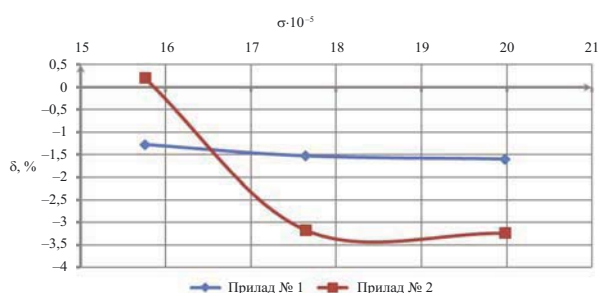


Рис. 10. Залежності похибки вимірювання $\delta, \%$ від енергетичного оцінення σ_x^2 за витрати $30 \text{ м}^3/\text{год}$

реалізується поширення УЗ сигналу під кутом до осі трубопроводу. Це можна пояснити тим, що конструкція приладу № 1, а саме наявність випрямляча потоку на вході вимірювальної камери, забезпечує достатньо точні вимірювання навіть безпосередньо

після місцевого опору. За результатами проведених метрологічних досліджень прилад на всьому діапазоні не виходить за межі граничної допустимої похибки (згідно з ДСТУ 3709 [3]).

За збільшення відстані після місцевого опору, а отже, і вирівнювання потоку як у першому, так і у другому приладах спостерігаються зниження похибки вимірювання.

Отримані результати стендових випробувань дозволяють визначити залежності похибки розглянутих УЗ ВПВ від моменту розсіювання імпульсу потоку за різних значень витрати (рис. 8 — 10).

За результатами проведених обчислень, можна зробити висновок, що похибка УЗ ВПВ є пропорційною величині моменту розсіювання імпульсу потоку, причому ця залежність не є лінійною і залежить не лише від розташування приладу на вимірювальній магістралі, але й від його конструктивного виконання.

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження показали вплив неоднорідностей рідинного потоку, зумовлених місцевими гідравлічними опорами у вимірювальній магістралі, на точність УЗ ВПВ. Оцінення результатів досліджень так само дозволяє визначити найбільш підходящі місця установлення приладів на вимірювальній ділянці з точки зору мінімізації їх похибок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Коробко І.В., Волинська Я.В. Оцінка асиметрії потоку рідини при вимірюванні її витрати та кількості // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. — 2013. — Вип. 45. — С. 91 — 98.
2. Струтинський В. Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки: Підручник. — Житомир: ЖІТІ, 2001. — 612 с.
3. Вимірювання витрат води в закритих каналах. Лічильники холодної питної води. Частина 1. Технічні вимоги: (ISO 4064-1:1978, IDT): ДСТУ 3709.1-98. — Чинний з 1999.01.01.

ДО 75-РІЧЧЯ ТЕТЯНИ ГЕОРГІЇВНИ ГРИЩЕНКО

23 жовтня 2013 року виповнилося 75 років від дня народження доктору технічних наук, лауреату Державної премії України у галузі науки і техніки, провідному науковому співробітнику Інституту технічної теплофізики НАН України **Тетяні Георгіївні Грищенко**.

Із 1962 року, вже понад 50 років, Тетяна Георгіївна працює в Інституті технічної теплофізики (ІТТФ). Вона пройшла всі щаблі наукового зростання — від інженера до завідувача відділу теплотерії, яким керувала після смерті свого вчителя, член-кореспондента АН УРСР Олега Аркадійовича Геращенко, із 1992 року по 2002 рік. Очоливши відділ і науковий напрям у непрості для вітчизняної науки роки, Т.Г. Грищенко переорієнтувала роботи колективу, які до 1991 року були здебільшого пов'язані з оборонною тематикою, на вирішення проблем енергозощадження, украй актуальних для України. Вона заслуговує особливого визнання за збереження і подальший розвиток метрологічного забезпечення наукових розроблень в умовах, коли після розпаду СРСР майже вся метрологічна база теплофізичних вимірювань залишилася в Росії; спромоглася зберегти відділ, довівши, що теплотерія як наука має перспективне майбутнє.

Тетяна Георгіївна — відомий учений у сфері теплофізичного приладобудування. Їй належить цикл наукових досліджень та розроблень, спрямованих на підвищення ефективності, надійності й точності теплофізичних приладів, розроблення прогресивних енерго- і ресурсощадних технологій. За безпосередньої участі та під її керівництвом розроблено ряд теплофізичних приладів для різних галузей народного господарства, зокрема, для вирішення проблем паливно-енергетичного комплексу і комунального господарства. Це малогабаритні високочутливі термоелектричні перетворювачі теплового потоку широкого спектра застосування, включаючи космічні дослідження та роботи з ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС; цифрові прилади серії ІТП, призначені для вимірювання теплових втрат і температури; диференціально-мостові калориметри ДМСК та ДМК-Ч для дослідження теплофізичних властивостей матеріалів і теплових ефектів; комплекси ІМРТ і ТРАСА для обстеження робочих тепло tras з метою завчасного виявлення неякісних ділянок теплоізоляції підземних теплопроводів; багато-канальні вимірювальні комплекси для контролю теплоізоляційних властивостей будівельних конструкцій у лабораторних і натурних умовах та багато інших. Створені під її керівництвом вимірювачі теплопроводності ІТ-4 та ІТ-5 випускалися в ІТТФ серійно і до сьогодні використовуються у наукових, промислових, навчальних організаціях України і країн СНД. Отриманий досвід та теоретичні дослідження реалізовано у створенні нових сучасних приладів ІТ-7 та ІТ-8.

Результати теоретичних та прикладних розроблень Т. Г. Грищенко викладено у понад 350 публікаціях, серед яких монографії, статті, навчальні посібники, патенти, нормативні документи, які належать до основи сучасної теплотерії, її метрологічного забезпечення і стандартизації. Під її науковим керівництвом створено чотири міждержавні стандарти, які вперше нормують методи і засоби вимірювання теплових потоків, гармонізовано понад 20 стандартів у сфері вимірювань теплових величин з міжнародними та європейськими, що є ваговим внеском до міжнародної інтеграції України. За ці роботи Тетяні Георгіївні Грищенко у 2004 році у складі авторського колективу присуджено Державну премію України у галузі науки і техніки. Раніше вона неодноразово нагороджувалася медалями ВДНГ СРСР, дипломами ВДНГ УРСР, удостоєна премії ім. академіка С. І. Вавилова.

Тетяна Георгіївна — уособлення самовіддачі та наполегливості. Її невичерпна енергія та оптимізм надихають і викликають пошану; її щирість, готовність й уміння передати весь свій багатий досвід та глибокі знання втілилися у вихованні нового покоління колег-теплотеристів.



Друзі, колеги, співробітники, редакція та редколегія журналу «Метрологія та прилади» щиро вітають Тетяну Георгіївну Грищенко з ювілеєм, бажають їй міцного здоров'я, 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 вимірювальних 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 2014 рік

Ч/ч	Курс	Період навчання
	1. Підвищення кваліфікації фахівців повірничих та калібрувальних лабораторій з повірки та калібрування засобів вимірювальної техніки за видами вимірювань:	
1.1	геометричних величин	31.03 — 12.04; 08.12 — 19.12
1.1.1	спеціалізованих засобів вимірювань геометричних величин на залізничному транспорті	у міру комплектування, 1 тиждень
1.1.2	колівимірювальних шаблонів	у міру комплектування, 1 тиждень
1.1.3	шаблонів вагонного господарства	у міру комплектування, 1 тиждень
1.2	механічних величин	12.05 — 23.05
1.2.1	маси	12.05 — 19.05
1.3	параметрів потоку, витрат, рівня та об'єму речовин	16.06 — 27.06
1.3.1	маси, об'єму, місткості та витрати	16.06 — 27.06
1.3.2	маси, об'єму, місткості	16.06 — 27.06
1.3.3	об'єму, місткості	16.06 — 20.06
1.4	температури, тиску, витрати	10.03 — 21.03; 10.11 — 21.11
1.4.1	температури, тиску	10.03 — 21.03; 10.11 — 21.11
1.4.2	тиску	10.03 — 17.03; 10.11 — 17.11
1.5	електричних величин	03.02 — 14.02; 22.09 — 03.10
1.5.1	електричних величин на залізничному транспорті	у міру комплектування, 1 тиждень
1.6	радіотехнічних величин	03.02 — 14.02; 22.09 — 03.10
1.6.1	радіотехнічних величин на залізничному транспорті	у міру комплектування, 1 тиждень
	2. Підвищення кваліфікації фахівців за курсами:	
2.1	Забезпечення єдності вимірювань на підприємстві	07.04. — 18.04; 20.10 — 31.10
2.2	Метрологічна експертиза технічної документації	07.04. — 18.04; 20.10 — 31.10
2.3	Забезпечення єдності вимірювань в закладах охорони здоров'я	26.05 — 30.05
2.4	Забезпечення єдності вимірювань ВК ВІС та АСК ТП. Метрологічний контроль ВК	30.06 — 11.07
2.5	Забезпечення єдності вимірювань в калібрувальних та вимірювальних лабораторіях	07.04 — 11.04; 20.10. — 24.10
2.5.1	Забезпечення відповідності калібрувальних та вимірювальних лабораторій критеріям атестації в ДМС, підготовка до атестації	07.04 — 11.04; 20.10. — 24.10
2.6	Забезпечення єдності вимірювань при проведенні контролю колісних транспортних засобів	27.01 — 31.01; 24.03 — 28.03
2.6.1	Забезпечення єдності вимірювання димності відпрацьованих газів двигунів автомобілів згідно з ДСТУ 4276:2004	27.01 — 31.01; 24.03 — 28.03
2.7	Забезпечення єдності вимірювання та обліку витрат енергоносіїв	13.01 — 17.01; 02.06 — 06.06; 24.11 — 28.11
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	13.01 — 17.01; 02.06 — 06.06; 24.11 — 28.11
2.7.3	Основні методи та засоби вимірювання витрати та кількості газу на підприємствах постачання газу споживачам. Калібрування та повірка ЗВТ	13.01 — 17.01; 02.06 — 06.06; 24.11 — 28.11
2.8	Розробка та атестація методик виконання вимірювань. Оцінка похибки та невизначеності вимірювань	17.02 — 21.02
2.9	Технічне регулювання в Україні	27.01 — 31.01; 16.06 — 20.06
2.10	Розробка і впровадження систем управління якістю	27.01 — 31.01; 27.10 — 31.10
2.10.1	Забезпечення функціонування систем управління якістю та проведення внутрішнього аудиту	27.01 — 31.01; 27.10 — 31.10
2.11	Стандартизація, розробка та впровадження нормативних документів	02.06 — 06.06
2.12	Державний метрологічний нагляд	у міру комплектування, 1 тиждень
2.13	Державний ринковий нагляд	у міру комплектування, 1 тиждень
2.14	Підготовка внутрішніх аудиторів систем екологічного менеджменту (ISO 14001:2004)	у міру комплектування, 1 тиждень
2.15	Вимоги до калібрувальних та випробувальних лабораторій відповідно до ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Внутрішній аудит в лабораторіях	20.01 — 24.01; 03.11 — 07.11
2.15.1	Вимоги до калібрувальних лабораторій відповідно до ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Оцінювання невизначеності вимірювань	20.01 — 24.01; 03.11 — 07.11
2.15.2	Вимоги до випробувальних лабораторій відповідно до ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Оцінювання невизначеності вимірювань	20.01 — 24.01; 03.11 — 07.11
2.15.3	Внутрішній аудит в лабораторіях за ДСТУ ISO/IEC 17025:2006	20.01 — 24.01; 03.11 — 07.11
2.16	Тепловізійні вимірювання. Тепловізійні методи контролю і діагностики	27.01 — 31.01; 24.03. — 28.03; 24.11 — 28.11; 01.12 — 05.12
2.17	Проведення вимірювань та випробувань електротехнічними лабораторіями	24.02 — 28.02; 01.12 — 05.12
2.18	Актуальні питання роботи служб технічного контролю на підприємствах	у міру комплектування, 1 тиждень
	3. Підвищення кваліфікації та тематичні семінари на виїзній базі Харківській філії ДП «УкрНДНЦ»:	
3.1	Забезпечення єдності вимірювань на підприємстві (для метрологів з досвідом роботи)	21.04 — 25.04; 13.10 — 17.10
3.1.1	Особливості забезпечення єдності вимірювань в сучасних умовах	23.04 — 25.04; 15.10 — 17.10
3.2	ISO 14001:2004. Аудитор систем екологічного менеджменту	жовтень, квітень

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

Комплектування додаткових груп проводиться за 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; e-mail: hf_ukrndnc@i.ua
Навчально-методичний відділ