

Вимірюйте
усе доступне вимірюванню
й робіть недоступне вимірюванню
доступним.

Галілео Галілей

ISSN 2307-2180

Метрологія



та прилади

№ 2 I (40), 2013

Науково-виробничий журнал

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

Журнал **включено** до Міжнародної
наукометричної бази даних
Index Copernicus

Засновники:

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

Видається з 2006 року
Передплатний індекс **92386**

Редакційна колегія:

Большаков В. Б., д. т. н., с. н. с.
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.
Неежмаков П. І., к. т. н.
Петришин І. С., д. т. н., проф.
Радєв Х., д. т. н., проф., Болгарія
Рожнов М. С., к. х. н., с. н. с.
Руженцев І. В., д. т. н., проф.
Скубіс Т., д. т. н., проф., Польща
Столярчук П. Г., д. т. н., проф.
Сурду М. М., д. т. н., проф.
Туз Ю. М., д. т. н., проф.
Хакімов О., д. т. н., проф., Узбекистан
Чалий В. П., к. т. н., с. н. с.
Черепков С. Т., к. т. н., доц.
Чуновкіна А. Г., д. т. н., Росія

Редакційна група:

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

Журнал **рекомендовано до друку**
вченою радою Харківського
національного університету
радіоелектроніки
(протокол №21 від 24.04.2013)

Видає ВКФ «Фавор»

Адреса редакції:

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

Підписано до друку 30.04.2013.
Формат 60×84/8. Папір крейдований.
Ум. друк. арк. 8,43. Обл.-вид. арк. 7,13.
Друк офсетний. Тираж 450 прим.
Замовлення № 15

© «Метрологія та прилади», 2013

Випуск журналу «Метрологія та прилади», шановні читачі, з яким Ви маєте можливість ознайомитися, на перший погляд, відрізняється від звичайного, чергового, хіба що терміном виходу — напередодні Великого свята, Дня Перемоги. Із цим святом редакція та редколегія журналу щиро вітають Вас, всіх співвітчизників і особливо всіх учасників найкровопролитнішої в історії людства війни, які на бойових і трудових фронтах відстояли рідну землю від загарбників, забезпечивши всім нам мирне життя! Ми схилиємося перед світлою пам'яттю тих, хто задля цієї Перемоги віддав найдорожче для людини — своє життя, ми шануємо кожного, хто зробив свій внесок аби якнайшвидше наблизити День Перемоги.

Звертаємо, однак, увагу читачів на першу сторінку журналу, за якою можна відзначити певні істотні особливості випуску. Вони не лише у його номері — сороковому. Це перший випуск журналу в новому статусі — видання, включеного до Міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus. Новацією є й те, що журнал отримав міжнародний стандартний номер серійного видання, у складі його редакції віднині не лише вітчизняні провідні вчені та фахівці-метрологи, а й зарубіжні. Наразі завершується перереєстрація журналу як видання з міжнародним поширенням, одним із співзасновників якого має стати Академія метрології України.

Сподіваємося, що зазначені особливості сприятимуть подальшому підвищенню рівня наукових публікацій, реалізації пропонувань у них ідей, методів і способів у метрологічну практику, інтересу до них читачів.

МІЖНАРОДНЕ СПІВРОБІТНИЦТВО	INTERNATIONAL COOPERATION
Неежмаков П. 30 засідання JCRB 3	Neiezhmakov P. The 30th meeting of JCRB
ВИМІРЮВАННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ	MEASUREMENT AND TESTS
Шабашкевич Б., Добровольський Ю. Особливості радіометрії та дозиметрії УФ випромінювання 6	Shabashkevych B., Dobrovolskiy Yu. Peculiar properties of radiometry and dosimetry of UV radiation
Лошак М., Александрова Л., Косенчук Т. Міцність кристалів алмазу за статичного навантаження стиском 11	Loshak M., Aleksandrova L., Kosenchuk T. Diamond crystals strength under static pressure loading
МЕТОДИ ТА МЕТОДИКИ	METHODS AND PROCEDURES
Боряк К., Манзарук М., Гуцалюк М. Порівняльний аналіз різних підходів до оцінювання технічного стану гідродемпферів у виробників та експлуатаційників рухомого залізничного складу 16	K. Boryak, M. Manzaruk, M. Gutsalyuk, Comparative analysis of different approaches to the estimation of the technical state of hydraulic dampers from the manufacturers and operators of rolling stock
КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИК	PARAMETERS AND CHARACTERISTICS CONTROL
Воробьєв Л., Грищенко Т., Декуша Л., Декуша О., Ковтун С., Шмаров Е. Теплометрические средства контроля тепловой нагрузки на головной обтекатель ракеты-носителя 22	Vorobyov L., Gryshchenko T., Dekusha L., Dekusha O., Kovtun S., Shmarov Ye. Heat-metric control instruments of thermal load on launch-vehicle payload fairing
МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	METROLOGICAL MAINTENANCE
Петришин І., Джочко П., Бас О. Щодо метрологічного забезпечення лічильників газу на реальному середовищі за відповідних тисків 30	Petryshyn I., Dzhochko P., Bas O. Metrological maintenance of gas meters in a real-life environment at corresponding pressure
Гоц Н. Формування методології розвитку системи метрологічного забезпечення термометрії випромінювання 37	Gots N. Formation of methodology for developing of metrological maintenance system of thermometry radiation
ПОВІРКА ТА КАЛІБРУВАННЯ	VERIFICATION AND CALIBRATION
Одноралов В., Цымберов Л. Промышленная автоматизированная установка для калибровки вакуумметров в области низкого и среднего вакуума 41	Odnoralov V., Tsymerov L. Industrial automation system for calibrating gauges in the low and medium vacuum
ЕКОЛОГІЧНЕ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ	ECOLOGICAL INSTRUMENT ENGINEERING
Приміський В., Жужа А. Стан та перспективи розвитку полум'яно-іонізаційного методу для вимірювання концентрації вуглеводнів 45	Prymiskiy V., Zhuzha A. Status and prospects of a flame-ionization method for hydrocarbons concentration measurement
ГЕОДЕЗИЧНА МЕТРОЛОГІЯ	GEODESIC METROLOGY
Болух В., Вінніченко О. Абсолютні балістичні лазерні гравіметри із симетричним способом вимірювання прискорення вільного падіння 53	Bolyukh V., Vinnichenko O. Absolute ballistic laser gravimeter with a symmetric way of measuring free-fall acceleration
МЕТРОЛОГІЯ У ЖКГ	METROLOGY IN HOUSING AND COMMUNAL SERVICES
Шатохіна Ю. Контроль функціонування аеротенку за фізичними показниками нитчастих бактерій 60	Shatohina Yu. Control of functioning aeration tanks according to physical characteristics of filamentous bacteria
МІЖЛАБОРАТОРНІ ПОРІВНЯННЯ	INTERLABORATORY COMPARISON
Івков А., Рудюк Г., Ніколайчук Т. Міжлабораторні порівняння результатів вимірювань показників хімічного складу матеріалів гірничо-металургійного виробництва у випробувальних та вимірювальних лабораторіях 64	Ivkov A., Rudiuk G., Nikolaichuk T. Interlaboratory comparison of measurement results of indicator of the chemical composition of materials of mining and metallurgical industry in test and measurement laboratories
ВІТАЄМО ЮВІЛЯРІВ	WELCOME
До 70-річчя Володимира Борисовича Большакова 70	To the 70th anniversary of V. B. Bolshakov
ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ	TRAINING EXPERTS
План набору слухачів на травень—грудень 2013 року 71	State Enterprise for Year 2013
ПАМ'ЯТІ ТОВАРИША	DEDICATION
Колпак Богдан Дмитрович 72	B. D. Kolpak
ІНФОРМАЦІЯ	INFORMATION
..... 15, 36	



П. Неєжмаков, Віце-президент COOMET, перший заступник генерального директора з наукової роботи, ННЦ «Інститут метрології», м. Харків

19—20 березня у Міжнародному бюро з мір і вагів (BIPM, Париж, Франція) відбулося 30-е засідання Об'єднаного комітету регіональних метрологічних організацій і BIPM. Його відкрив директор BIPM Мартін Мілтон, який доповів *про результати діяльності бюро* за період після попереднього засідання. На початок березня налічується 55 держав-членів Метричної Конвенції й 37 асоційованих членів Генеральної Конференції з мір і вагів (CGPM). У лютому Метричну Конвенцію підписала Колумбія, проте виключено Північну Корею й Камерун. Протягом року Угоду про взаємне визнання національних еталонів і сертифікатів калібрування й вимірювання, видаваних національними метрологічними інститутами (НМІ), (CIPM MRA) підписали Намібія й Європейське Космічне Агентство. Отже, в Угоді CIPM MRA на сьогодні беруть участь 91 НМІ з 51 держави-члена й 38 асоційованих членів, 4 міжнародні організації й 146 призначених інститутів (ПІ). Наразі BIPM працює над розширенням числа асоційованих членів, серед кандидатів: Азербайджан, Киргизстан та Узбекистан.

У 2012 році BIPM видало 88 Сертифікатів калібрування, завершило 4 наукових дослідження: у сфері електрики — 44, іонізуючих випромінювань — 25, маси — 23, координувало 35 звірень, у яких брали участь 232 НМІ / ПІ.

У січні минулого року департамент часу BIPM почав пілотний експеримент, спрямований на забезпе-

чення доступу до шкал часу UTCr («rapid UTC»), відновлення даних у яких відбувається щодоби, а публікація — щотижня, тобто частіше порівняно зі щомісячною публікацією Циркуляра Т. Через рік після початку експерименту UTCr досягла очікуваної якості: зсув шкали UTCr відносно шкали міжнародного координованого часу UTC не перевищує 2 нс. Офіційна публікація UTCr почнеться у середині поточного року після затвердження Консультативним Комітетом (CC) з часу й частоти.

Завершуються останні приготування групи з 12 еталонів-копій маси у зв'язку з майбутнім перевизначенням кілограма.

Помічник директора з міжнародних зв'язків Енді Хендсон виступив з доповіддю щодо *функціонування системи якості BIPM*. Бюро діє під винятковим керівництвом і контролем Міжнародного Комітету з мір і вагів (CIPM), не є стороною, що підписала CIPM MRA, тому його система менеджменту якості (QMS) проходить експертизу окремо. У BIPM прийнято самопроголошену QMS, яка містить положення як ISO 17025, так й ISO Guide 34. QMS покриває всі види діяльності BIPM. Менеджер з якості звітує перед директором. QMS офіційно проходить експертизу групи з якості, яка збирається не менше одного разу на рік. Учасників засідання поінформовано, що п. Карлос Маггі, колишній координатор системи якості Національної ради з досліджень (NRC) Канади, змінив Бруно Коелью на посаді менеджера з якості, охорони здоров'я й безпеки BIPM.

Діяльність CIPM висвітлив Секретар CIPM Роберт Каарлс. У жовтні обрано нових Президентів двох Консультативних Комітетів: з питань фотометрії й радіометрії — Токаші Усуду (NMIJ, Японія), маси й пов'язаних величин — Пилипа Річарда (METAS, Швейцарія). З 1 грудня обов'язки Виконавчого секретаря JCRB виконує Чингиз Куамбаєв — начальник відділу механічних вимірювань Казахського інституту метрології (КазІнМетр). З 1 січня директором BIPM призначено М. Мілтона, який працював провідним науковим співробітником групи метрології газів й аналізів на мікроелементи Національної фізичної лабораторії (NPL, Великобританія).

Р. Каарлс поінформував про результати засідання директорів HMI, що відбулося у жовтні, і 101 засідання CIPM. Серед питань, які обговорювалися: прозоріша процедура обирання членів CIPM і формування критеріїв, яким вони мають відповідати, а також періодичність і тривалість проведення Генеральних Конференцій. Висвітлив він питання стратегічного планування CC й їх робочих груп. Чергове засідання офіційних представників країн-учасниць Метричної Конвенції й директорів HMI заплановано на 16—17 жовтня 2013 року.

Були представлені результати спільного засідання BIPM — CIPM — ILAC — ISO — OIML, що відбулося у березні. Серед них:

- включення до Угоди з ILAC інспекційних органів, а незабаром і постачальників кваліфікаційних випробувань (PT) і виробників сертифікованих стандартних зразків (CRM);
- використання Настанови ISO Guide 34 як самостійного документа для акредитації виробників CRM;
- затвердження в січні 2013 року таких документів: ILAC P10 (Політика ILAC стосовно простежуваності) й ILAC P14 (Політика ILAC щодо невизначеності калібрувань);
- пропозиція з перегляду ISO/IEC 17025;
- способи демонстрування можливостей, компетентності, простежуваності для акредитованих установ, що мають первинні еталони, і не є НМІ/ПІ;
- аналізування того, як метрологія, акредитація й розроблення стандартів можуть взаємно збільшувати важливість послуг, надаваних клієнтам;
- відновлення Консультативної групи з технічних питань 4 (TAG 4) ISO для вивчення потреб Технічних комітетів (TK) ISO, стосовних до «Настанови з вираження невизначеності у вимірюваннях» (GUM) і «Міжнародного словника метрології. Основні й загальні поняття й відповідні терміни» (VIM).

Представники всіх РМО: SIM — п. Клаудія Санто, EURAMET — д-р Магуелонн Шамбон, COOMET —

д-р Павло Неєжмаков, APMP — д-р Ілля Будовскі, AFRIMETS — д-р Вінанд Лоу, — доповіли про реалізацію CIPM MRA у регіональних організаціях.

Клаудін Томас, адміністратор бази даних ключових звірень (KCDB), представила звіт про статус KCDB і зміни у записах, здійснені за останні півроку.

За станом на 1 березня загальна кількість калібрувальних і вимірювальних можливостей (СМС), опублікованих у KCDB, склала 25591 рядків (збільшення на 757 СМС), із них: 16 331 — у сфері фізики, 3 900 — іонізуючих випромінювань, 5 360 — хімії. За РМО розподіл опублікованих СМС такий: EURAMET — 12 171, APMP — 5 934, SIM — 4 847, COOMET — 1 971, AFRIMETS — 408. 247 СМС-рядків має Інститут стандартних зразків і вимірювань (IRMM) і 13 — Міжнародне агентство з атомної енергії (IAEA). Після 29-го засідання JCRB 106 рядків тимчасово переміщено у «сіру зону», отже, загальна кількість СМС у «сірій зоні» склала 295 рядків, причому лише 1 рядок перебуває в ній більше 5 років. За регіональними організаціями розподіл СМС у «сірій зоні» такий: SIM — 202 рядки, EURAMET — 78 (із них 64 рядки Бельгії через істотні зміни у персоналі), APMP — 10, AFRIMETS — 5.

На виконання рішень 28-го засідання JCRB про розподіл СМС-файлів за категоріями проведено розподіл для сфер вимірювань: хімія, акустика, ультразвук і вібрація, маса й пов'язані величини, довжина й кут, іонізуючі випромінювання. Файли у сфері електрики й магнетизму є великими й складними, тому вирішено не розділяти їх за категоріями.

За станом на 1 березня у базі даних зареєстровано 1183 звірення, із них 829 — ключових (406 — у рамках CC, 86 — BIPM, 132 — EURAMET, 117 — APMP, 48 — SIM, 37 — COOMET, 3 — AFRIMETS) і 354 додаткових. У KCDB опубліковано результати 172 ключових звірень РМО, із них 77 проведено в EURAMET, 59 — в APMP, 20 — у COOMET, 16 — у SIM. За їхніми результатами опубліковано в цілому близько 1950 графіків еквівалентності, у тому числі більше 80 нових — за останні шість місяців.

Опубліковано остаточні звіти 187 із 354 зареєстрованих у KCDB додаткових звірень. За останній рік відзначено зростання числа реєстрацій додаткових звірень і зменшення — ключових.

Отже, 64 % зареєстрованих у KCDB звірень завершено й мають, як правило, бути опубліковані в Технічному додатку журналу «Metrologia» остаточні звіти. Цей відсоток залишається незмінним ось уже кілька останніх років.

Залишається проблемою недостатня активність асоційованих членів CGPM з публікацій СМС-рядків. Лише 16 із 36 мали опубліковані рядки у KCDB.

Учасники засідання були поінформовані про проблеми, передані СС для розгляду JCRB.

➤ *Перша* стосується залучення комерційних компаній до пілотних досліджень.

За певних обставин до них можна залучати зовнішні організації для отримання й обміну новими знаннями. Однак їхні результати не можуть бути опубліковані у KCDB і використовуватися у комерційних цілях. JCRB підтвердив, що участь зовнішніх організацій у ключових і додаткових звіреннях є неприпустимими.

➤ *Друга* — порядку затвердження необхідного редакційного виправлення доповідей з додаткових звірень.

Обговорено пропозицію, щоби вимоги з редакторського виправлення звіту додаткових звірень перетворити з фінального звіту в Draft A або B, оскільки автори можуть втратити інтерес або буде недостатньо часу для ознайомлення з виправленнями до його затвердження.

JCRB не схвалив пропозиції переглянути стадію Draft з метою забезпечення якості звітів на фінальній стадії — автори й РМО мають виконувати зобов'язання за CIPM MRA, більше того, відзначено, що Draft A має бути конфіденційним і поширюватися лише серед учасників.

➤ *Третя* — заяви щодо невідповідності між CIPM MRA-D-04 (включаючи спільне CIPM й ILAC визначення СМС) та ILAC-P14:12/2010 опрацювання стосовно невизначеностей, пов'язаних з випробуванням засобом вимірювання. Відзначено, що формулювання у документах CIPM MRA-D-04 й ILAC P14 дійсно поки що є різними (документ ILAC дає більш докладні пояснення, які є не настільки істотними для внесків до невизначеності випробуваного засобу вимірювання), але немає ніякої невідповідності й необхідності вносити зміни до CIPM MRA-D-04.

➤ *Четверта* — процедури переміщення СМС до «сірої зони», їхнього відновлення й вилучення СМС, що перебувають у «сірій зоні» більше п'яти років. Оскільки цей процес не описано у CIPM MRA-D-04, JCRB доручив Виконавчому Секретареві JCRB підготувати відповідний текст для CIPM MRA-D-04 для затвердження його на наступному засіданні JCRB.

А. Хенсон представив коротку інформацію стосовно запропонованих змін до CIPM/2005-06REV, CIPM MRA-D-02, CIPM MRA-G-01 CIPM MRA-D-04 і CIPM MRA-D-05, які містять відновлення посилань на документи, виправлення перехресних посилань, усунення незначних невідповідностей, поліпшення чіткості викладених вимог. Вони затверджені JCRB.

М. Мілтон звернув увагу учасників на семінар «Кращі практики проведення експертизи СМС».

Усі РМО й СС підготували й поширили документи, у яких докладно висловили точки зору на підвищення ефективності міжрегіональних експертиз СМС.

Після їх обговорення JCRB погодив такі резолюції, рекомендації та дії:

* *З метою зменшення часу проведення міжрегіональної експертизи СМС вирішено:*

- скоротити час для повідомлення «наміру про експертизу», а також для затвердження СМС з 6 до 3 тижнів (з нагадуванням через 2 тижні);

- термін надання доповіді про експертизу, яку проводить РМО, перетворити на «фіксований термін» (з нагадуванням до 3 тижнів).

* *Рекомендовано:*

- СС і РМО використовувати web-форум VIPM як інструмент ефективного обміну інформацією, і (взяти до уваги) розглянути розширене використання «прискороного просування» для забезпечення більш швидкого опрацювання СМС;

- зменшити, де це можливо, дублювання результатів під час міжрегіональної експертизи, що проводиться РМО одних і тих же СМС;

- РМО приділяти більше уваги відповідним рекомендаціям під час проведення внутрішньорегіональної експертизи для підвищення ефективності міжрегіональної експертизи СМС.

* *Запропоновано:*

- CIPM регулярно контролювати стан звітів стосовно ключових звірень, і у такий спосіб звести до мінімуму кількість випадків значної затримки звітів;

- РМО зробити доступними на сайтах рекомендації стосовно систем якості й експертизи СМС.

А. Хенсон надав інформацію стосовно нових редакцій документів ILAC P14 й ILAC P10. На сьогодні вони опубліковані й доступні на сайті ILAC.

М. Мілтон зазначив, що обговорення пропозицій проведення експертизи СМС за допомогою інтернет-ресурсів для уведення й обміну заявленими СМС «притримано». Більшість учасників семінару бачать потенційну перевагу у реалізації цього рішення. Така можливість розглядається VIPM.

JCRB запропонував:

Виконавчому Секретареві JCRB включити такі пункти до порядку денного 31-го засідання JCRB:

- функціонування й життєздатність III;
- яке призначення KCDB? Який його вплив на НМІ й зацікавлені сторони? Ким він використовується та які його успіхи?

Наступні засідання JCRB планується провести у НІМ (Китай) 18—19 вересня 2013 року, в КазІнМетр восени 2014 року. ■

УДК 535.214.4:532.1.074:66.085.3

ОСОБЛИВОСТІ РАДІОМЕТРІЇ ТА ДОЗИМЕТРІЇ УФ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Б. Шабашкевич, кандидат технічних наук, директор,

Ю. Добровольський, кандидат технічних наук, заступник директора,
НВФ «Тензор», м. Чернівці

Розглянуто особливості вимірювання УФ випромінювання, пов'язаного зі специфікою спектрального розподілу його джерела. Показано, що вимірювальний процес має, перш за все, базуватися на відповідності калібрування приладу та джерела ультрафіолетового (УФ) випромінювання, яке цим приладом досліджується.

The article considers features of measuring UV radiation associated with a specific spectral distribution of radiation sources. The study shows that the measurement process should primarily be based on compliance calibration and sources of UV radiation, which this instrument is investigated.

У промисловості, медицині, наукових дослідженнях широко використовуються різноманітні джерела УФ випромінювання, спектральний склад яких впливає на біологічні процеси, що протікають в організмі людини. Саме ця область спектра оптичного випромінювання, (200 — 400) нм, зумовлює різні фотохімічні реакції й розрив хімічних зв'язків для багатьох хімічних речовин [1]. У зв'язку з цим актуальною є проблема точного вимірювання характеристик УФ випромінювання за допомогою УФ радіометрів.

Вимірювання параметрів УФ випромінювання є, на перший погляд, відносно нескладним завданням, з огляду на те, що за останні десять років в Україні розроблено відповідний державний еталон, стандарти та методики, які забезпечують такі вимірювання. Актуальність зазначених вимірювань зумовлена наявністю величезної кількості джерел УФ випромінювання, що застосовуються як у виробництві, так і в побуті й здатні здійснювати достатньо шкідливий вплив на людей.

До параметрів УФ випромінювання, які підлягають контролю, щонайменше — у виробничій зоні, належать енергетична освітленість та енергетична доза, які є енергетичними величинами і вимірюються у певних спектральних діапазонах А (320 — 400) нм, В (280 — 320) нм, С (200 — 280) нм [2]. Наприклад, вимірювання енергетичної освітленості в діапазоні В означає вимірювання усього потоку енергії електромагнітного випромінювання, яка припадає на діапазон В від певного



Б. Шабашкевич



Ю. Добровольський

джерела УФ випромінювання. Еталонним приймачем УФ випромінювання у цьому випадку може бути напівпровідниковий фотоприймач, чутливий в УФ області спектра з комплектом світлофільтрів, які забезпечують йому максимальну чутливість саме в обраних діапазонах — А, В, С і нульову чутливість за межами обраних діапазонів.

Рівень УФ випромінювання визначають також в ефективних одиницях. Ефективні одиниці пов'язані з біологічною дією випромінювання. У свою чергу, біологічна дія УФ випромінювання поділяється на еритемну (280 — 400) нм [3] та бактерицидну (200 — 400 нм) [4]. Еталонними приймачами для цього є шкіра людини та шлункова паличка [5]. Система ефективних одиниць є дуже зручною, але вона часто призводить до похибок і не враховує, що механізми взаємодії УФ випромінювання з різними біологічними об'єктами є завжди різними.

Слід зауважити, що для забезпечення санітарно-гігієнічних умов праці людей, які працюють в умовах підвищеної УФ радіації, розроблено нормативи допустимої УФ опроміненості [2, 6, 7] в областях УФ-А (400 — 315) нм, УФ-В (315 — 280) нм і УФ-С (280 — 200) нм, які встановлюють такі вимоги до УФ радіометрів: діапазон вимірювання енергетичної освітленості з урахуванням межі основної відносної похибки вимірювання $\pm 10\%$ від 10^{-4} до 200 Вт/м².

Спектральні методи вимірювання випромінювання, особливо в УФ частині спектра, є складними для застосування в гігієнічній, медичній та метеорологічній практиках. Тому для вирішення цієї проблеми можливе застосування приладів інтегрального типу з жорстко уніфікованими спектральними характеристиками приймачів вимірювання, які оцінюють випромінювання в енергетичних одиницях. УФ радіометри належать до такого типу приладів і можуть застосовуватися в біології й медицині, службами охорони праці, а також у наукових дослідженнях.

Однак, під час проведення вимірювань у користувачів приладів виникає питання. Чому не можна здійснювати вимірювання енергетичної освітленості, наприклад, у діапазоні С за допомогою УФ дозиметра, оптимізованого на вимірювання бактерицидної складової УФ випромінювання, коли величина дози визначається вимірем значенням енергетичної освітленості? При цьому джерело випромінювання не міняється.

Мета роботи, виходячи з наведеного вище, полягає у дослідженні особливостей вимірювання УФ випромінювання, пов'язаного зі специфікою спектрального розподілу джерела випромінювання.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для дослідження зазначених особливостей вимірювання УФ випромінювання розглянемо спектральні характеристики чутливості певних чутливих до нього сенсорів.

На рис. 1 і 2 наведено відносні спектральні характеристики чутливості. Зокрема, на рис. 1 — бактерицидну чутливість мікроорганізмів [4, 8, 9], на рис. 2 — відносну спектральну еритемну ефективність [10—13]. По суті, на цих рисунках наведено спектральні характеристики чутливості датчиків, які вимірюють параметри УФ випромінювання в ефективних одиницях, — бактерії та шкіри людини. Зазначимо, що бактерицидна складова УФ випромінювання (рис. 1) займає спектральний діапазон

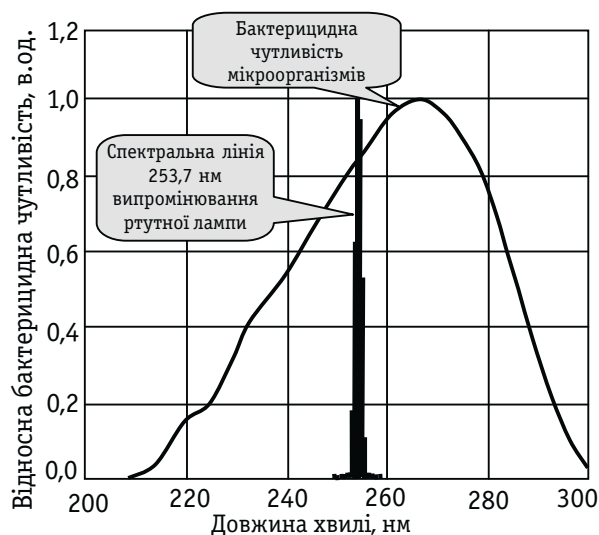


Рис. 1. Відносна бактерицидна чутливість мікроорганізмів

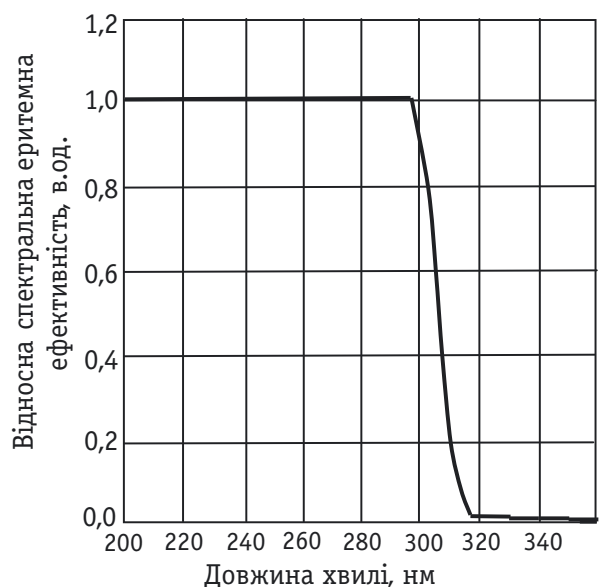


Рис. 2. Відносна спектральна еритемна ефективність шкіри людини

від 210 до 390 нм [4] і не відповідає спектральному діапазону С (200 — 280) нм). Очевидно, що найбільший бактерицидний вплив на живі організми створює випромінювання з довжиною хвилі, близькою 670 нм. Якщо розглядати доступні ртутні джерела, слід враховувати лінію 253,7 нм.

Розглядаючи еритемну складову УФ випромінювання (рис. 2), зазначимо, що її спектральний діапазон (210 — 390) нм [3] також не збігається з діапазоном (А + В) (280 — 400) нм). Хоча обидва спектральні діапазони, як еритемної, так і бактерицидної складової, — однакові, ефективність їхнього впливу за однієї довжини хвилі є різною.

Для оцінювання енергетичних характеристик оптичного випромінювання, як зазначалося вище, застосовуються відповідні радіометри та дозиметри. Розглянемо особливості вимірювання УФ випромінювання, пов'язаного зі специфікою спектрального розподілу джерела випромінювання на прикладі УФ радіометра Тензор-31 [14, 15] та УФ дозиметра Тензор-53 [14, 15] виробництва НВФ «Тензор».

На рис. 3 і 4 наведено спектральні характеристики чутливості радіометричних головок (РМГ) радіометра Тензор-31 та дозиметра Тензор-53, на рис. 5 усі спектральні характеристики чутливості зведено в одному масштабі на одному графіку. РМГ є фотоприймачем, чутливим в УФ діапазоні спектра, з комплектом світлофільтрів, які із усього діапазону чутливості фотоприймача виділяють певну ділянку спектра (А, В, С для УФ радіометра або бактерицидну, еритемну для УФ дозиметра). Для обох приладів вимірені значення коригуються програмним забезпеченням приладів залежно від того, що обирається як датчик — фотоприймач, бактерії або шкіра людини. Точніше, коригувальний коефіцієнт урахує відмінність спектральної ефективності еритемної складової від бактерицидної й від загального інтегрального потоку. У зв'язку з цим не можна вважати, що результати вимірювання енергетичної освітленості, створеної одним джерелом, яка вимірюється УФ радіометром та УФ дозиметром в одному і тому ж спектральному діапазоні, мають бути ідентичними. Вони мають бути різними, оскільки в обох випадках прилади калібруються по-різному, хоча поправкові коефіцієнти обчислюються за однаковими методиками та формулами [15].

З цього графіка видно, що спектральна характеристика чутливості РМГ зі світлофільтром на бактерицидну область дозиметра Тензор-53 практично повністю збігається з відносною бактерицидною чутливістю мікроорганізмів і зовсім не збігається із спектральною характеристикою чутливос-

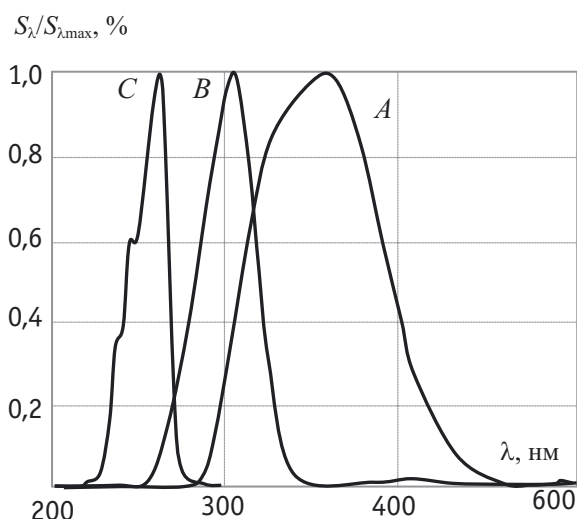


Рис. 3. Спектральні характеристики РМГ радіометра Тензор-31 зі змінними оптичними фільтрами на діапазонах А, В, С

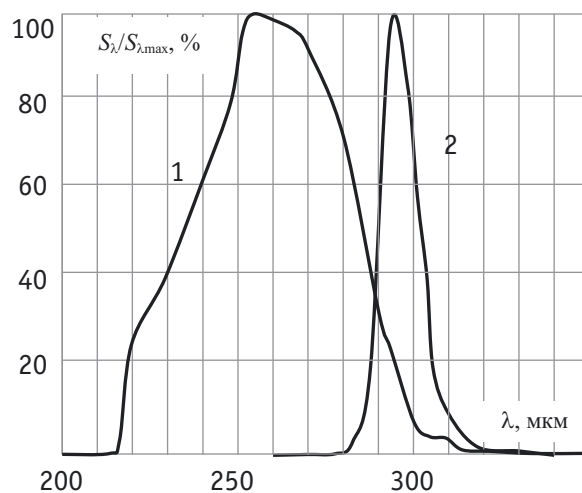


Рис. 4. Спектральні характеристики РМГ УФ дозиметра Тензор-53 зі змінними оптичними фільтрами на бактерицидну (1) й еритемну (2) складові спектра УФ випромінювання

ті РМГ зі світлофільтром на діапазон С радіометра Тензор-31. Неозброєним оком видно, що площа, яку займає спектральна характеристика чутливості РМГ на діапазон С, є приблизно у два рази меншою від площі, яку займає характеристика РМГ з фільтром на бактерицидну область. Це означає, що, у випадках вимірювання потоку від джерела з неперервним спектром (наприклад, зварювальної дуги) та з лінійчатим спектром (ртутної лампи), УФ радіометр може показати у першому випадку більші значення, ніж УФ дозиметр, а у другому випадку результат може змінитися на протилежний. Зрозуміло, що головними чинниками тут є особливості спектрального розподілу енергії, яку випромінює конкретне джерело. Аналогічна картина спостерігається у разі

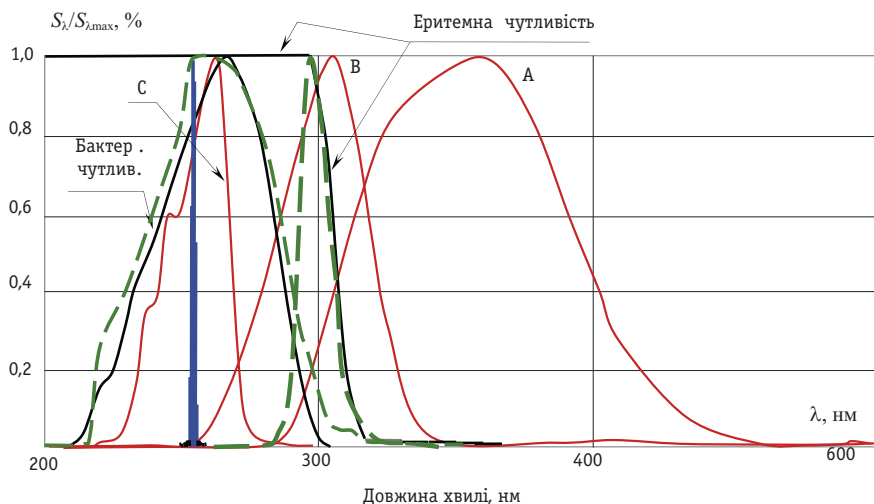


Рис. 5. Порівняння відносних спектральних характеристик чутливості приймачів (рис. 1—4)

порівняння площ, які вирізають світлофільтри на еритемну область та відносну спектральну еритемну ефективність шкіри людини.

У процесі організації вимірювань слід урахувати, що у паспортах на Тензор-31 та Тензор-53 вка-

відносні спектральні характеристики спектрів випромінювання ламп ДДС-30 і СИРШ 8,5-200-1, отримані шляхом перерахунків зі спектрів випромінювання. Із рис. 6 видно, що чутливість різних РМГ, оптимізованих під різні сенсори, не може бути однаковою до різних джерел.

Із аналізування доступних літературних джерел, а також із результатів наведеного дослідження видно, що вимірені значення енергетичної освітленості в одному і тому ж діапазоні спектра, виконані радіометром Тензор-31 та дозиметром Тензор-53, не можуть і не мають збігатися.

У світовій практиці [16, 17] вимірювання інтегральних потоків УФ випромінювання здійснюється різними сенсорами з різними світлофільтрами, від різних джерел з різним спектральним розподілом випромінювання. Тому рекомендація Національного Інституту Стандартів і Технології (NIST) (Канада, США) [16] полягають у тому, щоб на кожний тип джерела застосовувати окремий прилад, відкалібрований на цей тип джерела.

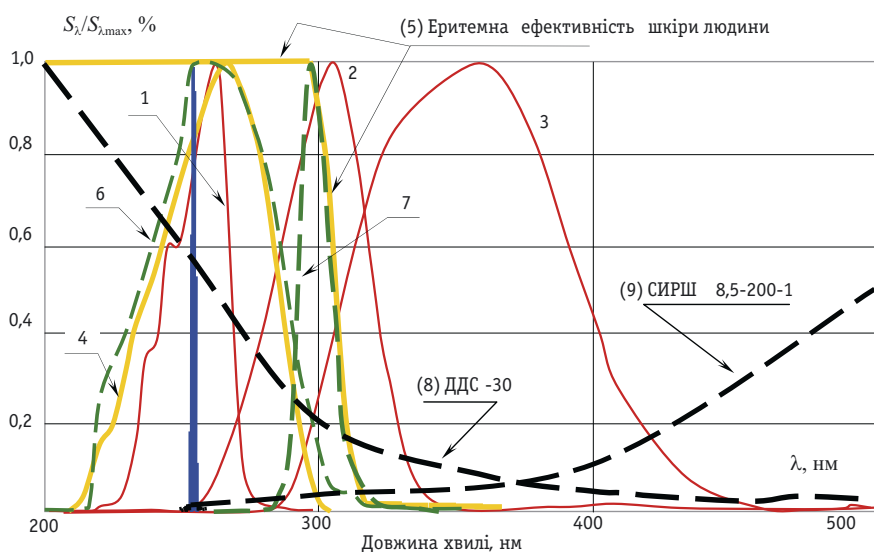


Рис. 6. Порівняння відносних спектральних характеристик чутливості приймачів (рис. 1—4) та ламп ДДС-30 і СИРШ 8,5-200-1

- 1—3 — відносні спектральні характеристики чутливості РМГ на діапазони А, В, С відповідно радіометра Тензор 31 (червоний колір);
 4, 5 — відносна спектральна характеристика бактерицидної чутливості мікроорганізмів та відносна спектральна еритемна ефективність шкіри людини відповідно (жовтий колір);
 6, 7 — відносні спектральні характеристики чутливості РМГ на діапазони бактерицидний (Б) та еритемний (Е) відповідно дозиметра Тензор 53 (зелений колір);
 8, 9 — відносні спектральні характеристики спектрів випромінювання ламп ДДС-30 і СИРШ 8,5-200-1 відповідно (чорний колір)

За використання цифрового приладу рекомендується калібрувати прилад на кожний тип джерела окремо, враховуючи під час вимірювань відповідні поправкові коефіцієнти.

Отже, дослідження особливостей вимірювання УФ випромінювання, пов'язаного зі специфікою спектрального розподілу джерела випромінювання, показує, що для коректного вимірювання випромінювання певного джерела слід відкалібрувати вимірювальний прилад саме у відповідності до цього джерела. У зв'язку з цим УФ радіометр Тензор-31 калібрується окремо для роботи з декількома типами джерел: ртутних, дейтерієвих, дугових. Відтак цим приладом можливе вимірювання енергетичної освітленості, створюваної такими джерелами, у межах зазначених похибок вимірювання.

Для вимірювання енергетичної освітленості, створюваної іншими джерелами, у приладі передбачено його перекалібрування та введення нових поправкових коефіцієнтів на основі розрахунків, наведених у паспорті. Останні мають виконуватися на основі даних стосовно спектральної характеристики джерела випромінювання, яке належить до трьох згаданих вище.

Щодо приладу Тензор-53, то він відкалібрований на вимірювання енергетичної освітленості й енергетичної дози, створюваних лише від ртутних джерел. Функцію перекалібрування на інші джерела в цьому приладі не передбачено. Тобто його не можна використовувати для вимірювання характеристик інших джерел.

Наразі НВФ «Тензор» створює новий прилад — багатофункціональний вимірювач параметрів УФ випромінювання, який забезпечує вимірювання у піддіапазонах А, В, С спектра УФ випромінювання, а також його бактерицидної та еритемної складових. Окрім того, новий прилад, як і його попередник, калібруватиметься на три найпоширеніші види джерел — ртутні, дейтерієві, дугові. Також, як і у Тензора-31, новий прилад дає можливість оператору перекалібрувати його для коректного вимірювання випромінювання іншого джерела УФ випромінювання. Але для цього потрібно отримати спектральну характеристику випромінювання цього джерела і за стандартною методикою розрахувати відповідні поправкові коефіцієнти.

ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень сформульовано вимоги для забезпечення коректних вимірювань параметрів УФ випромінювання. Зокрема, на прикладі радіометра енергетичної освітленості УФ діапазо-

ну Тензор-31 та дозиметра енергетичної освітленості УФ діапазону Тензор-53 показано, що вимірювальний процес має, перш за все, базуватися на відповідності калібрування приладу та джерела УФ випромінювання, яке цим приладом досліджується.

ЛІТЕРАТУРА

1. Курик М. Людина й ультрафіолет / Михайло Курик. — К.: Рада, 2003. — С. 19—30.
2. ДНАОП 0.03-3.17-88. Санітарні норми УФ випромінювання у виробничих приміщеннях (№ 4557-88). Метрологическое обеспечение безопасности труда: В 3 т. — М.: Изд-во стандартов, 1989. — Т. 1. — 175 с.
3. РМГ 69-2003. ГСИ. Характеристики оптического излучения соляриев. Методика выполнения измерений.
4. РМГ 70-2003. Характеристики ультрафиолетового излучения бактерицидных облучателей. Методика выполнения измерений. — М.: ИПК «Изд-во стандартов», 2004. — 8 с.
5. <http://light.jino.ru/obluchenie/obluch/gl3.htm>
6. International Commission on Illumination, 1987: Methods of Characterizing Luminance Meters and Luminance Meters. ICI -№ 69.
7. International Electrotechnical Commission, 1987: International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 845: Lighting, IEC 50.
8. Р 3.5.1904-04. Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях. — 17 с.
9. <http://vsenip.com/Data1/45/45031/index.htm>;
10. <http://www.complexdoc.ru/ntdtext/544846/2>
11. ГОСТ Р МЭК 60335-2-27-2000. Безопасность бытовых и аналогичных электрических приборов. Дополнительные требования к приборам ультрафиолетового и инфракрасного излучений для ухода за кожей и методы испытаний. — Утвержд. 28.03.2000. — М.: Изд-во стандартов, 2000.
12. Р 50.2.039-2004. Методы измерений эффективных характеристик ультрафиолетового излучения. Рекомендации по метрологии. ГСОЕИ. Общие положения. ОКС 17.020. — М.: Госстандарт России, 2004.
13. http://lightonline.ru/svet/Science/UV_in_stock_raising.html
14. Боднар Л., Добровольський Ю., Шабашкевич Б. // Метрологія та прилади. — 2008. — № 2. — С. 10—18.
15. www.tenzor.ua
16. Thomas C. Larason, Christopher L. Cromer Sources of Error in UV Radiation Measurements // Journal of Research of the National Institute of Standards. Technology [J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol. 106, 649–656 (2001)].
17. W. R. McCluney, Introduction to Radiometry and Photometry, Artech House, Norwood, MA (1994). ■



УДК 539.89:548.53:546.26-162

М. Лошак, доктор технічних наук, завідувач алмазної випробувальної лабораторії,
Л. Александрова, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
Т. Косенчук, провідний інженер,
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, м. Київ

Наведено результати дослідження розподілу ймовірності руйнування кристалів для різних партій алмазних порошків і порошків із кубічного нітриду бору (КНБ), що різняться міцністю під час стискання. Встановлено, що алмазний порошок, який за міцністю відповідає маркам до AC100 включно, а також порошки з КНБ підпорядковуються закону нормального розподілу логарифмів міцності кристалів. Для високоміцних алмазних порошків (марки AC160 і вище) розподіл відповідає закону розподілу Вейбулла.

Here we report the results of studying the distribution of the probability of crystal fracture in various lots of diamond and cubic boron nitride (cBN) powders, which differ in compression strength. It has been found that the diamond powder, which corresponds up to grades AC100 inclusive in strength, and cBN powders follow the law of the log strength normal distribution. High-strength diamond powders (AC 160 grades and higher) are characterized by the strength distribution according to the Weibull distribution law.



М. Лошак



Л. Александрова



Т. Косенчук

Серед характеристик, за якими оцінюють якість та визначають призначення алмазних порошків, однією із найважливіших є статична міцність [1]. Статична міцність алмазних зерен оцінюється показником, який визначається за методом, суть якого полягає у проведенні випробувань певної кількості зерен на стиск. При цьому зерна розміщують між двома паралельними пластинами, виготовленими із матеріалу з високою твердістю, та навантажують за допомогою випробувального устаткування.

Невеликі розміри кристалів алмазу, їх значна твердість та крихкість не дозволяють виготовляти випробувальні зразки за формою, що зазвичай використовується

для випробувань матеріалів на міцність за стиснення. Тому для контролю вироблених алмазних порошків випробовують на стиск певну кількість зерен алмазу довільної форми залежно від їх міцності. Для алмазів з невеликою міцністю марок АС2 — АС20 випробуванню підлягають по 50 зерен від виробленої партії алмазного порошку, для більш міцних алмазних порошків марок АС32 — АС400 випробовують по 100 зерен. У процесі випробувань кожний кристал алмазу розміщують окремо між двома пластинами з твердого сплаву марки ВК6 діаметром 8 мм та висотою 5 мм, робочу поверхню яких підготовлено у такий спосіб, щоб параметр її шорсткості R_a не перевищував 0,40 мкм. Пластини із сапфіру для тих же цілей виготовляють з розмірами (4×4×2) мм з параметром шорсткості $R_a \leq 0,04$ мм.

Для випробувань алмазних зерен на міцність за стиску розроблено спеціальні прилади, такі як ДА-2; ДА-2М; ДДА-33А ДДА-33С. Вони відрізняються між собою потужністю блока навантаження: ДА-2 — до 24,5 Н; ДДА-33А — до 150 Н; ДДА-33С — до 2000 Н.

На рис. 1 наведено загальний вид приладу для випробувань алмазних зерен на міцність (а) та збільшене зображення нижньої опори (б), на якій рівномірно вбудовано 50 сапфірових пластинок, на кожній з яких розміщується випробувальний кристал алмазу. Навантаження виконується в автоматичному режимі з послідовним покроковим переміщенням опори. Результати випробувань фіксуються на перфораторній стрічці.

Згідно з ДСТУ 3292-95 у випадку випробувань алмазу на сапфірових пластинах середній показник міцності порошку ($N_{\text{ср}}$) у ньютонках обчислюють за формулою:

$$N_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n N_i / n, \quad (1)$$

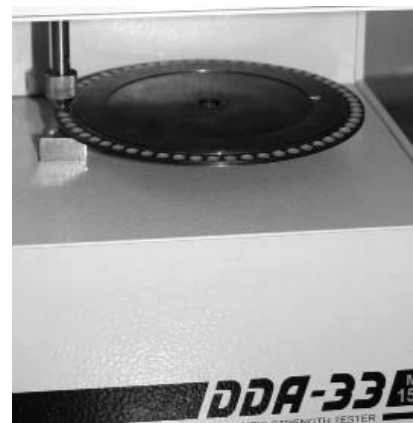
де N_i — руйнівне навантаження окремого зерна алмазу, Н; n — число зруйнованих зерен.

Якщо у процесі випробувань як опори використовують твердосплавні пластины, показник міцності обчислюють із коефіцієнтом 0,85.

Таке визначення міцності алмазного порошку є справедливим, коли результати випробувань відповідають нормальному закону розподілу міцності



а



б

Рис. 1. Прилад для випробувань алмазних зерен на міцність

окремих зерен [2]:

$$P(\sigma < \sigma_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}S} \int_{-\infty}^{\sigma} e^{-\frac{(\sigma-a)^2}{2S^2}} dx, \quad (2)$$

де a , S — параметри розподілу.

Якщо за графічного відображення результатів випробувань алмазного порошку в координатах «імовірність руйнування — руйнівне навантаження» експериментальні точки розміщуються поблизу прямої лінії, це свідчить стосовно дотримання нормального закону розподілу міцності його зерен. Нормальний закон розподілу має місце тоді, коли випадкова величина залежить від значної кількості факторів, кожний з яких за його окремої дії впливає на цю величину відносно мало. З урахуванням можливого значного розкиду значень міцності окремих зерен алмазу, для визначення відповідності експериментальних результатів нормальному закону розподілу більш доцільно використовувати нормальний закон розподілу логарифмів міцності. Тоді

$$P(\lg \sigma < \lg \sigma_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}S} \int_{-\infty}^{\lg \sigma} e^{-\frac{(\lg \sigma - a)^2}{2S^2}} dx. \quad (3)$$

У тому випадку, коли міцність кристалів алмазу залежить від наявності домішок або внутрішніх дефектів, випадково розподілених у об'ємі кристалу, розподіл міцності можна записати залежністю, яку запропонував В. Вейбулл [3]:

$$P(\sigma < \sigma_0) = 1 - e^{-\left[\frac{\sigma - x_0}{\beta}\right]^\alpha}, \quad (4)$$

де x_0 , β , α — параметри розподілу Вейбулла.

Розподіл (4) шляхом перетворень можна привести до виду

$$P(\sigma < \sigma_0) = 1 - e^{-e^v}. \quad (5)$$

Параметри розподілу Вейбулла знаходять за формулами Гумбеля [4]. За умови відповідності розподілу (5) результатам випробувань на міцність, значення

Зернистість	Показники міцності за статичного стиску, Н, алмазних порошоків марки											
	АС2	АС4	АС6	АС15	АС20	АС32	АС50	АС65	АС80	АС100	АС125	АС160
630/500	—	—	—	32,0	46,0	82,0	113,0	146,0	180,0	225,0	282,0	380,0
500/400	—	—	—	29,0	39,0	67,0	91,0	118,0	146,0	183,0	228,0	282,0
400/315	—	—	—	25,0	33,0	57,0	78,0	102,0	125,0	156,0	195,0	249,0
315/250	—	—	—	20,0	27,0	47,0	70,0	90,0	102,0	129,0	161,0	205,0
250/200	—	—	9,2	17,0	23,0	40,0	58,0	75,0	90,0	113,0	141,0	180,
200/160	—	6,0	8,0	15,0	20,0	36,	50,0	65,0	79,0	99,0	123,0	159,0
160/125	2,2	5,0	6,8	13,0	17,0	30,	41,0	54,0	67,0	83,0	104,0	132,0
125/100	2,0	4,1	5,8	11,0	16,0	25,0	35,0	45,0	55,0	69,0	86,0	113,0
100/80	1,8	3,6	4,9	9,0	13,0	21,0	29,0	37,0	46,0	58,0	—	—
80/63	1,7	2,9	4,4	8,0	12,0	18,0	25,0	33,0	—	—	—	—
63/50	1,6	2,6	4,1	7,0	10,0	16,0	22,0	29,0	—	—	—	—
50/40	1,5	2,5	3,8	6,0	9,0	14,0	20,0	—	—	—	—	—

міцності окремих кристалів на графіку міститимуться поблизу прямої лінії

$$y = 2,30259m(\lg \sigma - \lg k). \quad (6)$$

Параметри m і k визначаються за формулами [4] та залежать від кількості кристалів, що випробовуються.

У цьому дослідженні показано, що закон розподілу міцності на стиск монокристалів алмазу залежить від міцності окремих кристалів.

МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ

Окремі зерна алмазу випробували на стиск з використанням мікропроцесорного устаткування марки ДДА-33 (рис. 1), де опорами слугували сапфірові пластини. Для випробувань відібрано проби з (50 — 100) кристалів від партій алмазу, для яких попередньо визначено зернистість та марку алмазу згідно з [1]. Відповідність міцності за стиску порошоків алмазу до зернистос-

ті згідно з цим стандартом наведено у таблиці.

Порошки алмазу марок АС80, АС100, АС160, АС200, АС250, зернистість яких становила 400/315, випробувано в однакових умовах. За таких же умов випробувано порошки кубічного нітриду бору марок КВ 63/50, К0160/125 та КР200/160.

Відповідність розподілу міцності на стиск випробуваних партій порошку алмазу одному із двох наведених вище законів розподілу оцінювали за графіками, які побудовано в координатах «імовірність руйнування — логарифм міцності за стиску» за результатами випробувань для обох законів розподілу (логарифмічного нормального та Вейбулла).

РЕЗУЛЬТАТИ Й ОБГОВОРЕННЯ

Результати випробувань на міцність зерен алмазних порошоків марок АС80 і АС100 наведено на рис. 2 а, б, алмазних порошоків марок АС160 і АС250 — на рис. 3, а, б.

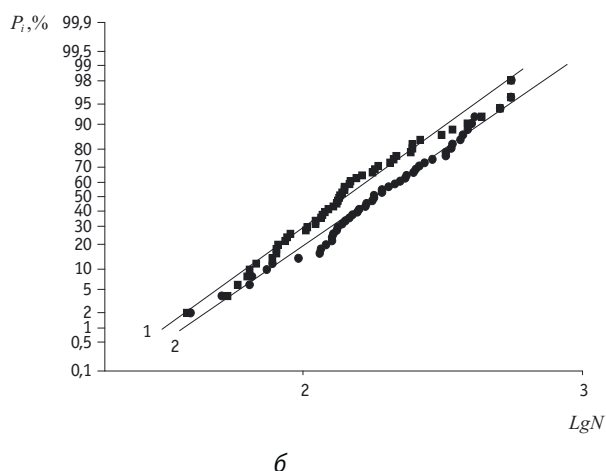
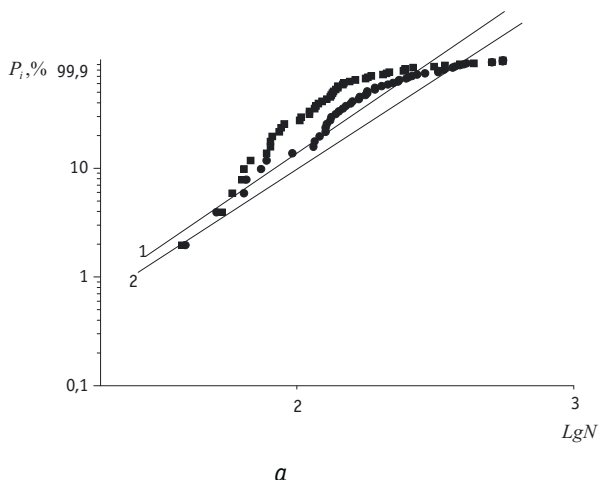


Рис. 2. Результати випробувань на міцність алмазу марок АС80 (1) та АС100 (2) у координатах «імовірність руйнування — логарифм міцності за стиску»: а — розподіл за законом Вейбулла; б — нормальний закон

Видно, що розподіл результатів випробувань зерен алмазних порошків марок за міцністю АС100 та менших відповідають нормальному закону розподілу логарифмів міцності. Для порошків марок АС160 та АС250 навпаки, результати випробувань розміщуються ближче до прямих на графіках, що відповідають розподілу міцності за законом Вейбулла.

Аби уникнути можливого впливу розміру окремих зерен на характер розподілу міцності алмазного порошку марки АС250 зернистістю 630/500, для випробувань із партії порошку відібрано 50 алмазних зерен з однаковим розміром за однією із діагоналей.

Результати випробувань на міцність цих алмазних зерен розмістилися ближче до прямої теж на графіку, який відповідає розподілу міцності за законом Вейбулла (рис. 4 а, б).

Усі проведені дослідження із визначення міцності порошків з КНБ різних марок за оціненням результатів випробувань на графіках «імовірність руйнування — міцність» свідчать стосовно відповідності розподілу міцності окремих зерен порошків нормальному закону розподілу логарифмів міцності (рис. 5).

На основі наведених вище даних можна стверджувати, що алмазні порошки з міцністю зерен на стиск до 100 Н, що відповідає марці АС100, а також усі порошки із КНБ можна оцінювати середнім значенням міцності згідно з рівнянням (1). Для цих матеріалів міцність окремих зерен залежить від сукупності багатьох факторів, кожний з яких окремо впливає не міцність у незначній мірі. Для високоміцних алмазних порошків (марок АС160 та вищих) відповідність значень міцності за стиску окремих зерен закону розподілу Вейбулла свідчить, мабуть, стосовно переважного впливу на міцність зерен окремих дефектів структури кристала. Те, що міцність великоміцних марок порошків з однаковим

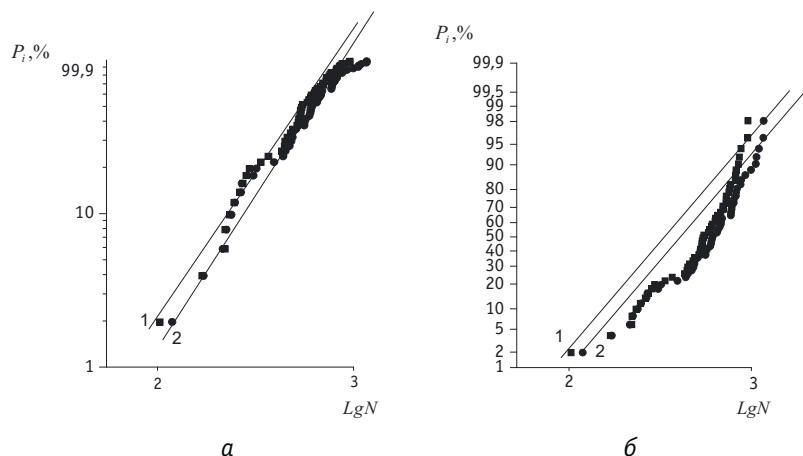


Рис. 3. Результати випробувань на міцність алмазу марок АС160 (1) та АС250 (2) у координатах «імовірність руйнування — логарифм міцності за стиску»:

а — розподіл за законом Вейбулла; б — нормальний закон

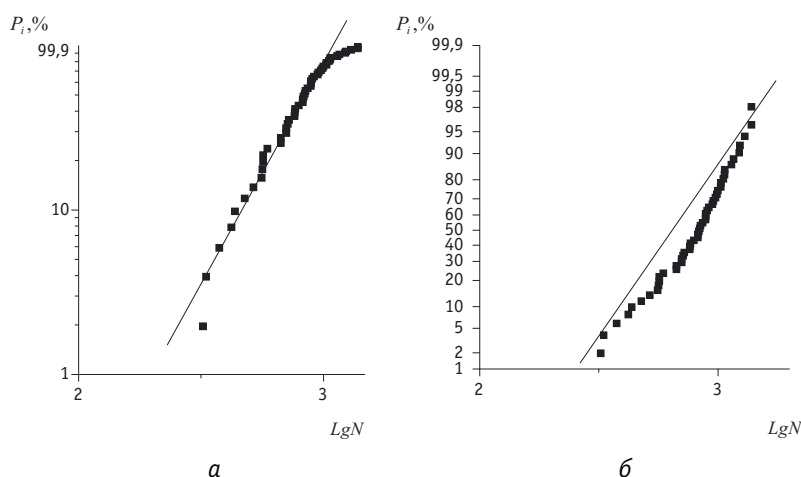


Рис. 4. Результати випробувань на міцність алмазу АС250 (відбірного) у координатах «імовірність руйнування — логарифм міцності зерен»:

а — розподіл за законом Вейбулла; б — нормальний розподіл

геометричним розміром алмазних зерен теж відповідає розподілу Вейбулла, свідчить, що на розподіл міцності цих порошків впливає не кількість дефектів у кристалі, а їхні характеристики, насамперед, їх геометричні розміри, форма тощо. Слід зазначити, що для таких матеріалів міцність вибірки краще визначати не середнім значенням за формулою (1), а значенням, що відповідає ймовірності руйнування 50 % на графіку розподілу Вейбулла. Але на практиці різниця між середніми значеннями міцності партії порошків високоміцних алмазів, які визначено двома методами, не перевищує 2 %. Тому у стандарті [1] передбачено лише один метод оцінювання міцності порошків усіх марок незалежно від їхньої міцності. Встановлений факт у відмінності розподілу значень міцності зерен алмазних порошків підкреслює визначальну роль дефектів структури окремих

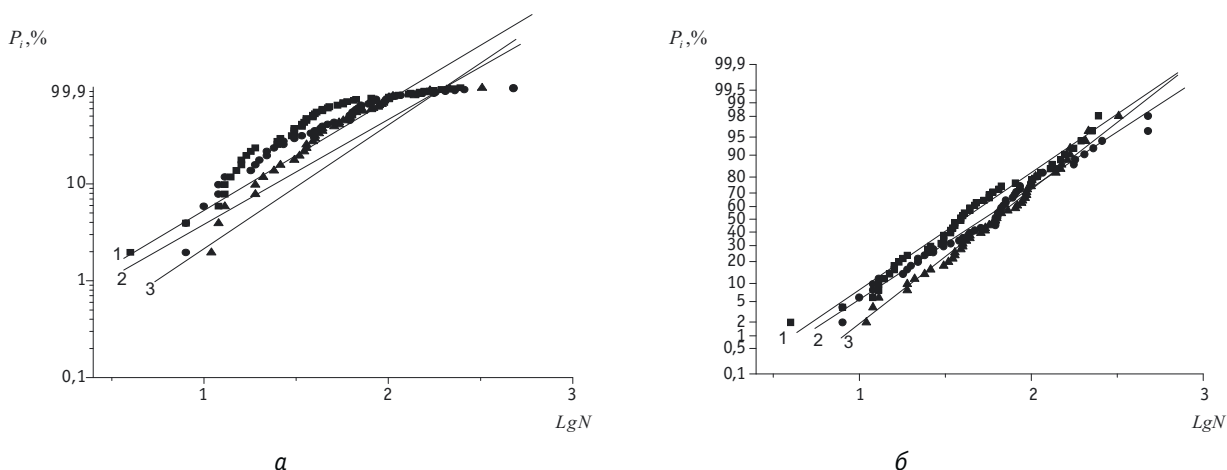


Рис. 5. Результати випробувань на міцність порошків із КНБ різної зернистості:

1 — KB63/50; 2 — KP100/80; 3 — KB150/125

(а — розподіл за законом Вейбулла, б — нормальний закон розподілу)

кристалів алмазу в оціненні міцності високоміцних алмазних порошків.

ВИСНОВКИ

1. Міцність зерен алмазних порошків, які згідно з [1] мають міцність, що не перевищує АС100, відповідає функції нормального розподілу логарифмів міцності.

2. Алмазні порошки, які за міцністю відповідають маркам АС160 та вищим, мають розподіл логарифмів міцності окремих зерен за співвідношенням Вейбулла.

3. Міцність високоміцних кристалів алмазу визначається, у першу чергу, дефектами структури.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 3292–95. Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови. — Київ: Держстандарт України, 1996. — 71 с.
2. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский Н. В. Курс вероятностей и математической статистики. — М.: Наука, 1965. — 511 с.
3. Вейбулл В. Ю. Усталостные испытания и анализ их результатов. — М.: Машиностроение, 1964. — 275 с.
4. Прочность материалов при высоких температурах / Г. С. Писаренко, В. Н. Руденко, Г. Н. Третьяченко, В. Т. Трощенко. — Киев: Наук. думка, 1966. — 795 с. ■

ОБГОВОРЕНО ПРОБЛЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ОБ'ЄМУ РІДИНИ

17 та 18 квітня в ННЦ «Інститут метрології» відбувся 6-й семінар-нарада «Метрологічне забезпечення вимірювань об'єму рідини статичними методами».

Такі семінари-наради проводяться з 2000 року та включають розгляд основних проблем вимірювання об'єму рідини з використанням градуированих резервуарів, автомобільних та залізничних цистерн, танків морських суден, мірників, скляних та інших мір місткості. Традиційно основний час роботи семінарів відводиться не доповідям, а вільному обговоренню проблем та питань.

Учасники — представники територіальних органів, ННЦ, підприємств представили доповіді виробників та постачальників важливих для градування резервуарів об'ємним методом високоточних рівнемірів, лічильників води та автоматизованих комплексів на базі еталонних мірників, що перемикаються. Подано результати розроблень в ННЦ «ІМ» комп'ютерних програм розрахунку градувальних таблиць танків морських суден та коригування градувальних таблиць для прове-

дення вимірювань з урахуванням крену і диференту.

Обговорено особливості проведення вимірювань об'єму рідини у нижній частині вертикальних циліндричних резервуарів з урахуванням пружних деформацій днища, повірки скляних мір місткості, питання застосування рівнемірів та лічильників під час градування резервуарів. Розглянуто основні напрямки змін у Законі України «Про метрологію та метрологічну діяльність», у тому числі щодо напрямків законодавчо регульованої метрології. Підтверджено актуальність та важливість проведення метрологічної атестації залізничних цистерн, зокрема — типу 71, стосовно якого надходить найбільша кількість претензій.

Наступний семінар-нараду заплановано провести у 2015 році.

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

УДК 656.2:658.562.64:62-567.2

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РІЗНИХ ПІДХОДІВ ДО ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГІДРОДЕМПФЕРІВ У ВИРОБНИКІВ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИКІВ РУХОМОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО СКЛАДУ

К. Боряк, доктор технічних наук,
завідувач кафедри метрології та метрологічного забезпечення,
М. Манзарук, викладач-методист кафедри,
М. Гуцалюк, провідний спеціаліст кафедри,
Одеська державна академія технічного регулювання та якості

Розглянуто різні підходи до випробування гідродемпферів у виробників та експлуатаційників рухомого залізничного складу, які призводять до суперечливих оцінок технічного стану гідродемпферів, виконаних на підставі аналізу результатів випробувань з протоколів, отриманих на різних випробувальних стендах.

The article discusses various approaches to test hydraulic dampers from manufacturers and operators of rolling stock, which lead to inconsistent estimates of technical condition of hydraulic dampers made by analyzing the test results of the protocols obtained at different test benches.



К. Боряк



М. Манзарук



М. Гуцалюк

Останнім часом загострилися взаємини між виробником і споживачем внаслідок неоднозначного трактування законів України [1, 2] стосовно здійснення державного нагляду, покликаного забезпечувати якість продукції, що випускається, на основі дотримання єдності вимірювань. На догоду промисловцям дозволено випускати промислову продукцію не відповідно до державних стандартів, а за «Технічними вимогами» (ТУ), розробленими самими ж виробниками й погодженими з територіальними органами Мінекономрозвитку. Отже, у держави функцію «законодавця» замінили на «узгоджувача», що не те ж саме. Підміна функцій держави в умовах відсутності в Україні «реальної» конкуренції й монополізації цілих галузей промисловості призвела до різкого зниження якості продукції, що випускається. Наслідки такої політики проілюструємо на прикладі одного з підприємств Одеської залізниці з обслуговування рухомого складу.

У локомотивному депо Котовськ Одеської залізниці випробування гідродемпферів проводиться на стенді «ИГК-90.1» відповідно до вимог інструкції [3]. Отримані результати випробувань оформляються у виді протоколу (рис. 1), який виводиться на екран монітора й можна роздрукувати на папері.

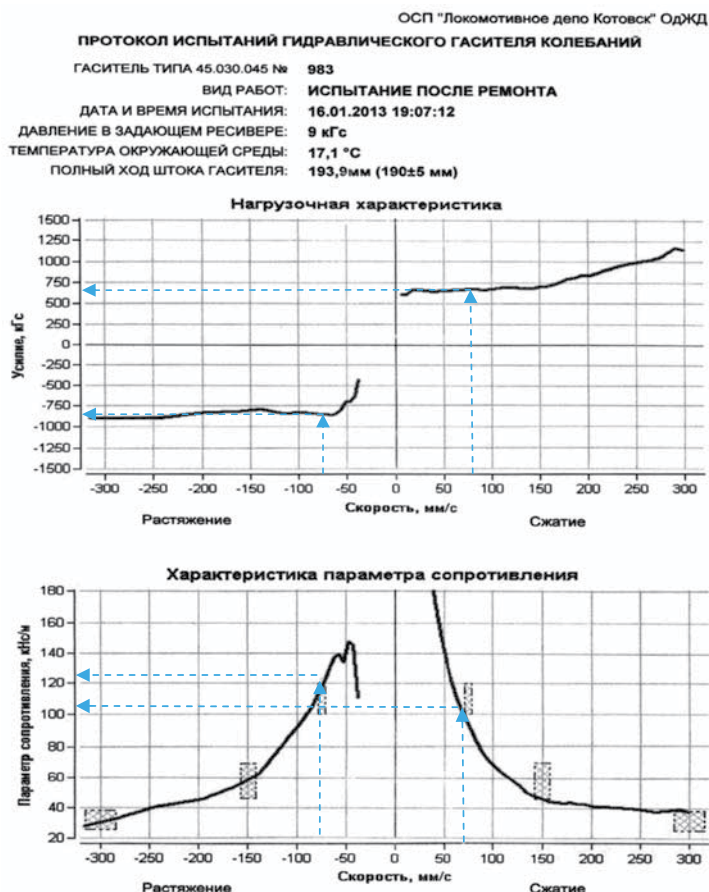


Рис. 1. Вид протоколу оформлення результатів випробувань гідродемпфера типу 45.030.045 (КВЗ) на стенді «ИГК-90.1» (Україна)

Заштриховані квадрати — допустимі значення величини параметра опору β , $\text{кН} \cdot \text{с/м}$, які взято з технічної документації (паспортів) на гідродемпфери й рекомендовано з урахуванням похибки вимірювання самим виробником гідродемпферів (рис. 2).

Як видно, виробник у своєму паспорті наводить усього три контрольні значення параметра опору β , які прив'язані до конкретного значення швидкості руху поршня гідродемпфера. Слід відразу зазначити, що наведені у паспорті значення β ніяк не прив'язані до температури навколишнього середовища, — це *перший недолік* у паспорті виробника. Оскільки відомо, що значення параметра опору залежить від величини в'язкості демпфірувальної рідини, яка суттєво змінюється від температури (за зниження температури в'язкість збільшується, а за підвищення — відповідно зменшується). Виробник посилається на відповідність гідродемпфера загальним вимогам стандарту [4] і на свої технічні умови [5]. Згідно із Законом України [6] технічні умови [5] є інтелектуальною власністю підприємства й не є доступними для нас. Тому звернемося до стандарту [4]. У ньому встановле-

но температурний діапазон гідродемпфера за випробувань від $+15$ до $+35$ °С. Експлуатаційники, в особі державної адміністрації «Укрзалізниці», у своїх технічних вимогах [7] посилили температурні вимоги до $(+20 \pm 5)$ °С. Як бачимо, температурний розкид не є занадто великим. Тому ухвалюємо, що представлені у паспорті виробника значення для параметра опору β мають відповідати температурі випробування гідродемпферів, рекомендованій технічними вимогами [7]. До паспорта завжди прикладається протокол випробувань гідродемпфера на стенді з обов'язковим зазначенням назви випробувального устаткування й конкретної температури гідродемпфера (демпфірувальної рідини) (рис. 3).

Порівняємо протоколи випробувань, отримані на двох різних стендах. Претензій до дотримання вимог за температурним режимом $(+20 \pm 5)$ °С проведення випробувань гідродемпферів у обох випадках немає.

У першому випадку стенд дозволяє отримувати інформацію стосовно значення сили впливу на гідродемпфер і параметра його опору цій силі у всьому діапазоні швидкостей $v = (0 \div 0,35)$ м/с, тобто не лише у трьох точках значення швидкості (які зазначені у паспорті), а безперервно у кожній точці осі.

У другому випадку виробник випробовує гідродемпфер і дає лише одне значення сили й параметра опору для однієї швидкості $v = 0,075$ м/с, і лише на підставі одного значення швидкості (одна точка на осі швидкості зазначена пунктиром у першому протоколі) робить висновок щодо працездатності й подальшої придатності гідродемпфера до експлуатації. Виконаний нами розрахунок параметра опору β , $\text{кН} \cdot \text{с/м}$, на основі отриманих під час випробувань гідродемпфера на швидкості $v = 0,075$ м/с значень сили F , кН , «на відбої» та «на стиск» показав, що параметр опору β , $\text{кН} \cdot \text{с/м}$, у режимі «на відбої» міститься у верхній частині зазначеної виробником у паспорті (рис. 2) границі похибки $(100 < 113 < 120)$ $\text{кН} \cdot \text{с/м}$, а у режимі «на стиск» взагалі перевищує допустиме значення $(100 < 121 > 120)$ $\text{кН} \cdot \text{с/м}$. Виникає запитання, а що, за інших значень швидкості не потрібно перевіряти гідродемпфер на заводі, чи виробник так упевнений у якості своєї продукції?

Тоді звернемося до першого протоколу (рис. 1), де отримані графіки залежності сили й параметра

опору від швидкості проходять також через крайні точки значень, що допускаються, які зазначені ви-

робником у паспорті. Отримані графіки проходять через усі три контрольні зони, отже, заводські ви-

моги дотримуються, й гідродемпфер на підставі результатів випробувань має визнаватися придатним до експлуатації, а слюсар депо *забракував його відразу із двох причин:*

- на «стиск» є зовсім відсутньою зона дросельного режиму, а гідродемпфер працює лише у клапанному режимі (графік за малих швидкостей різко зростає уверх, відсутньою є точка перегину кривої, як у режимі «розтягання»), і за малих швидкостей $v \leq 0,075$ м/с параметр опору має значення $\beta > 180$ кН·с/м, що перевищує зазначене у паспорті максимально допустиме значення $\beta \leq 120$ кН·с/м. Розбирання гідродемпфера показало, що під нижній клапан установлена некондиційна пружина (пружина виявилася надто жорсткою, нижній запобіжний клапан є зажатым і не спрацьовує за зазначеного у паспорті тиску (52 ± 5) кГс/см²).

- на «розтягання» тиск спрацьовування запобіжного верхнього клапана гідродемпфера перевищує зазначені у паспорті (52 ± 5) кГс/см² (зусилля, відповідне до точки перегину кривої на графіку в режимі «розтягання», відповідає **85 кГс/см²**), що призводить до скорочення ширини зони роботи гідродемпфера у «дросельному» режимі, тобто гідродемпфер зі збільшенням швидкості раніше переходить із «дросельного» у «клапанний» режим. Потрібне регулювання тиску спрацьовування верхнього клапана, яке цілком і повністю залежить від твердості встановленої клапанної пружини.

Для підтвердження зробленого висновку й повноти аналізу

1. Общие сведения об изделии

1.1 Гаситель колебаний (демпфер) 45.30.045М заводской номер 6775 изготовлен на ОАО «Петуховский литейно-механический завод».

1.2 Гасители колебаний (демпферы) 45.30.045М применяются в центральном подвешивании пассажирских, почтовых, багажных вагонов, вагонов-ресторанов, вагонов-электростанций, электро- и дизель-поездов.

1.3 Гасители колебаний (демпферы) 45.30.045М изготавливаются в соответствии с ГОСТом Р 52279-2004 «Демпферы гидравлические рельсового подвижного состава. Общие технические условия» и ТУ 31 8383-001-00083262-06 «Гаситель колебаний (демпфер) 45.30.045М. Технические условия».

1.4 Гасители колебаний (демпферы) 45.30.045М соответствуют требованиям безопасности, установленным НБ ЖТ ЦТ-ЦУ-ЦВ 012-99, и имеют сертификат соответствия № ССФЖТ RU.ЦТ03.Б.03996, выданный Регистром сертификации на федеральном железнодорожном транспорте Российской Федерации (РС ФЖТ) 30.05.2007 г.

Срок действия сертификата до 30.05.2010 г.

2. Основные технические данные и характеристики

2.1 Конструктивное исполнение демпфера телескопический

2.2 Ход поршня, мм 190±5

2.3 Длина в сжатом состоянии, мм 365±5

2.4 Диаметр поршня, мм 67,5

2.5 Втулка крепления демпфера:

- внутренний диаметр, мм 32^{+0,25}

- длина, мм 92^{+0,87}

2.6 Рабочая жидкость — масло ВМГЗ ТУ 38.101.479-86 или масло приборное МВП ГОСТ 1805-76

2.7 Объем рабочей жидкости, см³ 900...1000

2.8 Масса демпфера, заполненного рабочей жидкостью, кг 19

2.9 Давление срабатывания предохранительных клапанов, кГс/см² 52±5

2.10 Значения параметра сопротивления β , кН·с/м:

- при испытании на скорости $0,075 \pm 5\%$ м/с 100...120

- при испытании на скорости $0,15 \pm 5\%$ м/с 58 ± 20%

- при испытании на скорости $0,3 \pm 5\%$ м/с 32 ± 20%

Контрольные точки (зоны) на графиках (рис. 1)

Рис. 2. Копія сторінки з паспорта гідродемпфера 45.030.045М виробництва ВАТ «Петуховский литейно-механический завод» (Росія)



Рис. 3. Вид протоколу оформлення результатів випробувань гідродемпфера коливаний типу 45.30.045М на стенді «ЭНГА» типу СИЛ-02-01 (Росія)

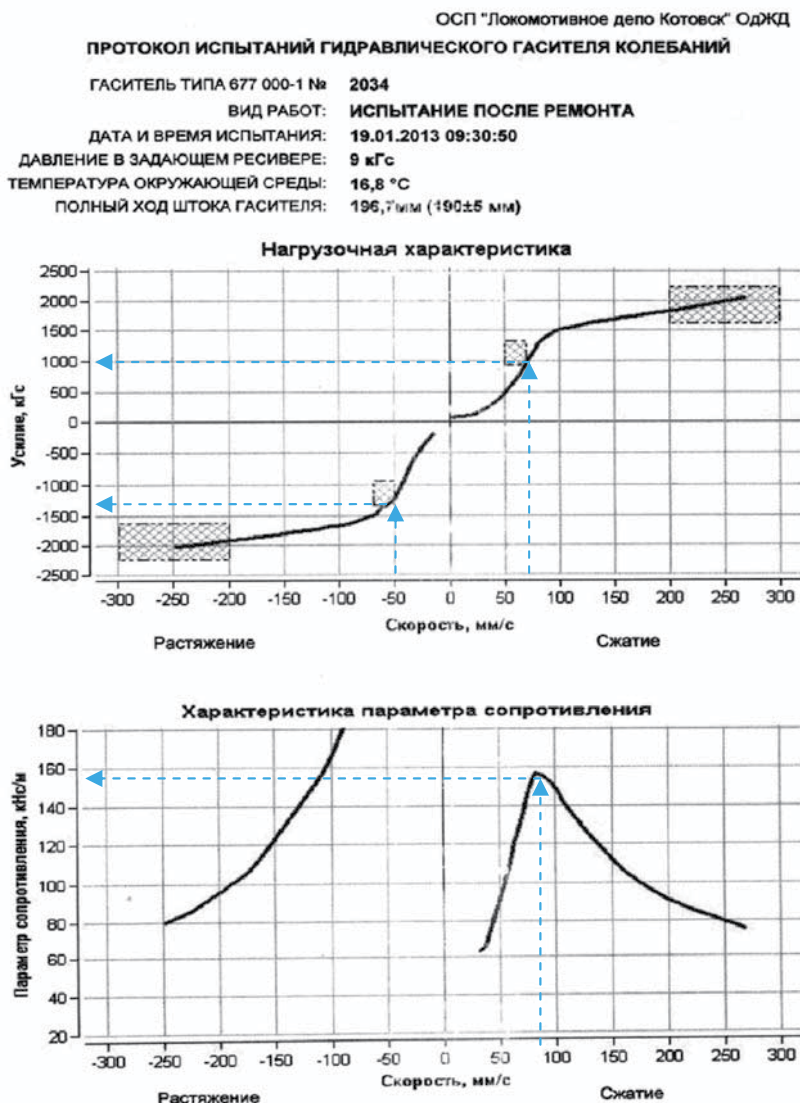


Рис. 4. Вид протоколу оформлення результатів випробувань гідродемпфера типу 677.000 на стенді «ИГК-90.1» (Україна)

порівняємо протоколи випробувань для іншого типу гідродемпфера 677.000, які також отримані на двох різних випробувальних стендах. Перший отримано у локомотивному депо Котовськ на випробувальному стенді «ИГК-90.1» (рис. 4).

Другий протокол узятो із паспорту на гідродемпфери російського виробника ВАТ «Транспневматика», які поставляються у депо службою постачання. На жаль, у паспорті не зазначені тип і виробник випробувального стенда, на якому випробувано гідродемпфер, мабуть, виробник гідродемпфера виготовив «під себе» й випробувальний стенд. У технічному паспорті є відсутніми взагалі посилання на який-небудь державний стандарт (ГОСТ), а є лише посилання на власні технічні умови [8], які, очевидно, є також інтелектуальною власністю виробника, охороняються законом [6] і, отже, знову для нас є недоступними. Тому використовуємо дані з паспор-

та виробника стосовно нормативних значень сил опору для двох представлених контрольних значень швидкостей поршня відповідно у «дросельному» і «клапанному» режимах роботи гідродемпфера (рис. 5).

Одразу впадає в око велике значення величини температури випробувань ($+40\text{ }^{\circ}\text{C}$), що суперечить вимогам (від $+15$ до $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$) стандарту [4] (може тому у своєму паспорті виробник випадково вилучив посилання на нього). Стає незрозумілим, у разі проведення стендових випробувань за іншої рекомендованої нормативними документами [4, 7] температури ($+20 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, значення наведених виробником у паспорті величин сил опору (для фіксованих значень швидкостей поршня) залишаються тими ж або їх слід коректувати? Якщо так, то з яким коефіцієнтом?

За незрозумілих причин стендові випробування гідродемпферів у виробника знову обмежуються лише двома значеннями швидкостей (0,060 і 0,300 м/с) та достатньо вузьким діапазоном переміщення

поршня (до 50 мм). Якщо припустити, що контроль якості на підприємствах, що випускають гідродемпфери, здійснюється однаково добре на всіх проміжних етапах виробництва, то для нових виробів такі умови ще можна прийняти. Але для гідродемпферів, що побували в експлуатації, випробування необхідно проводити за максимально робочого ходу поршня (195 ± 5) мм, як це виконується на стенді «ИГК-90.1» у локомотивному депо Котовськ. Інакше просто неможливо під час випробувань гідродемпфера виявити можливі деформації штока на малих ходах переміщення поршня [9].

Порівняно з гідродемпфером типу 45.030.045М виробництва ВАТ «Петуховский литейно-механический завод» (Росія) гідродемпфер типу 677.000 від іншого виробника ВАТ «Транспневматика» (Росія) випробовується на стенді вже за двох значень швидкості поршня, й на

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОБ ИЗДЕЛИИ

Гидродемпфер 677.000-03 ТУ 3183-508-05744521-98 зав. № 2179
 виготовлен LOWE на ОАО «Транспневматика» Россия. Нижегородская
 область, г. Первомайск.
 Контактные телефоны: Отдел маркетинга (служба сбыта) (83139) 2-16-99
 Отдел сервисного обслуживания (83139) 2-42-55

2 ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

- Тип гидродемпфера - двухтрубный телескопический гидравлический
- Ход поршня, не менее, мм. - 190
- Длина гидродемпфера в сжатом состоянии L_{min} , мм. - 370
- Длина гидродемпфера в растянутом состоянии L_{max} , мм. - 560
- Диаметр кожуха, мм. - 120
- Демпферная жидкость - 7-50С-3 ГОСТ 20734-75 или масло ВМГЗ ТУ 38-101479-00 в объеме, см³ - 1200
- Силы сопротивления при контрольной скорости поршня:
 - $0,06 \pm 0,003$ м/с, кН - $7,8 \pm 1,0$ (дрессельный режим)
 - $0,30 \pm 0,015$ м/с, кН - $20 \pm 3,0$ (клапанный режим)
- Энергоемкость при максимальной контрольной скорости, Дж - 1850 ± 370
- Масса полная, не более, кг - 16,5

Контрольные
точки (зоны)
на графиках
(рис. 4)

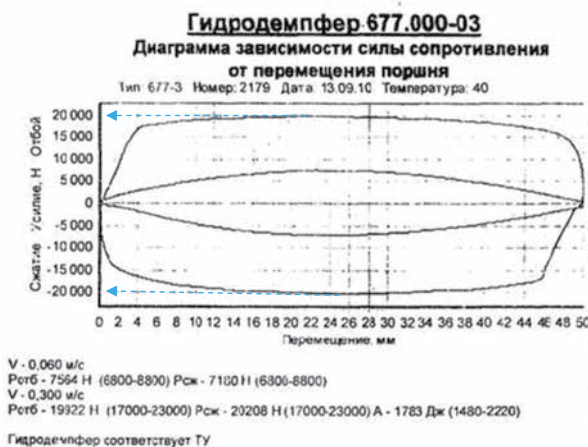


Рис. 5. Вид протоколу оформлення результатів випробувань гідродемпфера коливаль типу 677.000 на стенді ВАТ «Транспневматика» (Росія)

підставі цього робиться висновок щодо придатності гідродемпфера до експлуатації. Прогрес з боку виробника є — дві контрольні точки швидкості під час випробувань, звичайно, краще, ніж одна, але однаково недостатньо для експертної оцінки стосовно працездатності гідродемпфера.

На підтвердження сказаного повернемося до протоколу, отриманого для гідродемпфера типу 677.000 у локомотивному депо Котовськ (рис. 4). Отримані криві для сили опору проходять через дві контрольні зони (*верхній графік*), які виробником зазначені у паспорті. Нами були виконані *розрахунки параметра опору* β , кН·с/м, за отриманими значеннями сили для двох значень швидкості v , м/с, (0,060 і 0,300), значення яких (рис. 5) на усіх режимах роботи гідродемпфера увійшли до нормованого виробником діапазону, але слюсар з депо знову забракував його із двох причин:

- у режимі «розтягання» є відсутньою зона «дросельної» роботи гідродемпфера;
- у режимі «розтягання» на малих швидкостях поршня ($\leq 0,075$ м/с) гідродемпфер має занадто ве-

лике значення параметра опору $\beta > 180$ кН·с/м (*нижній графік*).

Розбирання показало, що калібрований отвір (голки) є перекритим (затиснутим) регулювальним гвинтом більше, ніж це потрібно. Після виконаного слюсарем регулювання, шукальний гідродемпфер знову випробували на стенді «ИГК-90.1». Результат виявився позитивним (рис. 6).

Слід звернути увагу на той факт, що після виконаного слюсарем регулювання графіки значень параметра опору, як у режимі «стиску», так і у режимі «розтягання», вирівнялися й стали практично асиметричними, з чітко вираженими моментами переходу (*точки максимуму кривих на графіках*) і границями «дросельної» і «клапанної» зон роботи гідродемпфера за однакових швидкостей $v = 0,075$ м/с і однакових значень $\beta = 160$ кН·с/м.

Різний підхід до оцінювання технічного стану гідродемп-

ферів, за результатами стендових випробувань у виробників і експлуатаційників рухомого складу, призводить не просто до різних результатів, а до прямо протилежних. Ці протиріччя можна уважати вагомою підставою для продовження розпочатої у локомотивному депо Котовськ науково-дослідної роботи з удосконалення методу діагностування технічного стану гідродемпферів з використанням технічних можливостей нового випробувального стенда «ИГК-90.1» [9].

ВИСНОВКИ

➤ Обмеженість (недостатність) отримуваної інформації під час проведення випробувань може призвести до помилкового висновку щодо придатності гідродемпфера до експлуатації;

➤ через існуючі розбіжності у вимогах до значення температури під час проведення випробувань між різними виробниками й відсутність у їхній технічній документації повної інформації щодо значення сили й параметра опору в широкому діапазоні швидкостей експлуатації гідродемпфера

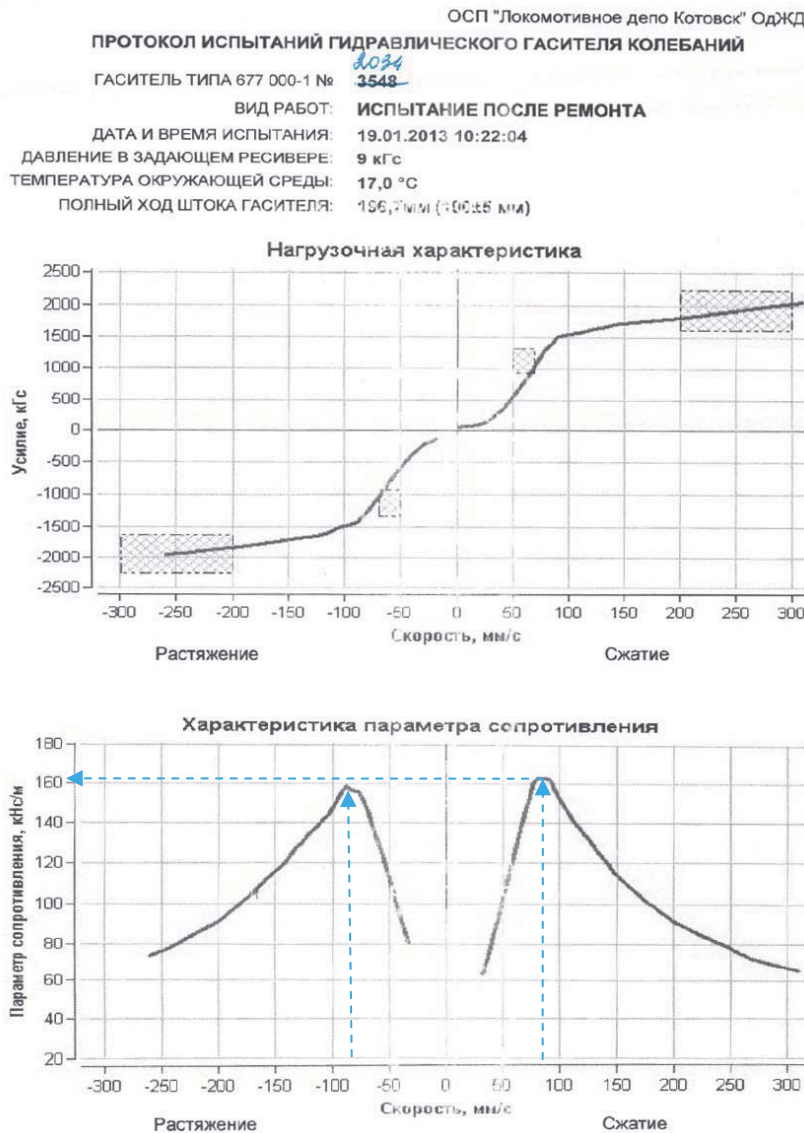


Рис. 6. Протокол результатов випробувань гідродемпфера типу 677 000 на стенді «ИГК-90.1» (Україна) після проведення регулювальних робіт

на локомотиві потрібно провести додаткові наукові дослідження:

- * із визначення довірчих границь похибки, отримуваних значень параметра опору й сили у дросельному й клапанно-му режимах експлуатації усіх типів гідродемпферів коливань у всьому діапазоні швидкостей;

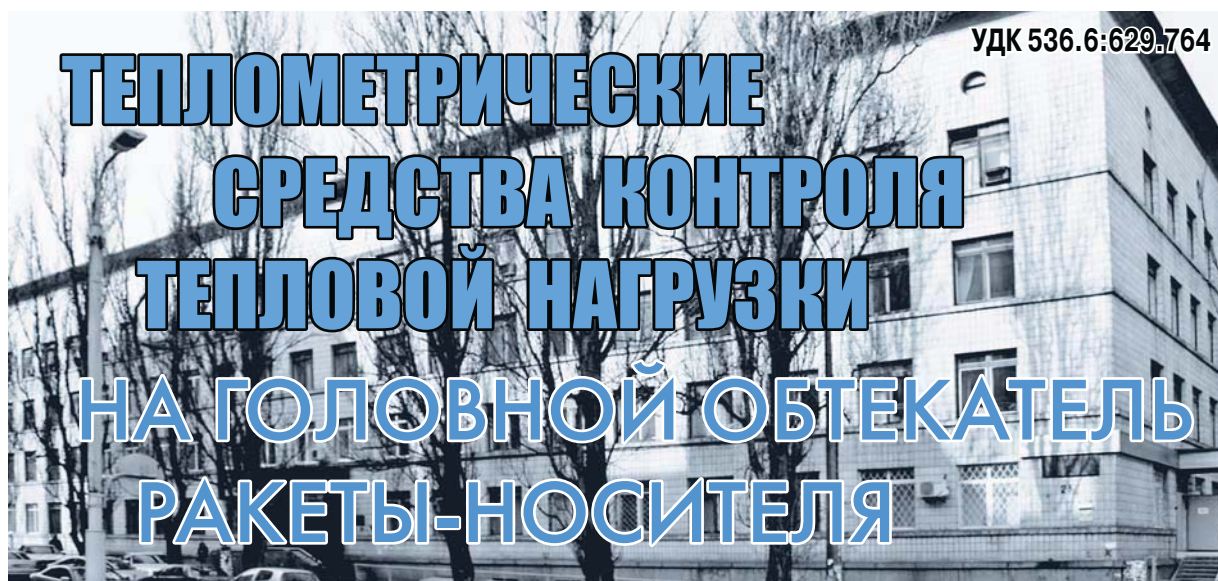
- * зі створення бази даних характерних типових відхилень графічних залежностей параметра опору й сили від нормативних значень з подальшим створенням убудованої діагностичної системи оцінювання технічного стану гідродемпферів (виявлення й ідентифікації дефекту з видаванням рекомендацій з його усунення працюючому персоналу);

- необхідно внести відповідні зміни до інструкції [3];

- потрібно провести модернізацію програмного забезпечення виробувального стенда марки «ИГК-90.1».

ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» зі змінами, внесеними згідно із Законом № 4731-VI від 17.05.2012.
2. Закон України «Про захист прав споживачів» зі змінами, внесеними згідно із Законом № 5463-VI від 16.10.2012.
3. ЦТ-0062 «Інструкції з утримання, ремонту та випробування гасителів коливань локомотивів і моторвагонного рухомого складу».
4. ГОСТ Р 52279-2004. Демпферы гидравлические рельсового подвижного состава. Общие технические условия.
5. ТУ 31 8383-001-00083262-06. Гидродемпфер колебаний (демпер) 45.30.045М. Технические условия.
6. Цивільний кодекс України (Книга четверта. Право інтелектуальної власності) зі змінами, внесеними згідно із Законом № 5495-VI (5495-17) від 20.11.2012.
7. Гасники коливань гідравлічні рейкового рухомого складу. Технічні вимоги (затверджені 01.06.2004 генеральною дирекцією Укрзалізниці).
8. «Гидравлические демпферы подвижного состава железных дорог. Руководство по эксплуатации», ОАО «Транспневматика» от 15.07.1999.
9. Боряк К.Ф., Манзарук М.А., Разумовский А.Л. Пневмоприводной стенд для испытаний гидравлических гасителей колебаний локомотивов // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. — 2012. — № 3(30). — С. 31—35.



Л. Воробьёв, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
Т. Грищенко, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник,
Л. Декуша, кандидат технических наук, заведующий отделом,
О. Декуша, научный сотрудник,
С. Ковтун, научный сотрудник,
Е. Шмаров, младший научный сотрудник,
Институт технической теплофизики (ИТТФ) НАН Украины, г. Киев

Разработаны две специализированные модели преобразователей теплового потока для измерения тепловой нагрузки на аэродинамический обтекатель ракеты-носителя (РН). Описаны устройство, принцип действия и средства метрологического обеспечения таких измерительных средств. Представлены результаты измерения плотности тепловых потоков в головной части РН «Днепр» в экстремальных условиях выведения космических аппаратов на орбиту.

Two special models heat flow sensors have been developed for thermal load measurements on an aerodynamic payload fairing of a launch-vehicle. The article describes design, function and metrological attestation equipment of these measuring devices. The paper presents measurement results of heat flow density in head part of LV «Dnepr» at extreme conditions of injecting spacecrafts into orbit.

При разработке РН, предназначенных для вывода на орбиту космических аппаратов, среди многих факторов, требующих внимания, большое место занимает проблема защиты головной части РН от перегрева в плотных слоях атмосферы. Эта проблема решается изготовлением головного обтекателя из термостойких материалов и нанесением на его наружную поверхность низкотеплопроводного теплозащитного покрытия.

Для расчета параметров теплозащитных покрытий необходима информация об аэродинамической тепловой нагрузке на головную часть, значение ко-

торой традиционно определяют методами математического моделирования на основании показаний преобразователей температуры, установленных под теплозащитой несущей конструкции, с учетом турбулентно-ламинарного перехода режима течения в пограничном слое [1].

Однако, ввиду сложности таких расчетов и неоднозначности данных о моменте смены аэродинамического режима в полете, теплозащитное покрытие головного обтекателя РН выполняют с запасом по толщине, что приводит к вынужденному уменьшению массы полезного груза. Кроме того, та-

кой подход не дает полной информации о динамике термонапряженных состояний элементов конструкции во многих случаях и ограничивает возможность снижения предусмотренного запаса прочности.

В рамках исследования полетной надежности РН типа «Днепр» по тепловой нагрузке на головной аэродинамический обтекатель в реальных условиях предусмотрен контроль теплового потока к наружной поверхности головной части космического аппарата и теплового потока от оболочки несущей конструкции обтекателя в зону размещения полезного груза. С этой целью, как правило, в качестве средства измерения применяли первичные преобразователи температуры, по показаниям которых вычисляли значения контролируемого теплового потока при выведении ракеты на космическую орбиту. По мнению автора [2], это обусловлено тем, что якобы не существует приборов, способных измерять непосредственно тепловой поток в реальных условиях космического полета. Такое утверждение, по крайней мере, кажется странным, ибо уже более пятидесяти лет как существуют измерительные термоэлектрические преобразователи теплового потока (ПТП) вида вспомогательной стенки [3—5], разработанные и выпускаемые в ИТТФ НАН Украины, а также ПТП, выпускаемые иностранными производителями [6, 7]. ПТП имеют широкое распространение в самых различных областях науки и техники, в том числе в аэрокосмической отрасли. Сначала — при наземных испытаниях, а с 2004 года — в реальных полетных условиях при запусках РН с полезным грузом — космическими аппаратами (например, искусственными спутниками Земли) наряду с традиционными измерителями температуры стали применяться термоэлектрические ПТП [5] разработки ИТТФ.

По техническому заданию ГКБ «Южное» в ИТТФ разработаны, изготовлены и испытаны [8] две модели термоэлектрических ПТП. Первая модель, имеющая согласно [5] условное обозначение ПТП-1Б.18.2.1.11.Д.00.1.56.00.0-20 и предназначенная для установки на внешней поверхности обтекателя, имеет предел измерения плотности теплового потока до 20 кВт/м^2 и получила краткое обозначение «ПТП...-20». Вторая, имеющая согласно [5] условное обозначение ПТП-1Б.11.2.2.11.Д.00.1.56.00.0-5, предназначена для установки на внутренней поверхности обтекателя, имеет предел измерения плотности теплового потока до 5 кВт/м^2 и получила краткое обозначение «ПТП...-5».

Сигналы разработанных преобразователей должны поступать на вторичный измерительный прибор системы телеметрии РН. В связи с этим в моделях

ПТП, разработанных ИТТФ, для системы измерения РН параметры конструкции выбраны так, чтобы обеспечить совместную работу с системой телеметрии РН и, в частности, так, чтобы коэффициент преобразования ПТП обеспечивал на пределе максимально возможной плотности теплового потока получение сигнала порядка 50 мВ.

УСТРОЙСТВО, ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И СРЕДСТВА МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ, УСТАНОВЛИВАЕМЫХ НА ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ОБТЕКАТЕЛЯ

На активном участке полета РН обтекатель подвергается воздействию высокой температуры — порядка 500 К в течение 280 секунд, а затем некоторые участки обтекателя подвергаются воздействию теплового потока от двигателя управления, корректирующего орбиту корабля. В связи с этим преобразователи, устанавливаемые на внешней поверхности обтекателя, должны сохранять свои метрологические характеристики при температуре до 500 К и быть термостойкими при температуре 523 К. Должна быть обеспечена также высокая долговечность ПТП (до 15 лет) и временная стабильность их характеристик.

В принципе, спиральные термоэлектрические ПТП применяют для измерения теплового потока в широком диапазоне температуры, учитывая температурную зависимость коэффициента преобразования. Однако, при высоких значениях температуры наблюдается временной уход градуировочной характеристики, обусловленный изменением соотношения сечений покрытия и основного термоэлектрода за счет окисления покрытия и частичной диффузии его в основной термоэлектрод.

Этим недостатком обладают широко распространенные гальванические ПТП, выполненные на базе термоэлектродных пар константан-медь и константан-серебро. Первые имеют весьма тонкий слой медного гальванического покрытия (не более 2 мкм), а при температуре выше 380 К медь начинает активно окисляться, что приводит к изменению чувствительности преобразователя. Хотя серебро значительно меньше подвержено окислению, чем медь, однако толщина гальванически наносимого серебряного электрода также очень мала, а диффузия атомов серебра в металл также способствует изменению чувствительности.

В качестве перспективных термоэлектродных пар для создания стабильных ПТП, работающих в диапазоне температуры от 300 до 500 К, исследованы константан-никель и копель-никель. На первый

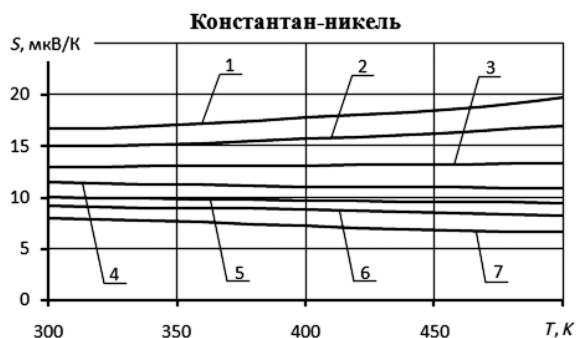
взгляд, их использование представляется парадоксальным, поскольку никель имеет тот же знак термоЭДС относительно платины, что и константан, и копель [9]. При комнатных температурах коэффициент термоЭДС пар константан-никель и копель-никель примерно в два раза меньше, чем у пар константан-медь и копель-медь, однако толщина слоя никеля, наносимого на проволоку-основу, в несколько раз превышает толщину соответствующих слоев меди или серебра. Никель достаточно стабилен и коррозионностоек при значениях температуры до 500 К, технологически легко осаждается на константан, копель и другие металлы проволоки-основы.

В различных литературных источниках имеются весьма разноречивые сведения о термоэлектрических свойствах никеля, особенно в окрестности точки Кюри (631 К) [9, 10]. Вероятно, это связано с различиями в чистоте, структуре и предыстории исследуемых образцов. В связи с вышесказанным, проведены экспериментальные исследования температурных зависимостей термоэлектрической чувствительности S гальванических пар копель-никель и константан-никель. При этом каждая гальваническая пара представляла собой свитые между собой пары проволок из основного и парного термоэлектродных материалов: константана или копеля с никелем. Рабочий спай гальванических пар помещали в цилиндр, выполненный из нержавеющей стали и заполненный песком, что обеспечило равномерное температурное поле и исключило электрический контакт спаев с корпусом цилиндра. Результаты измерений систематизированы на рис. 1. При этом установлено, что стабильной температурной зависимостью чувствительности в диапазоне температуры (300—500) К пары константан-никель и копель-никель обладают при отношении значений площади сечения гальванического покрытия и основного термоэлектродного материала f_{21} , равным 0,67 (поз. 3 на рис. 1а и 1б).

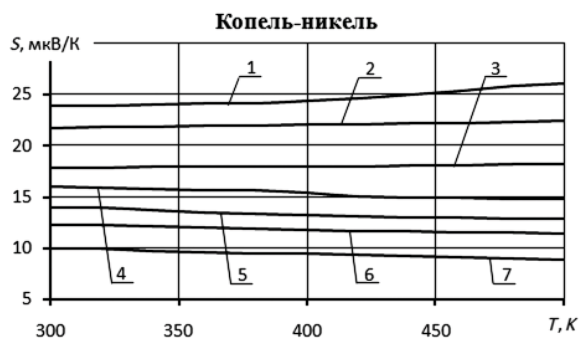
Чувствительность ПТП зависит не только от термоЭДС пары металлов, но и от соотношения их удельных сопротивлений, коэффициентов теплопроводности металлов и заливочного компаунда, а также от параметров конструкции — плотности укладки термоэлементов, площади сечений металлов и компаунда [11].

Выполнены исследования температурной зависимости коэффициента теплопроводности различных заливочных компаундов с наполнителями — порошкообразными корундом и кварцем. Для преобразователей, работающих в широком температурном диапазоне, выбран компаунд на базе смолы УП-610 с наполнителем — порошкообразным корундом [12].

Обычно параметры конструкции ПТП выбирают так, чтобы оптимизировать те или иные характеристики. Для ПТП, работающих в широком температурном диапазоне, важно обеспечить инвариантность коэффициента преобразования к изменению температуры в данном диапазоне. С учетом приведенных выше данных и в соответствии с методикой [11] выполнен расчет и оптимизация параметров конструкции преобразователя. ПТП...-20, устанавливаемый на внешнюю поверхность обтекателя РН, выполнен на базе константан-никелевой спирали термоэлементов и компаунда из смолы УП-610 с наполнением порошкообразным корундом, имеет форму диска диаметром 40 мм, толщиной 2 мм и эффективным коэффициентом теплопроводности 1,5 Вт/(м·К). В связи с тем, что искажения теплового поля распространяются от боковой кромки ПТП на расстояние по направлению к центру не более, чем пять его толщин [3, 13], чувствительная зона расположена в центральной части диска и окружена охранной зоной, которая заполнена той же спиралью из термоэлементов для создания однородной по теплофизическим свойствам структуры.



а) 1 — $f_{21} = 0,559$; 2 — 0,605; 3 — 0,674; 4 — 0,722; 5 — 0,758; 6 — 0,785; 7 — 0,825



б) 1 — $f_{21} = 0,557$; 2 — 0,602; 3 — 0,669; 4 — 0,717; 5 — 0,753; 6 — 0,780; 7 — 0,820

Рис. 1. Температурные зависимости чувствительности $S = f(T)$ различных пар термоэлементов

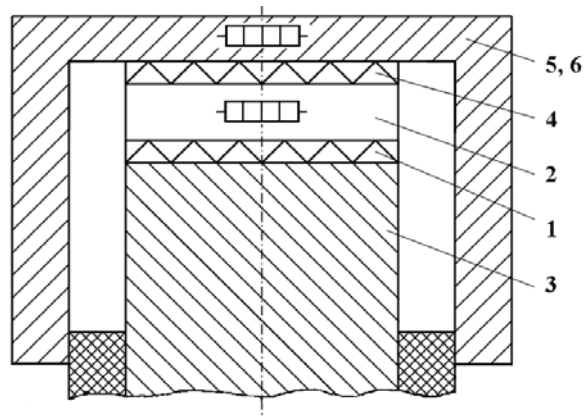


Рис. 2. Принципиальная схема метрологической установки

1 — исследуемый ПТП; 2 — задающий нагреватель; 3 — теплосток;
4 — вспомогательный ПТП; 5, 6 — охранный нагреватель, совмещенный с теплозащитным экраном

Для дополнительной защиты чувствительной зоны от воздействия высокой температуры толщина защитного слоя компаунда на рабочей поверхности ПТП...-20 составляет 0,4—0,5 мм, а время реакции по уровню 0,63 преобразователя на теплоизолированной или термостатированной поверхности не превышает 10 с.

Работы по индивидуальному градуированию и метрологической аттестации ПТП проводят с применением специальной установки, в которой реализован абсолютный метод определения метрологических характеристик термоэлектрических ПТП в условиях стационарного теплового режима при кондуктивном способе подведения заданной плотности теплового потока.

Принципиальная схема установки приведена на рис. 2.

Аттестуемый ПТП 1 размещают между теплоотдающей поверхностью нагревателя 2, задающего тепловой поток фиксированной плотности, и тепловоспринимающей поверхностью термостатированного теплостока 3. Для обеспечения работы абсолютным методом в устройстве предусмотрен вспомогательный ПТП 4, сигнал которого на нулевом значении получают с помощью системы автоматического регулирования за счет работы охранный нагревателя 5, при этом весь тепловой поток от задающего нагревателя направляется в аттестуемый ПТП. Охранный нагреватель 5 конструктивно совмещен с теплозащитным экраном 6, температура которого равна температуре нагревателя 5 в режиме нулевого сигнала ПТП 4.

Установка позволяет определить градуировочную характеристику аттестуемого ПТП 1 по результатам прямых измерений его термоЭДС $E_{ПТП}$ при заданной постоянной электрической мощности W , подводимой к нагревателю 2. Расчетная формула имеет вид:

$$K_{ПТП} = W / (E_{ПТП} \cdot A). \quad (1)$$

Система автоматического регулирования позволяет поддерживать температуру теплостока в диапазоне от комнатной до 500 К, благодаря чему метрологические характеристики ПТП могут быть исследованы в заданном температурном диапазоне. Установка состоит из теплового блока, в котором размещают исследуемый ПТП и обеспечивают требуемые температурный и тепловой режимы, и электронного блока, содержащего средства регулирования тепловых режимов, приема и обработки первичной измерительной информации и передачи ее в персональный компьютер для дальнейшей обработки по соответствующей программе.

На рис. 3 приведены экспериментальные зависимости коэффициента преобразования в диапазоне температур (300—500) К для константан-никелевых ПТП, предназначенных для использования в системах измерения для РН «Днепр» и «Днепр-Восток».

По результатам исследований установлено, что при строгом соблюдении технологии изготовления преобразователей температурная зависимость коэффициента преобразования сводится к минимуму, а значения коэффициента преобразования каждого ПТП, прошедшего исследования и аттестацию, в диапазоне температуры от 300 до 500 К отличаются от среднего арифметического по диапазону не более, чем на $\pm 2\%$.

Экспериментальные лабораторные исследования подтвердили термостойкость разработанной модели ПТП при воздействии температуры до 523 К, а механическое разрушение экспериментальных образцов

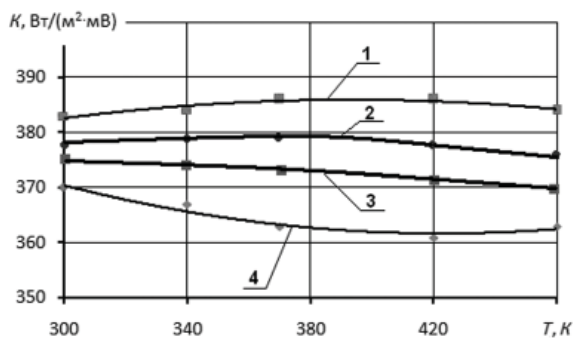


Рис. 3. Температурная зависимость коэффициентов преобразования ПТП...-20 на базе константан-никелевых термоэлементов

происходит при достижении температуры, близкой к 573 К.

УСТРОЙСТВО, ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И МЕТОДИКА НАСТРОЙКИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ, УСТАНОВЛИВАЕМЫХ НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ОБТЕКАТЕЛЯ

Для измерения теплового потока, направленного в зону размещения выводимого на орбиту космического аппарата в пространстве под обтекателем, предназначен ПТП...-5, устанавливаемый на внутренней поверхности металлической несущей конструкции, температура которой на активном участке полета изменяется со скоростью порядка 1—2 К/с. Из записанных показаний преобразователей температуры видно, что максимальное значение температуры не превысило 350 К, при этом длительность наиболее быстрых изменений составила около 50 с. В таких нестационарных условиях теплообмена традиционный ПТП вида вспомогательной стенки с толщиной около 2 мм и временем реакции 10 с имеет большую динамическую погрешность. Эта погрешность зависит не только от конструкции ПТП, но и от свойств поверхности, на которой он размещен, и условий теплообмена. Известно [3], что наименьшая динамическая погрешность наблюдается при установке ПТП на теплоизолированной или термостатированной поверхности, а наибольшие динамические погрешности проявляются при установке ПТП на высокотеплопроводной подложке с изменяющейся температурой, то есть в условиях, соответствующих внутренней поверхности обтекателя. Первоначальная попытка измерить тепловой поток от внутренней поверхности обтекателя на активном участке полета РН и последующие лабораторные испытания показали, что при использовании традиционного ПТП с временем реакции 10 с, динамическая погрешность может в 5—8 раз превышать действительное значение потока. Поэтому для измерения теплового потока от внутренней поверхности обтекателя на космические аппараты необходимо применять ПТП с существенно уменьшенной инерционностью — время реакции не должно превышать 1 с. Кроме того, эти ПТП должны сохранять свои метрологические характеристики при температуре до 373 К и быть термостойкими при температуре 423 К, измерять тепловой поток с плотностью до 5 кВт/м², обладать высокой стойкостью к механическим нагрузкам и легко монтироваться на поверхности обтекателя.

В связи с этим разработана модель малоинерционного преобразователя ПТП...-5, пригодного для

работы в нестационарных условиях, близких к условиям теплообмена на внутренней поверхности обтекателя ракеты.

В [14, 5] методами вычислительной математики показано, что для увеличения быстродействия ПТП необходимо алгебраически суммировать в определенной пропорции сигналы, соответствующие разностям температуры в параллельных сечениях вспомогательной стенки. На практике этот способ измерения можно реализовать с использованием не менее двух батарей термоэлементов, измеряющих разность температуры в нескольких сечениях пластины ПТП, причем одна из батарей является основной, а другая — корректирующей. Корректирующая термобатарея включена с основной дифференциально, что обеспечивает формирование сигнала, пропорционального поверхностной плотности теплового потока [14]. На рис. 4 показаны некоторые возможные варианты устройств, сочетающих две батареи термоэлементов.

На рис. 5 показана схема укладки спиральных батарей термоэлементов перед заливкой компаундом. В центральной части заготовки ПТП расположены две полукруглые теплочувствительные зоны — в одной расположена основная батарея 1, а во второй — корректирующая батарея 2. Спиральные батареи термоэлементов выполнены, как показано на рис. 4, б, с нанесением гальванического покрытия на одну четвертую витка спирали. По периферии теплочувствительные зоны окружены охранной зоной 3 (рис. 5), в которой уложена такая же спираль термоэлементов. Сигналы основной и корректирующей

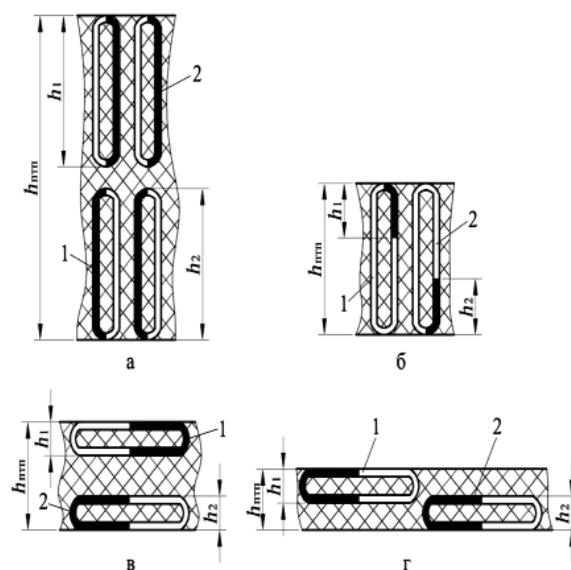


Рис. 4. Устройство ПТП с корректирующей термобатареями (схемы а, б, в, г)

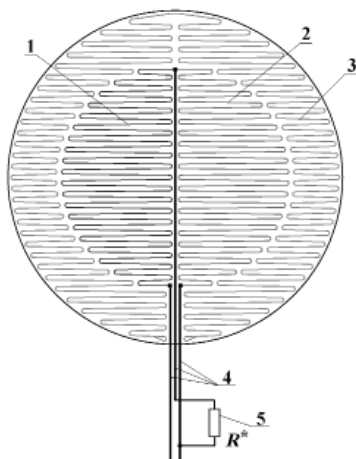


Рис. 5. Схема укладки спиральных термобатарей и подключения подбитаемого шунтирующего резистора

термобатарей снимают с помощью выводов 4, к которым также подключают подбитаемый резистор 5.

После заливки термобатарей компаундом и его полимеризации слой компаунда на рабочих поверхностях ПТП шлифуется для уменьшения толщины и соответствующего снижения инерционности.

ПТП...-5, устанавливаемый на внутреннюю поверхность обтекателя РН, выполнен на базе константан-медной спирали термоэлементов и компаунда из смолы УП-610 с наполнением порошкообразным корундом, имеет форму диска диаметром 60 мм, толщиной 1,8 мм и эффективным коэффициентом теплопроводности 1,5 Вт/(м·К).

Однако, следует учитывать, что для эффективной работы малоинерционных ПТП с корректирующей батареей необходим тщательный подбор соотношения коэффициентов преобразования основной и корректирующей термобатарей. Для получения этого соотношения использован подбитаемый шунтирующий резистор, включенный параллельно корректирующей батарее. Номинал резистора подбирают при настройке ПТП на специальном стенде (рис. 6), позволяющем задавать изменения температуры поверхности, на которую установлен ПТП, примерно соответствующие изменению температуры внутренней поверхности обтекателя РН в условиях полета.

Основным элементом стенда является тонкая (толщиной 4 мм) пластина основания 1, имитирующая обтекатель РН, со встроенными распределенным нагревателем и термометром сопротивления. Напротив нее расположен водоохлаждаемый экран 2, температура которого поддерживается постоянной прокачкой воды от водяного термостата. Преобразователи теплового потока 4 располагают на внутренней стороне пластины 1. Температура

пластины 1 может изменяться по заданной программе с помощью регулятора 6 типа «Поликон 814/С», который управляет нагревом и охлаждением с помощью нагревателя и вентилятора 5 через симисторные усилитель мощности 7 и выключатель 8. Применение программируемого регулятора позволяет воспроизводить разнообразные кривые изменения температуры основания и проверять при этом реакцию ПТП.

Исследуемый ПТП на теплопроводной смазке устанавливают на пластину 1, включают установку и задают программу изменения температуры так, чтобы на начальном участке температура быстро нарастала примерно от 300 до 355 К, затем следует участок стабильной температуры, а далее — остывания. Во время реализации программы изменения температуры записывают выходные сигналы основной и корректирующей термобатарей с помощью измерительной системы, выводя на экран ноутбука графики изменения сигналов. На рис. 7 представлены полученные в одном из экспериментов графики изменения температуры (а) и сигналов термобатарей (б). На основании полученных данных составляются уравнения баланса, учитывающие значения сигналов и искомое соотношение коэффициентов преобразования, для различных участков температурной кривой. Находят из этих уравнений искомое соотношение коэффициентов преобразования, рассчитывают значение сопротивления подстроечного резистора, шунтируют

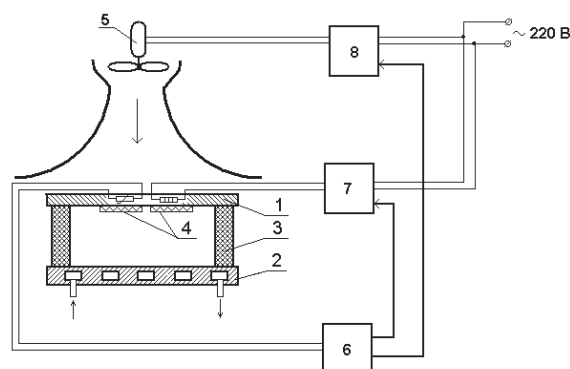


Рис. 6. Функциональная схема стенда с программируемым изменением температуры основания, на котором установлены ПТП:

1 — пластина основания со встроенными распределенным нагревателем и термометром сопротивления; 2 — водоохлаждаемый экран; 3 — боковая теплоизоляция; 4 — исследуемые ПТП; 5 — вентилятор; 6 — программируемый регулятор температуры; 7 — симисторный усилитель мощности; 8 — симисторный выключатель вентилятора

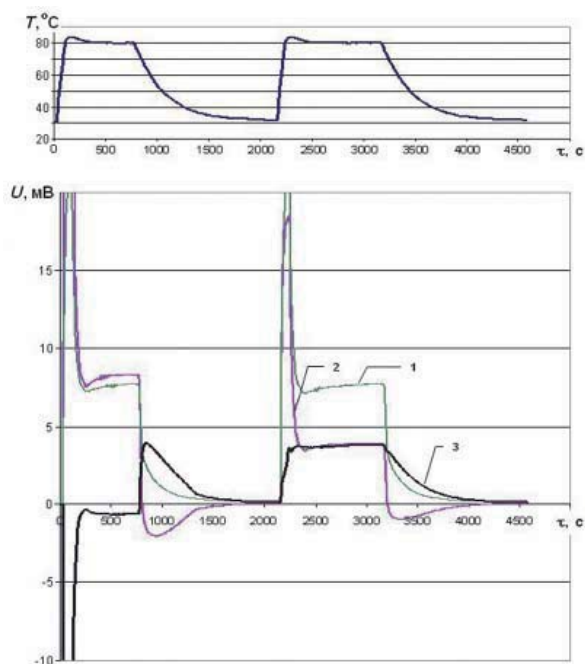


Рис. 7. Графики изменения температуры (а) и сигналов термобатарей (б):

- 1 — сигнал основной термобатареи;
- 2 — сигнал корректирующей термобатареи;
- 3 — разностный сигнал термобатарей

им корректирующую батарею, и в дальнейшем сложение сигналов термобатарей проводится с использованием весовых коэффициентов, обеспечивающих найденное соотношение. На рис. 7 в промежутке времени от 0 до 2000 с показаны записи сигналов термобатарей без введения весовых коэффициентов. Видно, что при быстром изменении температуры основания, как при нагреве, так и при остывании, сигналы термобатарей и их разностный сигнал имеют значительные выбросы, динамическая погрешность измеряется несколькими сотнями процентов. На втором участке в промежутке времени от 2000 до 4500 с сложение сигналов проводится с использованием найденных весовых коэффициентов: 1,0 — для основной термобатареи (кривая 1) и 0,456 — для корректирующей термобатареи (кривая 2). В этом случае сигналы каждой из термобатарей также имеют значительные выбросы при быстром изменении температуры, однако, их разностный сигнал (кривая 3) достаточно корректно описывает изменение теплового потока вследствие изменения температуры, а динамическая погрешность не превышает 15 %. После подбора соотношения сигналов термобатарей ПТП...-5 проходит обычную градуировку в стационарном режиме с использованием радиационной установки РГУ-2 [16].

Все ПТП, предназначенные для использования в составе измерительных систем РН, проходят Государственную метрологическую аттестацию, по результатам которой погрешность измерения в стационарном режиме не превышает ± 4 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, ПРОВЕДЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ПТП ПРИ ЗАПУСКЕ РН

За годы сотрудничества с предприятиями аэрокосмической отрасли Украины было создано, исследовано и внедрено порядка 95 ПТП повышенной точности. Осуществлено 14 стартов РН типа «Днепр», в составе измерительной системы которых использовались ПТП, разработанные в ИТТФ.

Все ПТП безотказно отработали в условиях космического полета, что позволило впервые получить уникальную измерительную информацию о тепловых потоках в головной части РН [8]. В качестве примера на рис. 8 показано полученное по данным телеметрической измерительной системы РН «Днепр» изменение теплового потока в местах установки ПТП в процессе выведения спутников на орбиту, состоявшегося 17 апреля 2007 года.

По показаниям ПТП № 1 и № 2, установленных на внешней поверхности обтекателя, наблюдается несколько характерных временных интервалов. На первом интервале максимальная плотность теплового потока, приходящая на внешнюю поверхность головной части РН, на 69-ой секунде полета достигает 13 кВт/м^2 и соответствует разгонному участку (выходу на орбиту через плотные слои атмосферы). Затем со 120 по 280 секунды поток на наружной поверхности мал (движение в разреженных слоях и вне атмосферы), а, начиная с 280 с, на один из ПТП начинает воздействовать постоянный тепловой поток от двигателя управления, корректирующего орбиту корабля. Эти данные согласуются с расчетными значениями тепловой нагрузки, полученными на этапе подготовки РН к запуску.

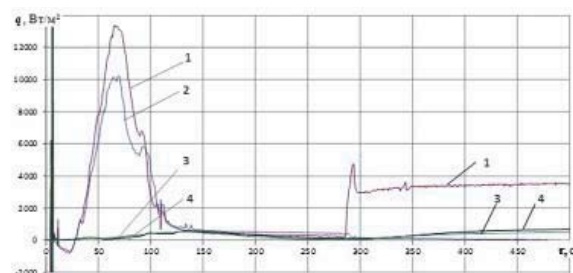


Рис. 8. Графики изменения теплового потока на наружной поверхности обтекателя и в зоне размещения полезного груза в процессе выведения спутников на орбиту

Судя по показаниям ПТП №3 и №4, установленных на внутренней стороне обшивки головной части РН, тепловой поток в зоне расположения полезного груза достаточно мал и изменяется несущественно, что свидетельствует о надежности тепловой защиты космической головной части ракеты.

ВЫВОДЫ

Результаты проведенных исследований и накопившийся опыт разработки и изготовления ПТП позволили создать специальные преобразователи теплового потока для телеметрической измерительной системы РН типа «Днепр».

Для контроля тепловой нагрузки на головную часть РН с 2004 года применяют две модели преобразователей, разработанных в ИТТФ. Для изме-

рения тепловых потоков к наружной поверхности обтекателя используют ПТП на базе константаникелевых термоэлементов в традиционном исполнении; для измерения тепловых потоков от металлической оболочки внутрь пространства под обтекателем — малоинерционные ПТП на базе константан-медных термоэлементов с корректирующей термобатареей. Все ПТП успешно отработали в экстремальных условиях космического полета и позволили получить уникальную информацию о плотности теплового потока на головной части летательного аппарата.

Надежность и практичность использования специализированных ПТП в составе измерительной системы РН типа «Днепр» подтверждена четырнадцатью запусками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдеевский В.С., Галицкий Б.М., Глебов Г.А. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике. — М.: Машиностроение, 1992. — 528 с.
2. Юрченко И.И. Экспериментально-аналитическая методика расчета тепловых потоков на поверхности космических головных частей в полете: Дисс. ... канд. техн. наук. — Москва, 2005. — 135 с.
3. Геращенко О.А. Основы теплотрии. — Киев: Наук. думка, 1971. — 192 с.
4. Декуша Л.В. Теплотрические измерительные преобразователи для исследования сложного теплообмена: Дисс. ... канд. техн. наук. — Киев, 1990. — 278 с.
5. ДСТУ 3756-98. Енергозбереження. Перетворювачі теплового потоку термоелектричні загального призначення. Загальні технічні умови. — Київ: Держстандарт України, 2000. — 22 с.
6. Van der Graaf, F. Heat-flux Sensor // Chapter 8 Volume 4 Thermal Sensors. VCH Verlagsgesellschaft mbh. P. O. Box 1011611, D — 6940 Weinheim, FRG. — 1990. — 28 с.
7. Waal H. Quantitative differential thermal analysis with an isothermal microcalorimeter. — Instrum. Pract. — 1969. — V. 19. — № 11. — P. 1022—1028.
8. Ковтун С.И., Декуша Л.В., Воробьев Л.И., Декуша О.Л. Первичные преобразователи теплового потока для определения тепловой нагрузки на головной обтекатель РН типа «Днепр» // Космические технологии: настоящее и будущее. III Международная конф. — Днепропетровск, 2011. — С. 54—55.
9. Рогельберг И.А., Бейлин В.М. Сплавы для термпар. Справочник. — М.: «Металлургия», 1983. — 369 с.
10. Кульбуш Г.П. Электрические пирометры. — М.: ОНТИ, 1932. — 408с.
11. Геращенко О.А., Грищенко Т.Г., Декуша Л.В. Методика конструирования оптимальных преобразователей теплового потока // Проблемы энергосбережения. — Киев: Наук. думка, 1990. — Вып. 3. — С. 36—42.
12. Декуша Л.В., Грищенко Т.Г., Воробьев Л.И., Ковтун С.И., Вергейчик В.А. // Термоэлектрические преобразователи теплового потока для работы в широком диапазоне температур. — Тезисы IV межд. конференции «Проблемы промышленной теплотехники», 26—30 сентября 2005 г., Киев. — С. 328—330.
13. Визначення теплових потоків крізь огорожувальні конструкції: Методика М 00013184.5.023-01/ Розробники: Т.Г. Грищенко та ін. — К.: Логос, 2002. — 131 с.
14. Декуша Л.В., Воробьев Л.И., Грищенко Т.Г., Декуша О.Л., Пархоменко Г.А. Особенности проектирования преобразователей теплового потока для исследования нестационарного теплообмена // Промышленная теплотехника. — 2008. — Т. 30. — С. 99—104.
15. Декуша Л.В., Воробьев Л.И., Декуша О.Л., Грищенко Т.Г. Преобразователь теплового потока с корректирующей термобатареей // Сборник трудов VI международной научно-технической конференции «Метрология и измерительная техника (Метрология—2008)». — Харьков, 2008. — С. 333—339.
16. Декуша Л.В., Грищенко Т.Г., Зайцев В.Б. Установка для радиационной градуировки преобразователей теплового потока // Промышленная теплотехника. — 2003. — Т. 25 (прил. к журн. № 4). — С. 462—464. ■

УДК 389.64:681.122

ЩОДО МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ НА РЕАЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ЗА ВІДПОВІДНИХ ТИСКІВ

І. Петришин, доктор технічних наук, професор, генеральний директор,

П. Джочко, начальник відділу,

О. Бас, молодший науковий співробітник,

ДП «Івано-Франківськстандартметрологія»

Наведено відмінності метрологічних характеристик лічильників газу (ЛГ) під час роботи на повітрі та природному газі (за різних тисків). Описано процедуру «балансування Рейнольдса», яка застосовується у процесі калібрування ЛГ за різних тисків. Зроблено висновки щодо необхідності створення в Україні вихідного еталона з використанням реального робочого середовища у разі роботи на високих тисках у діапазоні робочих витрат середньостатистичного споживача газу.

The article describes the differences metrological characteristics of gas meters while working on air and natural gas (at different pressures). The procedure described «balancing Reynolds», which is used for calibration of gas meters at different pressures.

The conclusions regarding the need to create in Ukraine reference standards using real working environment when working at high pressures in the range of gas flow rate operating average consumer of gas.



І. Петришин



П. Джочко



О. Бас

Підвищення точності та достовірності обліку природного газу ставить перед газотранспортними та газозбутовими організаціями, підприємствами — виробниками витратовимірювальної техніки, метрологічними службами питання зменшення похибок вимірювання приладів обліку як пріоритетне завдання на шляху економії такого енергоносія, як природний газ. Існує два реальних шляхи реалізації цього завдання.

Перший — це зменшення інструментальних та методичних похибок існуючих робочих засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) об'єму та об'ємної витрати газу та впровадження нових їх видів, принцип дії яких забезпечує вимоги збільшення динамічного діапазону вимірювань та стабільності статичних характеристик (залежності

похибки від витрати газу) в широкому діапазоні вимірювальних витрат. Це дасть можливість внесення коригувальних коефіцієнтів похибок ЛГ в обчислювальний пристрій на вузлі обліку газу, що зменшить інструментальну складову його сумарної похибки. Як приклад — застосування ультразвукових ЛГ, зокрема, як дублювальних лічильників після діфрагм на вузлах обліку ПАТ «Укртрансгаз», які поряд з широким діапазоном вимірювання мають стабільні метрологічні характеристики.

Другий — це вдосконалення метрологічного забезпечення засобів обліку газу, в першу чергу, його технічної основи — еталонної бази.

У цьому мають бути зацікавлені усі ланки: від організацій, які видобувають, транспортують та збувають природний газ, до споживачів, зацікавлених у достовірності цього обліку, що здійснюється на кожному етапі із зазначеною точністю.

Газотранспортні та газозбутові організації, як правило, забезпечені робочими еталонами — установками для періодичної повірки ЛГ. Разом з тим, через суттєвий дисбаланс у сфері обліку газу та постійні намагання газозбутових організацій зменшити втрати природного газу, їхні метрологічні служби працюють над активним упровадженням нової, постійно діючої процедури — перевірки технічного стану вузлів обліку газу із використанням контрольних ЛГ з метою подальшого встановлення їх придатності до застосування через проведення позачергових повірок. У цьому напрямі виконано багато роботи, зокрема розроблено відповідну нормативну основу [1], що регламентує процедуру проведення перевірки технічного стану вузлів обліку газу. Також певні вітчизняні підприємства освоїли випуск контрольних вузлів обліку газу.

Разом з тим доцільно зазначити, що нормативні документи на ЛГ [2, 3] дозволяють проводити калібрування за тисків, близьких до атмосферного, для ЛГ, що працюють за тисків до 0,4 МПа. Використання цих лічильників за інших робочих умов зумовлює появу непрогнозованих додаткових похибок вимірювання об'єму газу.

Відповідно, враховуючи наявні обмеження, світові тен-

денції та ситуацію, що склалася в Україні, гостро постає питання необхідності удосконалення еталонної бази України.

Отже, першочерговим завданням удосконалення еталонної бази є створення принципово нової ієрархії передавання одиниці об'єму та об'ємної витрати природного газу за робочих умов вимірювання, тобто на реальному газовому середовищі за відповідних тисків. Для цього, перш за все, необхідне адекватне (з точки зору точності) відтворення одиниці об'ємної витрати газу на вихідному еталоні з метою передавання її вторинним та робочим еталонам, а від них — до робочих ЗВТ — лічильників та витратомірів природного газу.

Вагомим аргументом такої постановки завдання є відмінність характеристик ЛГ, отриманих у процесі калібрування на повітрі та природному газі з різними значеннями робочого тиску, що підтверджується багаторічними дослідженнями вчених, які працюють у сфері витратометрії газу [4—7]. Як приклад розглянемо отримані під час калібрування характеристики турбінного ЛГ 80, проведеного фахівцями ДП «Івано-Франківськстандартметрологія». Калібрування турбінного ЛГ 80 проведено на повітрі та природному газі за різних значень вхідного тиску на установці «Пасічна». Результати калібрування подано на рис. 1.

Як видно на ньому, відмінність метрологічних характеристик на повітрі та природному газі може складати суттєві значення, співрозмірні з похибкою ЛГ. Наприклад, за витрати $0,1 Q_{max}$ абсолютне значення різниці похибок у процесі калібрування на повітрі та природному газі за низького тиску становить 2,14 %, а за витрати $0,7 Q_{max}$ — різниця на повітрі та природному газі за середнього тиску складає 0,7 %.

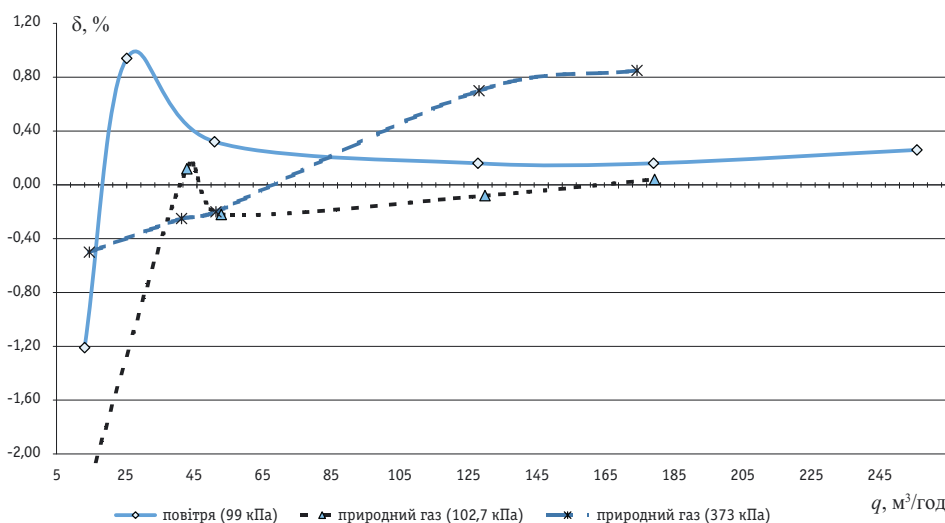


Рис. 1. Результати калібрування турбінного ЛГ 80 на повітрі та природному газі за різних тисків вимірюваного середовища

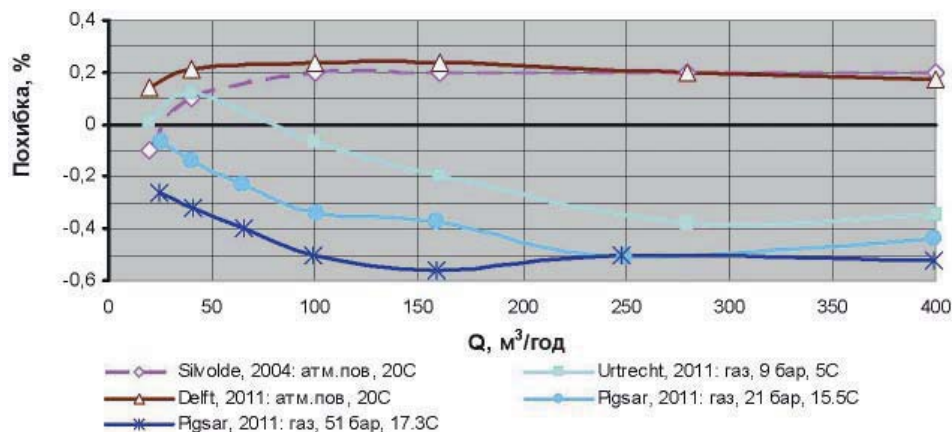


Рис. 2. Результати калібрування еталонного роторного ЛГ IRM-HPB-G250 Dn 100 (20 ÷ 400 м³/год) фірми Elster Instromet, Бельгія

Представлено результати калібрування еталонного лічильника IRM-HPB-G250 метрологічного центру «Боярка» (рис. 2). Досліджувався він на еталонних установках у Нідерландах: на повітрі (на установках Silvolde та Delft) та природному газі за тиску 9 бар (на установці Utrecht) та у Німеччині: на природному газі за тисків 21 та 51 бар (Dorsten, на установці Pigsar) [8].

З рис. 2 видно, що результати калібрування підтверджують попередні висновки. Зазвичай передові іноземні виробники ЛГ в експлуатаційній документації наводять відмінності характеристик у випадку роботи на повітрі та на газі за атмосферного тиску, а також за високих тисків [9, 10]. Зокрема, (рис. 3) наведено характеристику турбінного ЛГ фірми Elster-Instromet у разі роботи за різних тисків та різних середовищ. У планах фірми Elster анонсується використання такого типу лічильників як еталонних для калібрувальних установок [11]. Разом з тим доцільно відзначити, що лічильники фірми Elster, яка є й виробником калібрувальних установок [12], використовуються як еталонні на установках, які є кращими взірцями для наслідування. Зокрема, лічильники типу IRPP

(роторно-поршневі прувери) входять до складу вторинних еталонів Нідерландів та Німеччини [13], турбінні лічильники SM-RI застосовано у вихідних еталонах Канади (Trans Canada Calibration [14]), Данії (Force Technology [15]),

Росії (Уральський регіональний метрологічний центр [16]) тощо.

У випадку калібрування лічильників за різних робочих умов (на різних установках, з різними робочими середовищами) основним критерієм подібності потоку є число Рейнольдса (Re), що характеризує співвідношення між

$$Re = \frac{4 \cdot q_v \cdot \rho}{3600 \cdot \pi \cdot \mu \cdot D} \quad (1)$$

де q_v — об'ємна витрата вимірюваного середовища, м³/с; D — діаметр умовного проходу ЛГ, м; ρ — густина вимірюваного середовища, кг/м³; μ — динамічна в'язкість вимірюваного середовища, Па·с.

Наведено залежності похибки еталонного лічильника метрологічного центру «Боярка» від числа Рейнольдса (рис. 4), отримані під час калібрування на згаданих вище установках у Нідерландах та Німеччині [8].

Оскільки число Рейнольдса є критерієм подібності потоку, можна стверджувати, що, за аналогічних чисел Рейнольдса, рівними будуть і похибки вимірювання об'єму газу. Тому, для коректного визначення характеристики лічильника у процесі його калібрування за різних тисків, доцільніше застосувати процедуру перерахунку значень об'ємних витрат у число Рейнольдса, тобто $Q = f(Re)$. Після чого шляхом

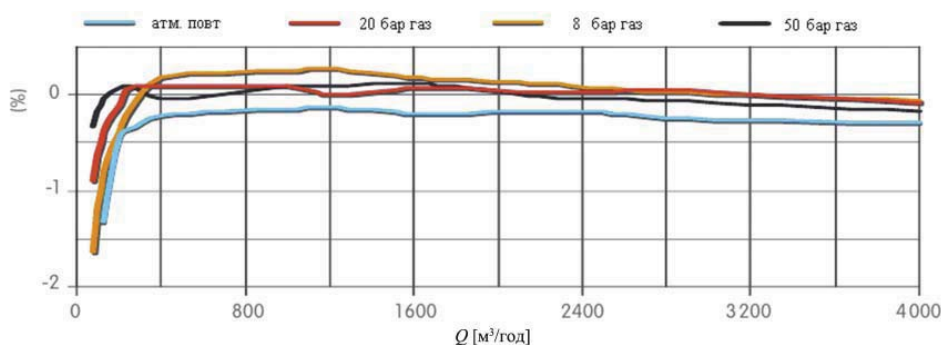


Рис. 3. Характеристика турбінного ЛГ типу SM-RI-2 G2500 фірми Ester Instromet

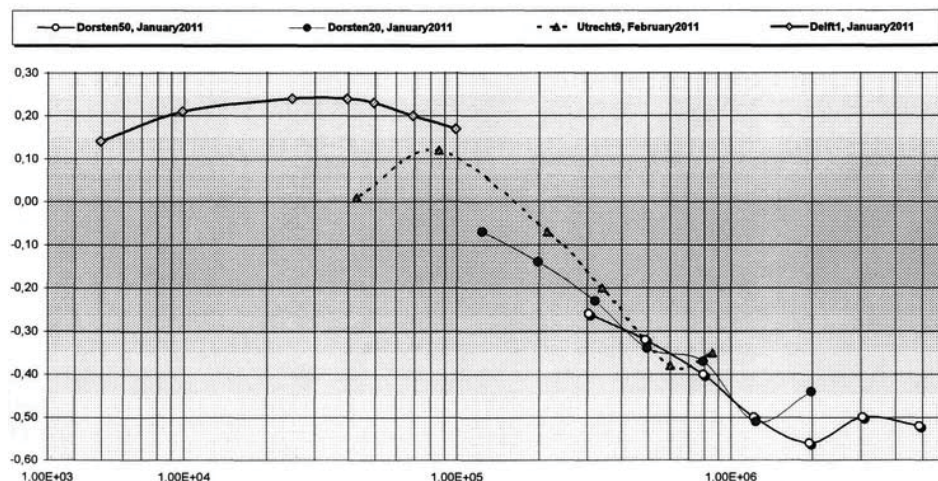


Рис. 4. Залежність похибки еталонного лічильника IRM-HPB-G250 від числа Рейнольдса

інтерполяцій будується градувальна характеристика досліджуваного лічильника для різних витрат і різних тисків. Така процедура має назву «балансування Рейнольдса».

Донедавна вона застосовувалася в Нідерландах [17]. У такий спосіб здійснювалося передавання гармонізованої одиниці об'ємної витрати газу від установки Bergum, що працює за тисків від 9 до 50 бар з максимальною витратою 9500 м³/год, до установки Westerbork, максимальна витрата якої становить 40000 м³/год за робочого тиску лише 60 бар. Наведено графічну інтерпретацію процедури інтерполяції числа Рейнольдса для установки Westerbork (рис. 5). Передавання одиниці реалізовувалося шляхом використання лічильників IRPP. На установці Westerbork паралельно установлювалося 10 еталонних лічильників IRPP G250 (рис. 6), кожен з яких атестувався на установці Bergum за різних значень робочого тиску (рис. 5). Наразі концепція передавання одиниці здійснюється за такої послідовності: кожний з еталонних лічильників IRPP атестується на первинному еталоні на високий тиск за допомогою газо-рідинного пружера (Gas — Oil Piston Prover), а в процесі атестації установок, що працюють

газу ДЕТУ 03-01-96 до робочих ЗВТ, яке регламентується ДСТУ 3383 [18], виконується лише на повітрі за атмосферного тиску. Але постійно здійснюються спроби використання газорозподільних станцій як бази для побудови повірочних установок з використання природного газу як робочого середовища, зокрема, планується створення полігонів для довготермінових випробувань лічильників природного газу на базі ПАТ «Київгаз» та ПАТ «Київоблгаз» [19]. Однак, слід зазначити, що створювані полігони призначатимуться для проведення випробувань лічильників природного газу з метою визначення впливу параметрів робочого середовища на зміну похибки лічильників та рівень правильності нормування метрологічних характеристик.

На сьогодні є лише одна діюча й атестована установка, яка належить ПАТ «Івано-Франківськгаз»,

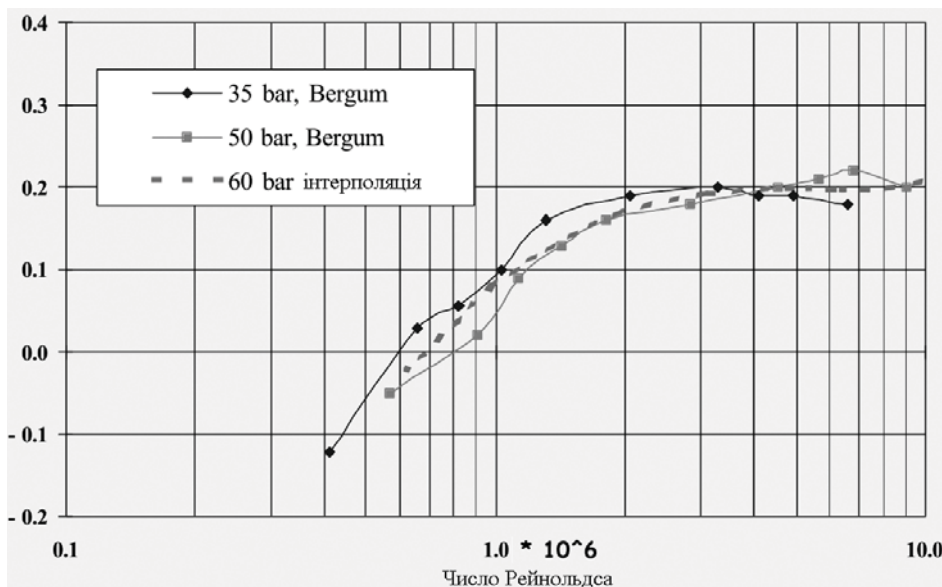


Рис. 5. Інтерполяція характеристики еталонного лічильника IRPP G250

на природному газі за високого тиску, використовується їхній паралельний набір, який є вторинним еталоном.

Стосовно ж метрологічного забезпечення вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу в Україні, то, як уже зазначалося, передавання одиниці від Державного первинного еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати

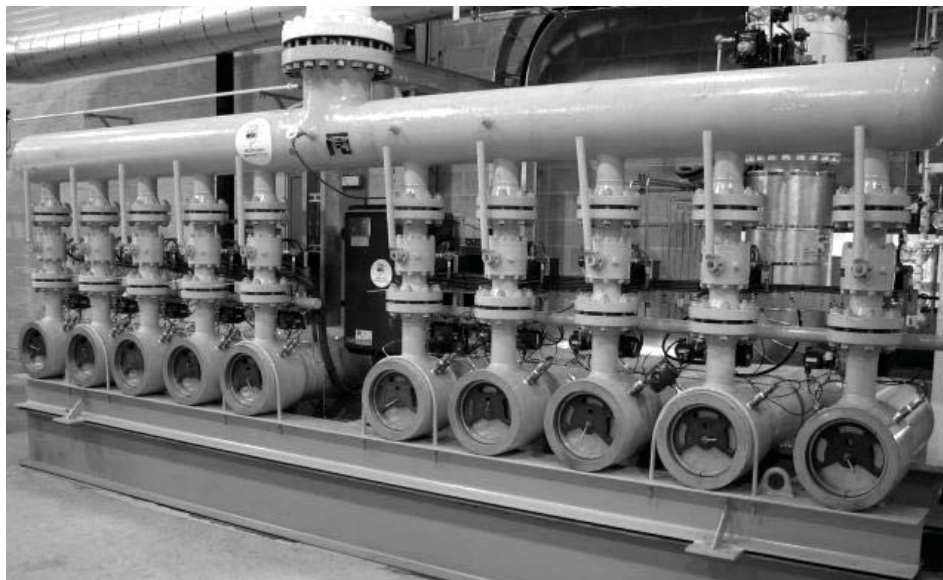


Рис. 6. Використання паралельного набору IRPP для атестації турбінних еталонних лічильників типорозміром G2500 установки Westerbork

міститься вона на території діючої ГРС «Пасічна» і функціонально працює паралельно до ГРС. Установка «Пасічна» має метрологічний статус калібрувальної лабораторії. Фахівцями ДП «Івано-Франківськ-стандартметрологія» проведено атестацію калібрувальної лабораторії «Пасічна» шляхом використання процедури інтерполяції числа Рейнольдса. Робочі еталони установки атестовані на Державному первинному та вторинних еталонах одиниць об'єму та об'ємної витрати газу на повітрі. У процесі атестації установки застосовувалася спеціально розроблена методика звірення з використанням еталонів передавання, які також отримують одиницю від первинного еталона. Після визначення градувальної характеристики еталонів передавання на установці «Пасічна» побудовано залежності їхніх похибок від числа Рейнольдса, і на цій основі визначено довірчі границі максимально допустимої відносної похибки передавання одиниці об'єму та об'ємної витрати газу в діапазоні абсолютних тисків газу від 0,1 до 0,6 МПа, яка становить 0,33 %.

Разом з тим здійснюються важливі кроки щодо створення в Україні потужної випробувальної технічної бази, з метою забезпечення проведення контролю метрологічних характеристик лічильників природного газу на реальному середовищі. Зокрема, проходить ґрунтовну модернізацію установка РПДУ–41 пг. У [20] зазначається, що планується її атестація та уведення в експлуатацію у метрологічному статусі вихідного еталона України одиниць об'єму та об'ємної витрати природного газу високого тиску. Діапазон відтворюваних об'ємних витрат установки становитиме

від 250 до 4000 м³/год за робочого тиску від 2 до 12 бар. Заявлені метрологічні характеристики такі: границі відносних похибок результатів вимірювань за об'ємом газу — СКВ = $\pm 0,15$ %; НСП = $\pm 0,21$ %; за об'ємною витратою газу — СКВ = $\pm 0,2$ %; НСП = $\pm 0,21$ %.

Окрім того, уже декілька років планується повноцінний запуск метрологічного центру «Боярка». Його статус поки що не визначено, оскільки він

фактично мав стати «метрологічною опорою» країн Східної Європи у процесі встановлення балансів та проведення розрахунків кількості природного газу між Україною та країнами Євросоюзу. Схема простежуваності [8] (рис. 7), запропонована метрологічним центром, передбачає гармонізацію його первинних еталонів з «гармонізованим європейським кубічним метром газу високого тиску». На жаль, стосовно еталонної бази метрологічного центру «Боярка» необхідно констатувати, що до сьогодні поки що не було проведено ні процедури атестації, ні процедури звірення з Державним первинним еталонем одиниць об'єму та об'ємної витрати газу з метою гармонізації цих одиниць у межах України.

ВИСНОВКИ

Із існуючих підходів в Україні найбільшого поширення набула так звана процедура «балансування Рейнольдса». Однак, її недолік у тому, що застосовується вона до деякої міри опосередковано, оскільки є відсутнім державний первинний еталон, що відтворює одиниці об'єму та об'ємної витрати газу за високих тисків. Разом з тим, з рис. 1—3 можна зробити загальний висновок, що у разі зростання тиску та за значень витрат, що становлять понад $0,2 Q_{\max}$, похибка лічильників зменшується, а крива залежності стає більш гладкою і, так би мовити, «вирівнюється». Що ж стосується діапазону об'ємних витрат від Q_{\min} до $0,2 Q_{\max}$, то передбачити, якою саме функцією описуватиметься залежність похибки лічильника є неможливим. Тому саме індивідуальне калібрування та дослідження метрологічних

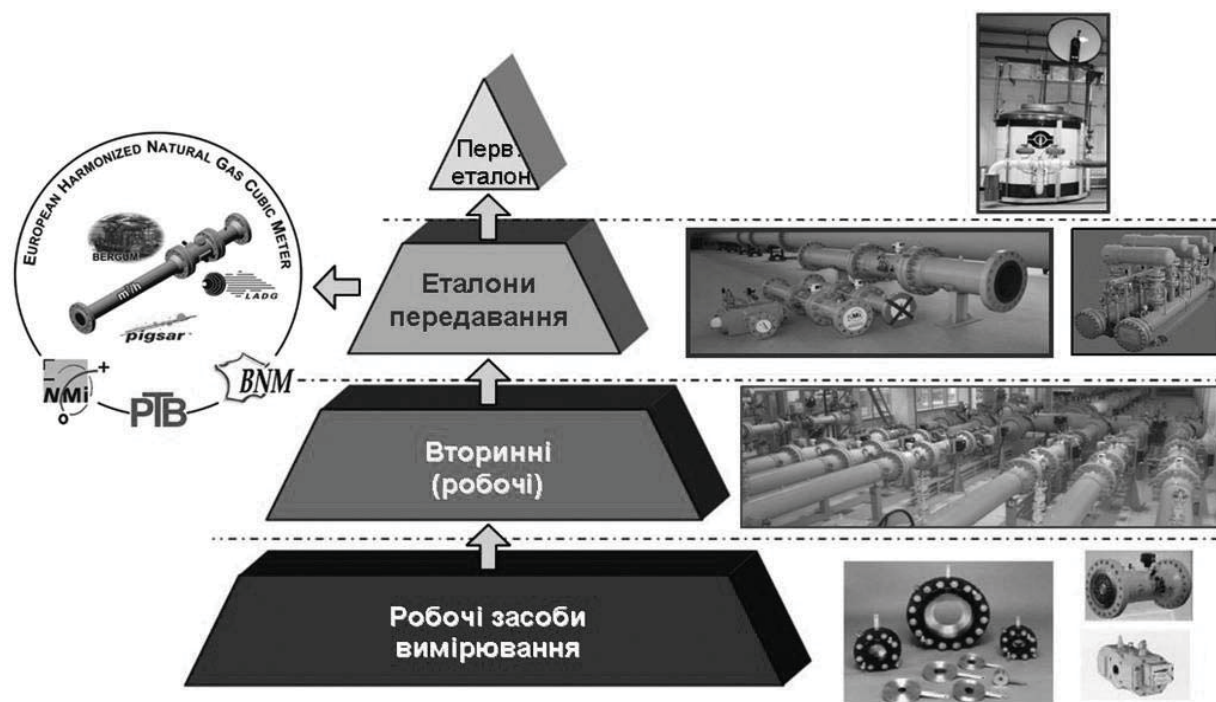



Рис. 7. Схема простежуваності робочих засобів вимірювання, реалізована з використанням еталонів метрологічного центру «Боярка»

характеристик ЛГ за робочих умов, максимально наближених до умов експлуатації, є найбільш правильним шляхом розвитку еталонної бази. Разом з тим доцільно зазначити, якщо модернізована установка РПДУ-41 пг відтворюватиме одиницю об'ємної витрати газу, як уже зазначалося, у діапазоні витрат від 250 м³/год, то у діапазоні до 250 м³/год, який є робочим для основної кількості споживачів природного газу, еталонне обладнання поки що є відсутнім.

Із зазначених висновків випливає, що в Україні постала гостра необхідність створення еталонної бази для відтворення одиниць об'єму та об'ємної витрати з використанням реального робочого середовища за роботи на тисках, більших за 0,4 МПа, у діапазоні робочих витрат середньостатистичного споживача газу. У ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» наразі проводяться роботи за цим напрямом, результати яких будуть опубліковані.

ЛІТЕРАТУРА

1. МП 412/03-2010. Інструкція. Метрологія. Перевірка технічного стану вузлів обліку газу з використанням установки «ЕК-Б». Методика перевірки. — Київ, 2010.
2. ДСТУ EN 12261:2006. Лічильники газу турбінні. Загальні технічні умови (EN 12261:2002, IDT). — Київ: Держспоживстандарт України. — 39 с.
3. ISO 17089-1:2010. Measurement of fluid flow in closed conduits — Ultrasonic meters for gas — Part 1: Meters for custody transfer and allocation measurement. Geneva, 2010. — 108 p. (Вимірювання витрати у закритих каналах — Ультразвукові лічильники газу — Ч. 1: Лічильники для комерційного обліку газу й вимірювань у газорозподільних системах).
4. Peter F. M. Jongerius, Mijndert P. Van Der Beek and Jos G. M. Van Der Grinten Calibration facilities for industrial gas flow meters in the Netherlands // Flow Meas. Instrum. — 1993. — Vol. 4. — № 2. — PP. 77—84 (Калібрувальні можливості для промислових газових лічильників у Нідерландах).
5. Josef Dopke. Przeliczenie charakterystyk metrologicznych gazomierzy miechowych wyznaczonych dla powietrza na odmierzany gaz. Metrix S. A., Tczew, 2003. — PP. 21 (Визначення метрологічних характеристик сильфонних газових лічильників на повітрі).
6. Dijkstra H. H. and M. P. van der Beek. A new reference meter for gas meter calibration. Instrumet International, Essen, Belgium, Nederland's Meetinstituut NMI, Dordrecht, Netherlands, 2001. — PP. 12 (Новий еталонний лічильник для калібрування газових лічильників).
7. Петришин І. С. Науково-методологічні та технічні засади забезпечення точності вимірювань витрати

- природного газу [Текст]: дис. докт. техн. наук: 22.02.07 / Петришин Ігор Степанович. — Івано-Франківськ, 2007. — 381 с.
8. Домницький Р. А. Забезпечення простежуваності еталонів Метрологічного центру до еталонів європейських метрологічних інститутів // Науково-практичний семінар «Актуальні питання метрологічного забезпечення вимірювання рідини та газу», (09 — 11).11.2011.
 9. Turbine gas meter. Handbook. — Instromet. Gas measurement and control equipment, 2001. — 28 p. (Турбінні лічильники газу. Посібник).
 10. Rotary piston gas meter. Handbook. — Instromet. Gas measurement and control equipment, 2002. — 32 p. (Роторні лічильники газу. Посібник).
 11. SM-RI-2: the new reference in gas transport. — Elster-Instromet Profiles 3/2008. — PP. 10 — 11 (SM-RI-2: новий еталонний лічильник для транспортування газу).
 12. High-pressure test rigs with natural gas and air: We'll test for you — with high pressure of course. — Elster-Instromet Profiles. — 2012. — № 2. — PP. 13—15 (Калібрувальні установки на природному газі високого тиску: Ми проведемо калібрування для Вас — Звичайно, за високого тиску).
 13. Rotary Meters as Master Meters. Precision in measuring technology. — Elster-Instromet Profiles. — 2006. — № 2. — PP. 11—13. (Роторні лічильники як еталонні лічильники. Точність у вимірювальній техніці).
 14. Gas System Solutions. Handbook. — Instromet. — 8 p. (Рішення для газових систем. Посібник).
 15. Проспект «Force Technology. High-pressure calibration of gas meters (Force Technology. Калібрування лічильників на високому тиску)».
 16. Балавин М.А. Испытательный центр ОАО «Газпром» в области измерения расхода газа / М.А. Балавин, П.М. Созонов, В.В. Смирнов // Газовая промышленность. — 2007. — № 1. — С. 54—55.
 17. Mijndert P. van der Beek Traceability in High Pressure — high flow gasmetering — Flomeko, Buenos Aires, 27 — 29 March 2006. (Простежуваність за високого тиску — вимірювання великих витрат).
 18. ДСТУ 3383:2007. Державна повірочна схема для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу. — Київ: Держспоживстандарт України, 2007. — 10 с.
 19. Протокол десятої Всеукраїнської семінару-наради «Облік природного газу та надійність газопостачання», (9 — 13).04.2012. м. Дніпропетровськ.
 20. Дудолад А. С., Большаков В. Б., Косач Н. И., Слипушенко В. П. Стратегия развития метрологического обеспечения учета природного газа в Украине // Український метрологічний журнал. — 2012. — № 4. — С. 31—35. 

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ПРИКАРПАТТІ

Питанням підвищення точності та достовірності вимірювань як кількості, так і якості електроенергії (ЕЕ) у ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» приділяється особлива увага. До недавнього часу існуючий парк приладів обліку ЕЕ складався з індукційних лічильників (ЛЕ) (класу точності 2,5 більше 90 %). Зростання вартості енергоносіїв, підвищення вимог до точності обліку ЕЕ, потреба реалізації більш складних функцій стали передумовою застосування електронних ЛЕ. На території області здійснено планову заміну застарілих приладів, вжито заходи щодо їх метрологічного забезпечення (МЗ).


Зокрема, ПАТ «Прикарпаттяобленерго» придбано еталонне обладнання для повірки приладів обліку (вихідні еталони — ЛЕ класу точності 0,05, автоматизовані установки для повірки ЛЕ, пересувну лабораторію для повірки ТС до 3000 А та ТН до 35 кВ), прилади для вимірювання якісних показників електроенергії.

Одним з основних недоліків МЗ обліку ЕЕ було порушення термінів повірки приладів обліку.

З метою охоплення повіркою всіх приладів в установленний термін вжито ряд організаційних заходів, і на сьогодні це питання практично вирішено. Окрім того, згідно з вимогами нормативної документації, перед повіркою ЛЕ проходять профілактичний огляд та,

за потреби, ремонт, і у зв'язку з цим відсоток приладів, що бракуються за результатами повірки, є достатньо низьким.

ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» здійснює повірку та державну метрологічну атестацію практично всіх типів ТС та ТН, що експлуатуються в регіоні. Для цього є необхідне еталонне обладнання: ТС до 1000 А; 3000 А; 10000 А, ТН — до 35 кВ та допоміжне устаткування, а також методичне забезпечення. Повірку та атестацію ТС і ТН можна здійснювати як у повірочній лабораторії, так і за місцем їх експлуатації. ТС бракується до 10 %, ТН — до 3 % за невідповідністю МХ. Проблематичним залишається питання МЗ вимірювальних ТН вище 35 кВ, які експлуатуються на Бурштинській ТЕС та на перетоках регіону.

На території області функціонують близько двох сотень автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії. З метою їх метрологічного забезпечення освоєно атестацію та повірку АСКОВЕ та активно здійснюється діяльність у цьому напрямку. 

(За матеріалами
ДП «Івано-Франківськстандартметрологія»)

УДК 389.64.536.521

ФОРМУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕРМОМЕТРІЇ ВИПРОМІНЕННЯ

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

*Запропоновано моделі методології
удосконалення системи метрологічного
забезпечення (МЗ) термометрії
випромінення (ТВ) та нормативно-
правового забезпечення у цій сфері.*

*The article offers the models
for methodology of improving
the metrological maintenance system
of thermometry radiation
and the regulatory support in this area.*

ТВ на сьогодні — це розвинутий вид вимірювання, засоби і методи якого широко використовуються у промисловості. Подальший розвиток ТВ йде у напрямку розширення температурного діапазону термометрів випромінення в область від -50 до 1000 °C, в якому вимірювання відбуваються на інфрачервоній ділянці спектра. Забезпечення єдності таких вимірювань потребує розвитку різних аспектів МЗ — методів та засобів передавання температурної шкали, методів вимірювань та нормативного забезпечення. Це зумовлює актуальність розвитку МЗ ТВ в інфрачервоній області спектра.

МЗ вимірювань є одним із важливих елементів метрологічної діяльності кожної держави. Воно створює передумови досягнення єдності вимірювань у державі та світі, а саме, стану вимірювань, за якого їх результати виражаються в узаконених одиницях вимірювань, а характеристики похибок або невизначеності вимірювань є відомими з певною ймовірністю. Це забезпечує достовірність вимірювань у промисловості, торгівлі.

Поняття **«метрологічне забезпечення»** є дуже широким — від здійснення технічних вимірювань до забезпечення єдності вимірювань і законодавчої метрології — та використовується, в основному, відносно вимірювань, випробувань і контролю в цілому.

Словник-довідник [1] дає таке визначення МЗ вимірювань — це «діяльність метрологічних й інших служб, спрямована на: створення у країні необхідних еталонів, зразкових і робочих засобів вимірювань; правильний їх вибір і застосування, розроблення і застосування метрологічних правил і норм; виконання інших метрологічних робіт, необхідних для забезпечення необхідної якості вимірювань на робочому місці, підприємстві (організації), в міністерстві (відомстві), народному господарстві».



Основи метрологічного забезпечення термометрії випромінення

Законодавча основа	Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність»
Організаційна основа	Діяльність метрологічної служби України, яка складається з державної та відомчих служб
Наукова основа	Термометрія випромінення (пірометрія) як розділ метрології, що вивчає вимірювання температури за оптичним випроміненням, та її елементи: <ul style="list-style-type: none"> • метод визначення одиниці термодинамічної температури; • методи відтворення та передавання температурної шкали; • методи вимірювання температури за випроміненням; • методи опрацювання результатів вимірювання.
Технічна основа	<ul style="list-style-type: none"> ▪ еталонні засоби відтворення та передавання температурної шкали термометрам випромінення; ▪ система робочих еталонів одиниці температури, за допомогою яких здійснюється передавання розмірів одиниць фізичних величин робочим термометрам випромінення; ▪ робочі засоби вимірювання температури за випроміненням, які використовуються під час розроблення, виробництва, випробувань та експлуатації продукції, наукових досліджень, інших видів діяльності.
Нормативна основа	<ul style="list-style-type: none"> ♦ державні стандарти на термометри випромінення та приймачі випромінення, ♦ способи подання та оцінювання метрологічних характеристик; ♦ методики проведення державних випробувань, повірки, атестації та експертизи термометрів випромінення; ♦ методики виконання вимірювань.

У сучасній фаховій літературі під МЗ розуміємо встановлення і застосування наукових та організаційних основ, технічних засобів, правил та норм, необхідних для досягнення єдності та необхідної точності вимірювань. Також поняття МЗ включає встановлення та застосування метрологічних норм і правил, розроблення, виготовлення та застосування технічних засобів, необхідних для досягнення єдності й потрібної точності вимірювань [2].

Міжнародний термінологічний словник законодавчої метрології [3] дає таке визначення МЗ: «*metrological assurance — all the regulations, technical means and necessary operations used to ensure the credibility of measurement results in legal metrology (eng.)*» — (метрологічне забезпечення — сукупність нормативних, технічних та інших необхідних засобів, використання яких дозволяє гарантувати достовірність результатів вимірювань у сфері законодавчої метрології).

Отже, згідно з міжнародною метрологічною термінологією під поняттям МЗ розумітимемо сукупність правил, технічних засобів та методів, застосування яких необхідне для забезпечення єдності результатів вимірювань у законодавчій метрології. Тому під МЗ ТВ розумітимемо сукупність правил, технічних засобів та методів, застосування яких необхідне для забезпечення єдності вимірювань температури за випроміненням.

На основі [4, 2] нами сформовано модель системи МЗ ТВ, яка складається із законодавчої, організаційної, наукової, технічної та нормативної основ (таблиця).

Законодавча та організаційна основи МЗ ТВ мають загальнометрологічний характер та належать до сфери діяльності Державного органу виконавчої влади у галузі метрології, стандартизації та сертифікації, а отже, є прерогативою держави. Розвиток ТВ потребує удосконалення наукової, технічної та нормативної основ МЗ як теоретичної та практичної бази цього виду вимірювання.

Результатом удосконалення МЗ вимірювань має стати поліпшення якості продукції, підвищення ефективності виробництва, ефективне використання матеріальних цінностей та енергетичних ресурсів України.

Основна частина

Нами запропоновано методологію удосконалення системи МЗ ТВ, яка полягає у дослідженні та виявленні елементів МЗ, які дають найбільший внесок до сумарної невизначеності загального процесу вимірювання температури за випроміненням, та розробленні методів їх покращання. Для цього доцільно реалізувати такі етапи:

- * формування структури системи МЗ ТВ з виділенням окремих елементів та їх складових;
- * аналізування елементів такої системи та визначення окремих складових, удосконалення яких дозволить підвищити точність вимірювання температури за випроміненням;
- * визначення тенденцій розвитку та шляхів удосконалення кожної з цих складових;
- * формування вимог щодо методів удосконалення складових МЗ ТВ;

* розроблення методів удосконалення складових такої системи;

* порівняння характеристик удосконаленої системи з існуючою.

Нами запропоновано модель методології удосконалення системи МЗ ТВ (рис. 1) у виді причинно-наслідкової діаграми Ісікави [5], яка є аналітичним інструментом для дослідження впливу різних чинників, виділення найвагоміших причин, вплив яких призводить до конкретних наслідків та піддається корегуванню. Така модель показує вплив окремих елементів МЗ ТВ та їх складових на точність результату вимірювання температури за випроміненням.

За умови, що кожний елемент системи МЗ ТВ містить певну невизначеність, невизначеності сукупності елементів МЗ з урахуванням їхніх взаємозв'язків впливають на сумарну невизначеність вимірювання термометрами за випроміненням.

На основі проведеного аналізу елементів системи МЗ ТВ нами визначено складові її елементів, що потребують удосконалення [6—8]. Запропонована методологія описується математичною моделлю у виді системи рівнянь:

$$\left\{ \begin{aligned} u_c(T) &= \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 u_i^2(T) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_i c_j u_i(T) u_j(T) r(u_i(T), u_j(T))} \\ u_i &= \sqrt{\sum_{p=1}^k c_p^2 u_{\text{СКЛ}}^2(x_p)} \end{aligned} \right. , \quad (1)$$

де $u_i(T)$ — сумарна невизначеність i -го елемента системи МЗ ТВ; c_i — вагові коефіцієнти складових невизначеності з урахуванням можливого кореляційного зв'язку між ними; $r(u_i(T), u_j(T))$ — коефіцієнти кореляції між окремими елементами системи; $u_{\text{СКЛ}}(x_p)$ — складові невизначеності окремого елемента системи згідно з причинно-наслідковою діаграмою (рис. 1); c_p — вагові коефіцієнти; p — кількість складових невизначеності окремого елемента системи.

Сумарна невизначеність окремих елементів МЗ ТВ формується зі стандартних невизначеностей їх складових з урахуванням їхнього взаємозв'язку. Невизначеність u_i кожного i -го елемента системи МЗ ТВ формується із невизначеностей окремих його складових. Математична модель показує, що сумарна невизначеність вимірювання температури за випроміненням залежить від невизначеностей окремих елементів МЗ ТВ та невизначеностей їх складових. Модель урахує взаємовплив невизначеностей окремих елементів системи МЗ ТВ у виді кореляційного зв'язку.

На основі запропонованої моделі можна стверджувати, що зменшення невизначеності окремої складової МЗ ТВ зменшить невизначеність окремого її елемента та, як результат, зменшить сумарну невизначеність вимірювання температури за випроміненням у цілому, що призведе до підвищення точності вимірювання температури за випроміненням.



Рис. 1. Причинно-наслідкова діаграма впливу елементів системи МЗ ТВ та їх складових на точність вимірювання температури за випроміненням

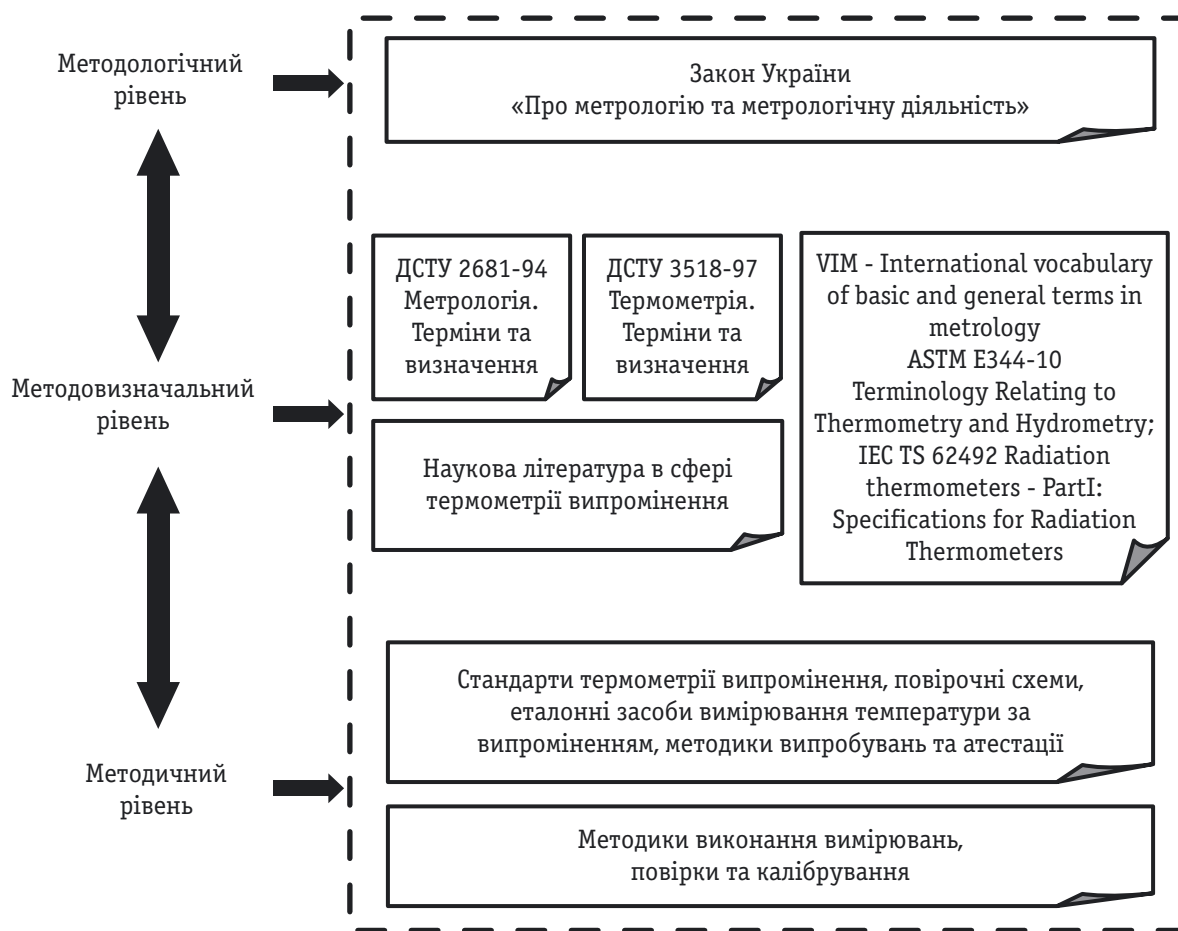


Рис. 2. Модель системи нормативно-правового забезпечення ТВ

Для узгодження нормативної бази ТВ зі світовими метрологічними вимогами нами запропонована модель системи нормативно-правового забезпечення у сфері ТВ (рис. 2), яка включає документи методовизначального, методологічного та методичного рівнів України та світових організацій з метрології та стандартизації.

Формування нормативного забезпечення ТВ згідно з цією моделлю дозволить узгодити його зі світовими вимогами, оскільки дасть можливість узгодити

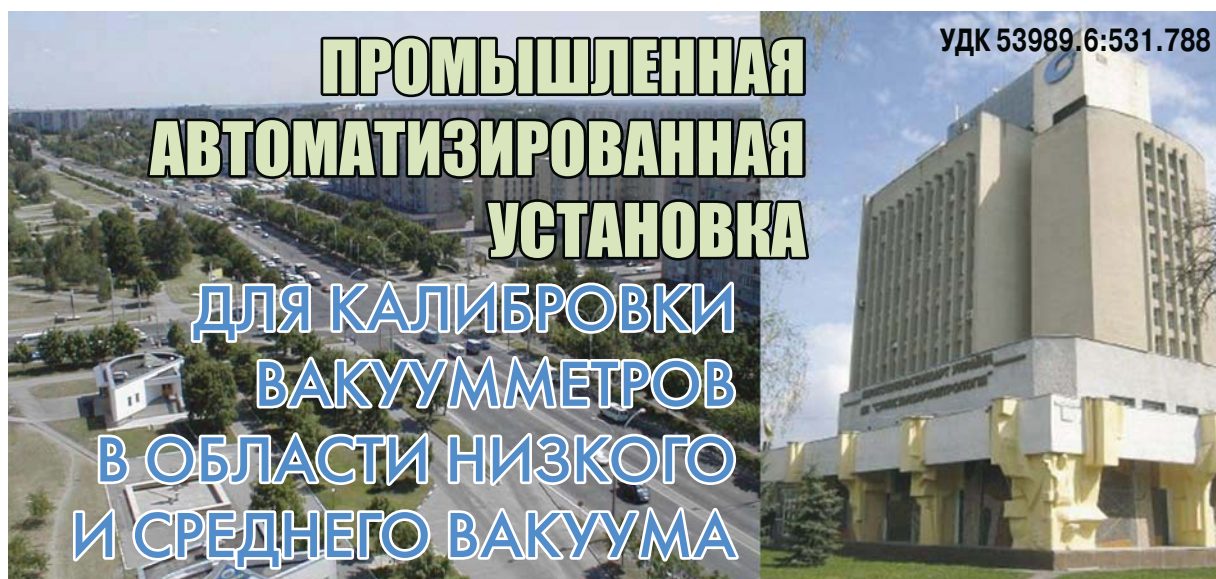
основні нормативні та методичні документи України у сфері ТВ з міжнародними.

ВИСНОВОК

Отже, застосування запропонованої методології дозволить виявити джерела невизначеності складових певних елементів МЗ ТВ та сформулювати методи її зменшення, що позитивно відобразиться на всьому процесі вимірювання і дозволить підвищити точність вимірювання температури за випроміненням у цілому.

ЛІТЕРАТУРА

1. Словарь-справочник «Основные термины в области метрологии». — М.: Изд-во стандартов, 1989.
2. Бичківський Р.В., Столярчук П.Г., Гамула П.Р. Метрологія, стандартизація, управління якістю та сертифікація. — Львів: НУ «Львівська політехніка». — 2004. — 560 с.
3. OIML V 1: 2000. International Vocabulary of Terms in Legal Metrology (VIML).
4. Бичківський Р. В. Основи метрологічного забезпечення / Р. В. Бичківський, В. І. Зорій, П. Г. Столярчук. — Львів: НУ «Львівська політехніка», 1999.
5. Исикава К. Японские методы управления качеством / Сокр. пер. с англ. / Под. ред.
6. Назаренко Л.А., Гоц Н.Є. Реалізація температурної шкали нижче від точки тверднення срібла 961,78°C на реперних точках МТШ-90 // Вимірювальна техніка та метрологія. — 2010. — № 71. — С. 77—82.
7. Гоц Н.Е. Сравнительная характеристика методов пирометрии // Приборы + Автоматика. — Обнинск, Россия. — 2007. — С. 35—50.
8. Гоц Н.Є. Сучасний стан нормативного забезпечення термометрії за випроміненням. Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції «Метрологія—2010», 12—14 жовтня 2010 року, Харків.



В. Одноралов, кандидат технических наук, заместитель генерального директора по метрологии и научной деятельности, ГП «Сумыстандартметрология»,

Л. Цымберов, главный инженер, Компания Потомак Электрик Корпорэйшн, г. Бостон, США

Разработана новая модель автоматизированной установки для калибровки вакуумметров в диапазоне от 10^{-3} до 10^5 Па. Акцентируется внимание на высоком уровне автоматизации процесса калибровки и детальном анализе составляющих погрешностей измерений.

New automated vacuum apparatus for vacuum gauge calibration in the range from 10^{-3} to 10^5 Pa has been developed. The emphasis is on high automation level and detailed analysis of uncertainty's sources.

Многие технологические процессы в среде вакуума требуют точных измерений низких абсолютных давлений. Успешность реализации таких техпроцессов требует периодического контроля метрологических характеристик вакуумметров, применяемых для этих целей. Этому способствуют специальные вакуумные установки, где осуществляется калибровка (поверка) вакуумметров с помощью соответствующих эталонов низкого абсолютного давления в интересующем нас диапазоне.

В промышленно развитых странах уделяется большое внимание задаче метрологического обеспечения точных измерений низких абсолютных давлений (вакуума). В национальных научных метрологических институтах разработаны эталонные установки высшей точности, с помощью которых осуществляется передача размера единицы давления вакуумметрам, применяемым в различных отраслях экономики и научных исследованиях [1]. Такие уста-

новки представляют собою сложные дорогостоящие комплексы уникальной аппаратуры, требующей проведения большого объема научно-исследовательских работ, в результате которых им придается статус национальных эталонов. Для подтверждения характеристик этих эталонов периодически осуществляют их международные сличения [2].

Но для проведения ординарных калибровок рабочих вакуумметров вызывают интерес относительно недорогие, высокопроизводительные калибровочные установки, предназначенные для применения в обычных условиях промышленных и научных лабораторий. В таких установках, как правило, применяется метод калибровки путем сличения показаний рабочих вакуумметров с эталонными, которые, в свою очередь, проходят калибровку на эталонах более высокого разряда, включая и национальные.

В 80-е годы в СССР Казанским НПО «Вакууммаш» выпускались единичными экземплярами установки

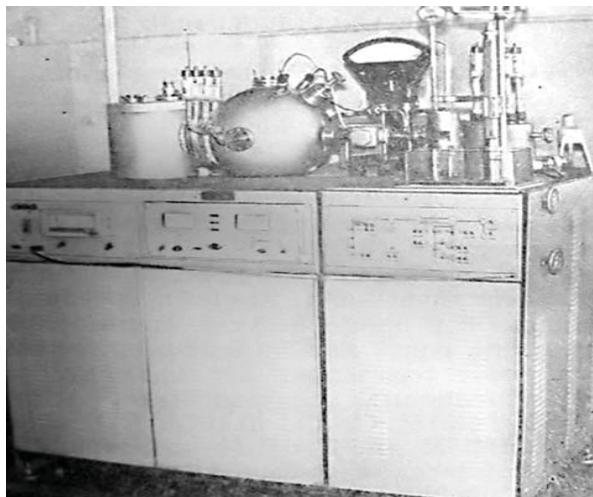


Рис. 1. Установка БОУ-2

БОУ-1 и БОУ-2 [3] (рис. 1), предназначенные для калибровки вакуумметров в широком диапазоне давлений от 10^{-6} до 10^4 Па с относительной погрешностью $\pm (6 - 1) \%$. В качестве эталонов применялись компрессионные манометры Мак-Леода [3] в области низкого и среднего вакуума. В области высокого вакуума был реализован метод динамической редукции давления [3]. Эти установки были достаточно громоздкими, позволяли проводить калибровку небольшого количества вакуумметров и требовали значительных расходов на их обслуживание.

Одним из авторов разработаны более производительные установки для калибровки вакуумметров в условиях промышленной лаборатории в НПО «Насосэнергомаш» (г. Сумы). Установка ОРУ-5М (рис. 2) предназначена для калибровки вакуумметров в диапазоне $(10^{-1} - 10^5)$ Па с относительной погрешностью $\pm (6 - 0,5) \%$ [4]. Эта установка позволяет проводить одновременную калибровку 12 вакуумметров.

Установка ОРУ-6 (рис. 3) предназначена для калибровки вакуумметров в диапазоне $(10^{-5} - 1)$ Па с относительной погрешностью $\pm (7 - 2,5) \%$ [5]. Она

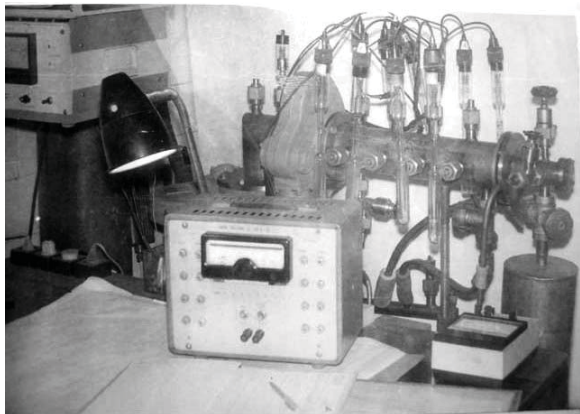


Рис. 2. Установка ОРУ-5М



Рис. 3. Установка ОРУ-6

позволяет проводить одновременную калибровку 8 вакуумметров с преобразователями открытого типа и 16 вакуумметров с преобразователями закрытого типа. Если в первой установке все операции калибровки проводились вручную, то во второй — достигнута определенная степень автоматизации, и процессы установления калибровочной точки, снятия показаний эталонных и калибруемых вакуумметров, расчеты погрешностей и распечатка протокола осуществляются с помощью персонального компьютера.

Ведущие мировые производители вакуумного оборудования выпускают серийные образцы установок для калибровки вакуумметров методом сличения с эталонными вакуумметрами, в качестве которых, в зависимости от диапазона измерения, используются мембранно-емкостные, вязкостные и ионизационные вакуумметры [6]. На рис. 4 и 5 изображены установки для калибровки вакуумметров в области низкого и среднего вакуума PVS-6 (MKS Instruments, США) и CS3 (Leybold Vacuum, Германия). В области высокого вакуума можно использовать установку CS7 (Leybold Vacuum) (рис. 6) и комбинированную установку ES6ST (BOC Edwards, Великобритания) (рис. 7).

Основным недостатком вышеуказанных установок является невысокий уровень автоматизации



Рис. 4. Установка PVS-6

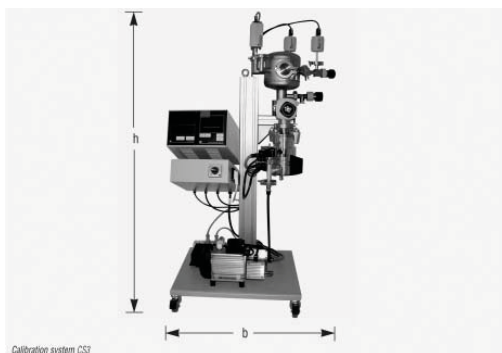


Рис. 5. Установка CS3

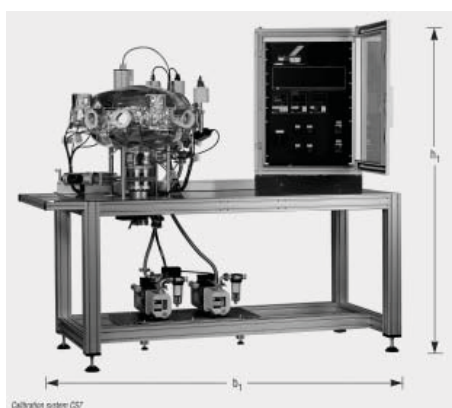


Рис. 6. Установка CS7



Рис. 7. Комбинированная установка ES6ST

операций калибровки. В частности, в ручном режиме осуществляется подготовка вакуумной системы к проведению калибровки, а также процедура установления нужного давления в калибровочной камере.

Соавторами выполнена разработка новой модели автоматизированной установки для калибровки вакуумметров AVCS в диапазоне (10^{-3} — 10^5) Па (рис. 8).

Схема установки показана на рис. 9.

В качестве эталонных вакуумметров применены мембранно-емкостные вакуумметры Baratron модели 690A [7] с основной погрешностью $\pm 0,05$ % и верхними пределами измерений 10^5 , 10^4 и 10^2 Па соот-

ветственно. Поверка осуществляется по азоту. Для его напуска в камеру применяется ПИД — регулируемый натекаль. В установке реализованы два режима проведения поверки. Режим с постоянной подачей и откачкой газа реализуется в диапазоне (10^{-3} — 10^1) Па. В этом режиме натекаль работает на поддержание заданного давления газа при условии откачки камеры насосом. Стационарный режим реализуется в диапазоне (10^1 — 10^5) Па. В этом режиме натекаль работает на установление заданного давления газа при условии отсутствия откачки камеры насосом. На установке одновременно может поверяться до трех вакуумметров. По отдельному заказу может быть изготовлена камера для большего числа вакуумметров. Получение нужного значения предельного остаточного давления и откачка поступающего газа осуществляются гибридным турбомолекулярным насосом в паре с мембранным



Рис. 8. Установка AVCS фирмы Потомак Электрик Корпорэйшн

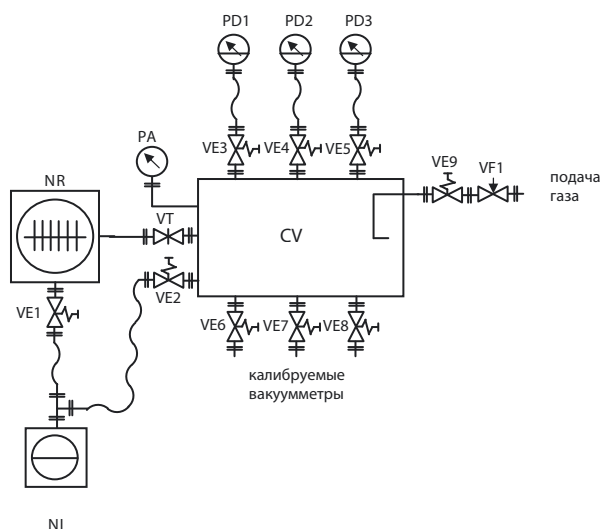


Рис. 9. Схема установки: CV — вакуумная камера; NR — турбомолекулярный насос; NI — форвакуумный насос; PA — ионизационный вакуумметр; PD1-3 — эталонные вакуумметры; VF1 — натекаль; VT — вакуумный затвор; VE1-9 — вакуумные клапаны

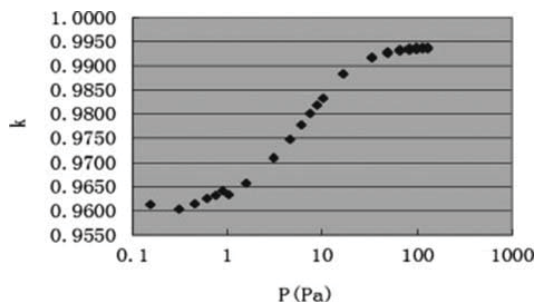


Рис. 10. Термомолекулярна різниця тисків вакуумметрів Varatron моделі 690A (k — відношення тиску в камері установки до тиску P всередині преобразователя еталонного вакуумметра)

форвакуумним насосом, що забезпечує безмасляну откачку камери.

В процесі розробки установки проведено детальний аналіз джерел додаткових погрешностей, до яких належать погрешності ухиляння нуля та зміни нахилу градуировочної характеристики еталонних вакуумметрів, вплив залишкового шуму контролера еталонних вакуумметрів, температурні погрешності та погрешності, пов'язані з нерівномірністю розподілу та флуктуаціями тиску в камері установки. Результуюча погрешність установки в усьому діапазоні вимірювань змінюється від $\pm 0,07\%$ на верхньому межі вимірювань до $\pm 2,0\%$ на нижньому межі вимірювань. Збільшення погрешності на нижньому межі вимірювань пов'язано з суттєвим впливом ухиляння нуля еталонного вакуумметра.

Також була розрахована поправка, пов'язана з наявністю термомолекулярної різниці тисків між камерою та внутрішньою порожниною преобразователя еталонного вакуумметра. Ця різниця тисків обумовлюється активним термостатуванням корпусу преобразователя при температурі $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ з метою стабілізації його нуля і стає суттєвою при тиску в камері нижче 10 Па . Величина цієї поправки досягає теоретичного межі 4% при тиску нижче 10^{-1} Па (рис. 10).

Ручні операції на установці закінчуються підготовкою та підключенням поверяємих вакуумметрів та введенням їх вихідних даних. Всі наступні операції: запуск насосів, отримання потрібного межі залишкового тиску в камері, послідовальне встановлення поверочних точок в двох режимах поверки, переключення еталонних вакуумметрів та діапазонів вимірювань, обробка отриманих результатів, зупинка насосів та надрук протоколу поверки, — здійснюються

в автоматичному режимі з управлінням від персонального комп'ютера за спеціально розробленою програмою. Установка також може працювати в напівавтоматичному та ручному режимах. Дані поверяємих вакуумметрів з цифровим виходом надходять через інтерфейс RS 232, з аналоговим — через 16-бітний АЦП, без виходу — вводяться вручну.

Для зменшення впливу випадкових погрешностей на кожній поверочній точці можна виробляти від 5 до 99 вимірювань з усередненням результатів. Значення тиску в поверочних точках, їх кількість та порядок розподілу по декадам задаються попередньо або за замовчуванням. Програмне забезпечення також дозволяє проводити самотестування установки, індикацію нештатних ситуацій та виведення установки в очікувальний режим. Стан установки та результати поверки можуть контролюватися дистанційно з допомогою мобільних інтернет-пристроїв. Конструкція установки повністю відповідає вимогам стандарту ISO 3567 [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Садковская И. В., Эйхвальд А. И., Эйхвальд Т. А. Перспективы развития жидкостной манометрии в области измерений низкого абсолютного давления // Вакуумная техника и технология. — 2011. — Т. 21. — № 3. — С. 157—159.
2. Müller A. P., Bergoglio M., Bignell N., Fen K. M. K., Hong S. S., Jousten K., Mohan P., Redgrave F. G., Sardi M. Final Report on Key Comparison CCV.P-K4 in Absolute Pressure from 1 Pa to 1000 Pa // Metrologia. — 2002. — № 39. — Tech Suppl. 07001.
3. Кузьмин В. В., Аляев В. А. Техника измерения вакуума. — Казань: КГТУ, 2009.
4. Odnoralov V. Employment of the continuous expansion method for vacuum gauge calibration in the medium vacuum range // Brazilian Journal of Vacuum Application. — 2006. — Vol. 25. — P. 51—57.
5. Odnoralov V. Instalación para Calibración de Vacuómetros, Medidores de Flujo y Espectrómetros de Masa para Gases Raros // Proceedings de 3 Congreso Latinoamericano de Metrologia, METROSUL III (Curitiba, Brasil, 30 Sep-3 Oct, 2002), CD, Metro 54.
6. Leybold Vacuum Products and Reference Book. — 2003. — № 04. — P. C10.14—C10.15.
7. www.mksinst.com.
8. ISO 3567:2011. Vacuum gauges — Calibration by direct comparison with a reference gauge. (ISO 3567:2011.1 Вакуумметры — Калибровка методом сравнения с эталонным вакуумметром).

УДК 543.271.3

СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ПОЛУМ'ЯНО-ІОНІЗАЦІЙНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ВУГЛЕВОДНІВ

В. Приміський, кандидат технічних наук,
доцент кафедри наукових, аналітичних, екологічних приладів і систем,
А. Жужа, аспірант кафедри,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Висвітлено питання вимірювання концентрації вуглеводнів в атмосфері. Проаналізовано найбільш чутливий метод газового аналізу — полум'яно-іонізаційний.

Розглянуто основні процеси, що протікають у зоні полум'яно-іонізаційної реакції, механізм утворення іонів іонізації та вплив електричного поля на розподіл зарядів. Представлено різні функціональні схеми газоаналізаторів, створених із використанням зазначених чинників.

The article highlights the issues of measuring the hydrocarbons concentration in the atmosphere. The paper analyzed the flame ionization method of gas analysis, which is the most sensitive. The authors examine the basic processes in the area of the flame-ionization reaction, formation mechanism of ionization ion, and an effect of the electric field on the charge distribution. The study presents various functional scheme for gas analyzers developed using the above factors.

Вуглеводні (C_nH_m) є одними з основних компонентів — забруднювачів атмосфери, які негативно впливають на людину і довкілля. Вуглеводні є технологічним супутником виробничих процесів у нафтохімії, енергетиці, нафтогазових магістралях. Значна кількість вуглеводнів потрапляє у довкілля з відпрацьованими газами транспортних засобів: автомобілів, літаків, тепловозів, сільськогосподарських і дорожніх машин, мопедів, теплоходів, бензопил тощо. Відповідні міжнародні стандарти нормують рівні викидів вуглеводнів:

- автомобілями — Правила Європейської економічної комісії (ЄЕК) ООН з транспорту, нормативи Євро 2 — Євро 6;
- літаками — нормативи Міжнародної організації цивільної авіації (нормативи ІКАО);
- морськими і річковими суднами — нормативи МАРПОЛ;



В. Приміський



А. Жужа

- тепловозними двигунами і автотранспортними засобами — нормативи вітчизняних ДСТУ;

- за санітарно-гігієнічними вимогами — норми гранично-допустимих концентрацій (ГДК) вуглеводнів в атмосфері міст, санітарно-захисній зоні підприємств.

Вимірювання концентрації газоподібних вуглеводнів чутливими, високоселективними методами газового аналізу є складним науково-технічним завданням. Контроль рівня забруднення, у першу чергу, ускладнюється наявністю в атмосфері одночасно великої кількості вуглеводнів різних класів: *насичених* вуглеводнів (парафінів, ізопарафінів, нафтенів); *ненасичених* вуглеводнів (олефінів, алкенів, алкінів, ацетиленів); *ароматичних* вуглеводнів (бензолу, алкілу бензолу). Отже, актуальною є проблема оптимального вибору відповідного методу газового аналізу і побудованого на його основі газоаналізатора для вимірювання концентрації вуглеводневих з'єднань [1—3].

МЕТОДИ АНАЛІЗУ ВУГЛЕВОДНІВ

Методи вимірювання поділяються на *дві основні групи* [4]:

- методи *прямого, безперервного визначення* концентрації вуглеводнів у режимі реального часу;
- методи *визначення середніх концентрацій основних компонентів* вуглеводнів, попередньо відібраних за певний інтервал часу (випробувальний цикл), за визначених умов відбору.

До перших належать недисперсна інфрачервона спектроскопія та полум'яно-іонізаційне детектування, до других — газова хроматографія, мас-спектроскопія, дисперсійна інфрачервона спектроскопія.

Останні три методи є довготривалими, періодичними й можуть бути придатними для лабораторного аналізу і досліджень. Промислові хроматографи є ефективним засобом дослідження забруднення атмосфери органічними домішками. Проте вони непридатні для швидкого автоматичного контролю вуглеводнів у системі безперервного моніторингу через тривалість та періодичність аналізу, складності ідентифікації великої кількості органічних компонентів в автоматичному режимі, складності зняття отриманих результатів вимірювання, перетворення і передавання їх значень для подальшого використання.

За допомогою недисперсних інфрачервоних газоаналізаторів, заснованих на методі вибіркової фотометрії (абсорбції), до сьогодні не вдавалося виміряти мікроконцентрації вуглеводневих газів. Цим

методом фактично вимірюється концентрація одного з вуглеводнів у суміші (на який налаштовано інтерференційний оптичний фільтр поглинання інфрачервоного випромінювання у газоаналізаторі), сумарно виміряти концентрацію всіх вуглеводнів у багатокомпонентній суміші неможливо. Загалом метод інфрачервоної спектроскопії має такі недоліки:

- ◇ неоднаково реагує на усі види вуглеводнів, при цьому має понижено чутливість у випадку визначення ненасичених та ароматичних вуглеводнів;

- ◇ нечутливий до низьких концентрацій вуглеводнів, що зумовлює його непридатність для контролю атмосферного повітря (чутливість має бути порядку 0,01 ppm).

Останнім часом широко застосовується для автоматичного контролю вуглеводнів полум'яно-іонізаційний метод, як найбільш чутливий до органічних речовин, функція перетворення якого має лінійний характер.

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ Й ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ПОЛУМ'ЯНО-ІОНІЗАЦІЙНОГО АНАЛІЗАТОРА

Полум'яно-іонізаційні газоаналізатори мають велику сферу застосування. Їх використовують для контролю вуглеводнів в атмосфері, вимірювання концентрації вуглеводнів у вихлопних газах двигунів внутрішнього згорання, виявлення вуглеводнів у виробничих процесах нафтохімії, вибухонебезпечних концентрацій органічних речовин, витоку газу з трубопроводів. Сьогодні саме цей метод рекомендовано для вимірювання концентрації вуглеводнів згідно з наведеними вище міжнародними і вітчизняними нормативами.

Полум'яно-іонізаційний метод засновано на вимірюванні іонного струму полум'я під час спалювання вуглеводнів з повітрям в електричному полі. Полум'я чистого водню має низьку електропровідність, однак у разі уведення в полум'я газу, що містить вуглеводні, електропровідність різко зростає. Потік іонів при цьому змінюється приблизно пропорційно числу атомів вуглеводню в молекулах, що потрапляють у полум'я за одиницю часу.

У цій статті використовується назва «детектор» замість «первинний вимірювальний перетворювач», оскільки такий термін широко використовується у вітчизняній і зарубіжній літературі з газового аналізу.

Принцип роботи полум'яно-іонізаційного детектора (ПІД), описаного уперше Мак-Уільямом і Дьюаром (1958 році), засновано на іонізації молекул органічних речовин у полум'ї водню. Електропровідність чистого водневого полум'я є надзвичайно низькою

(опір полум'я досягає $(10^{-12} — 10^{-14})$ Ом). Молекули органічних речовин, що уводяться у водневе полум'я, іонізуються, внаслідок чого електропровідність полум'я різко зростає. Якщо таке полум'я помістити між електродами, до яких прикладено постійну напругу, між ними з'явиться іонізаційний струм. Струм іонізації — $(10^{-7} — 10^{-12})$ А посилюється електрометричним підсилювачем постійного струму і реєструється самописним приладом. ПІД є дуже чутливими пристроями і можуть використовуватися для вимірювання надзвичайно низьких концентрацій органічних речовин — $(10^{-9} — 10^{-12})$ г/с [2]. Принципіальну схему включення ПІД подано на рис. 1.

До камери спалювання 1 уводяться газові потоки: повітря, чистий водень, проба газової суміші з вуглеводнями C_nH_m . Водень і проба надходять до камери через пальник 2, на якому впресовано металеве контактне кільце — 3. Над пальником 2 встановлено електрод-колектор 4, до якого через високоомний вимірювальний резистор 5 підведено постійну поляризовальну напругу E_1 . За допомогою кнопки підпалу 9 до електричної спіралі підпалу 6 на короткий час подається напруга E_2 , спіраль нагрівається до температури ~ 200 °С, при цьому відбувається підпал суміші вуглеводневої проби, водню і повітря. Під дією поляризовальної напруги E_1 між електродом-колектором 4 і пальником 2 виникає іонізаційний струм. Сила іонізаційного струму є пропорційною концентрації вуглеводнів у аналізованій газовій пробі. Іонізаційний струм призводить до перепаду напруги на опорі 5, що підсилюється підсилювачем 7 і виводиться на реєструвальний пристрій 8. Покази останнього фіксують концентрацію вуглеводнів.

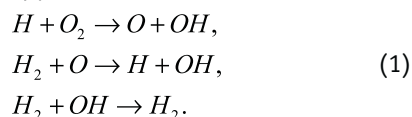
Розробникам полум'яно-іонізаційного методу: Колмановському В.І. у співпраці з Жуковицьким А.А. й Туркельтаубом Н. М., — вдалося довести, що іонізація органічних молекул у полум'ї відбувається за рахунок окислення вуглецю [3]. При цьому відзначено, що у разі дифузійного полум'я, де має місце попередня термічна дисоціація, в його основі утворюється іс-

точно більше іонів, ніж у разі гомогенного. У результаті термічної дисоціації утворюються вуглеводневі радикали CH , які містяться в полум'ї у збудженому стані. Ці радикали надходять потім до найбільш гарячої частини полум'я, де відбувається окислення водню. У цій зоні вуглець окислюється та іонізується. Отже, у зоні полум'я протікають такі основні реакції:

- * реакція горіння,
- * термічна дисоціація (піроліз),
- * хеміонізація,
- * реакція рекомбінації.

Інтенсивність і рівновага цих реакцій залежать від температури полум'я, витрати водню від швидкості дифузії кисню повітря.

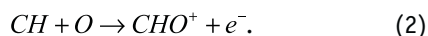
Реакція горіння:



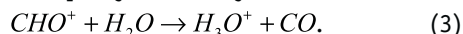
Термічна дисоціація:

Основна реакція — утворення радикалів CH , наприклад $C_6H_6 \rightarrow 6CH$.

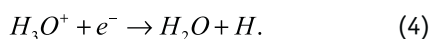
Хеміонізація:



Надалі CHO^+ реагує з молекулами води:



При цьому утворюються іони H_3O^+ , найбільш поширені у полум'ї. Деякі автори вважають, що саме іони гідроксонію обумовлюють електропровідність полум'я. Далі іони H_3O^+ вступають у реакцію рекомбінації:



Запропонований механізм іонізації вуглеводнів пояснює багато експериментальних даних, отриманих для ПІД, у тому числі й пропорційність сигналу детектора числу атомів вуглецю в молекулі вуглеводнів.

Запропоновані й інші механізми утворення іонів у вуглеводневому полум'ї. Не викликає сумнівів лише сам факт взаємозв'язку іонізації у зоні горіння з хімічним процесом перетворення (хеміонізацією). ПІД має найвищу чутливість (порядку $10^{-9} — 10^{-12}$ г/с) і лінійність (порядку $10^7 — 10^8$) відносно до всіх органічних речовин. Чутливість ПІД зазвичай характеризують його іонізаційною ефективністю, яка не залежить від якостей вимірювальної схеми:

$$E = q / 9,65 \cdot 10^4, \quad (5)$$

де E — іонізаційна ефективність;

q — сумарний заряд іонів у кулонах, отриманий за проходження через детектор 1 моля досліджуваної речовини;

$9,65 \cdot 10^4$ К — заряд, який можна отримати за повної іонізації 1 моля речовини.

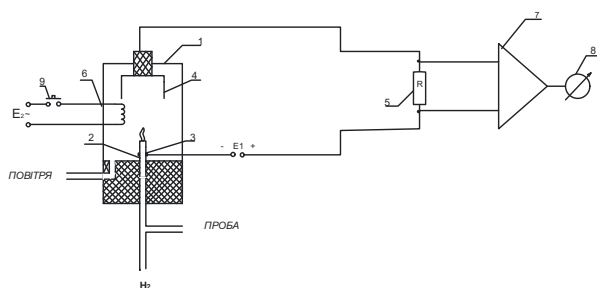


Рис. 1. Схема ПІД

Таблиця 1. Відносна відповідна реакція ПІД до різних вуглеводнів

Аналізовані речовини	На одиницю ваги	На грам-молекулу	Число атомів вуглецю
Метан (CH ₄)	3,4	0,95	1
Етан CH ₃	3,9	2,0	1
Етілен C ₂ H ₄	4,1	2,0	2
Ацетілен C ₂ H ₂	4,9	2,2	2
Пропан C ₃ H ₈	3,9	3,0	3
Пропілен C ₃ H ₆	4,0	2,9	3
Циклопропан C ₃ H ₆	4,3	3,1	3
Бутан C ₄ H ₁₀	4,0	4,0	4
Ізобутан C ₄ H ₁₀	4,0	4,0	4
1-бутан C ₄ H ₁₀	4,1	4,0	4
2-бутан C ₄ H ₁₀	4,0	3,9	4
Ізобутілен	4,0	3,9	4
1,3-бутадієн C ₄ H ₆	4,3	4,0	4
Гексан C ₆ H ₁₄	4,2	6,3	6
Бензол C ₆ H ₆	4,3	5,8	6
Циклогексан C ₆ H ₁₂	4,3	6,3	6
Гептан C ₇ H ₁₆	4,3	7,4	7
Метанол CH ₃ OH	1,49	0,83	1
Тетрахлорметан CCl ₄	0,24	0,64	1
Хлороформ CHCl ₃	0,40	0,85	1
Хлористий вініл C ₂ H ₃ Cl	1,61	1,75	2
Окис вуглецю CO	0	0	1
Двоокис вуглецю CO ₂	0	0	1
Закис азоту NO ₂	0	0	0
Сірковуглець CS ₂	0	0	1

Для ПІД $E = 10^{-5}$. Незважаючи на достатньо низьку початкову іонізаційну ефективність, ПІД має високу чутливість у зв'язку з низьким фоновим струмом порівняно з іншими іонізаційними методами [3].

Особливістю ПІД є те, що він не реагує на інертні гази і ряд неорганічних газів, зокрема, H₂S, SO₂, NO, NO₂, NH₃, CO, CO₂, H₂O, SiCl₄, SiF₄ тощо. Причому чутливість ПІД до органічних сполук не змінюється за присутності перерахованих з'єднань, якщо їхня концентрація не є настільки великою, щоб змінити температуру полум'я.

Вплив електричного поля на розподіл зарядів

Джерелом іонізації ПІД є водневе полум'я, в яке подається проба, що містить органічні речовини. У полум'ї, в результаті теплових і хімічних процесів, відбувається іонізація газів, тобто у фронті полум'я з'являються позитивні та негативні заряди.

Струм іонізації створюється направленим рухом частинок обох знаків. При цьому на швидкий хаотичний рух частинок з тепловими швидкостями накладається швидкість, паралельна напрямку електричного поля. Внесок, що дають до величини струму, позитивні іони, є малим порівняно із внеском електронів, оскільки, через велику масу іони набувають під дією полів порівняно малі направлені швидкості. Постійний струм у полум'ї утворюється, в основному, стаціонарним потоком електронів, у яких сила, що діє з боку електричного поля, врівноважується силою тертя, обумовленою зіткненнями електронів з іонами і нейтральними атомами. Густина струму, обумовлена дрейфом заряджених частинок для іонізаційного струму, дорівнює:

$$j = \delta \cdot E, \quad (6)$$

де E — напруженість електричного поля; δ — провідність іонізованого газу;

$$\delta = \frac{n_e}{n_0} \frac{e^2}{m_e V_e \cdot S_a}, \quad (7)$$

де n_e/n_0 — ступінь іонізації газу (n_e — концентрація електронів, n_0 — концентрація нейтральних частинок); e — заряд електрона; m_e — маса електрона; V_e — теплова швидкість електронів; S_a — ефективний переріз зіткнення електронів з нейтральними частинками.

Отже, провідність іонізованого газу є пропорційною ступеню іонізації газу й обернено пропорційною тепловій швидкості електронів. Ступінь іонізації газу залежить від температури полум'я і хімічного складу газу, а величина струму іонізації — від напруженості електричного поля між електродами [2].

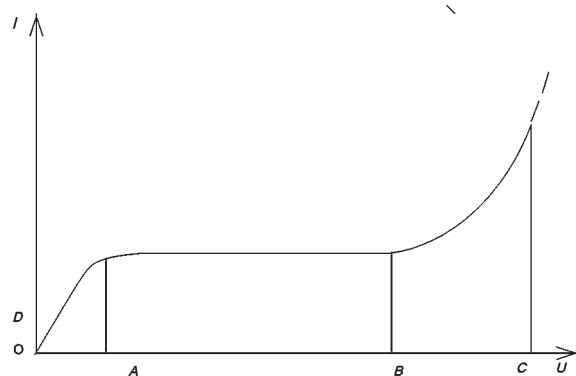


Рис. 2. Вольт-амперна характеристика ПІД:

OA — пропорційна область, до (5—20) В;
AB — область насичення, до (200—300) В;
BC — область ударної іонізації; C — напруга пробою проміжку пальник-колектор ПІД;
D — початковий (фоновий) струм ПІД [2]

Вольт-амперна характеристика ПІД є подібною до характеристики будь-якого іонізаційного приладу (рис. 2).

У ПІД, як правило, використовується область насичення поляризувальної напруги. Напруга насичення залежить від форми і розміщення електродів та кількості речовини, що надходить у полум'я за одиницю часу. Напруга насичення у ПІД коливається у межах від 20 до 300 В. За подальшого підвищення напруги вольт-амперна характеристика знову піднімається. Це пов'язано з тим, що вступає у дію ударна іонізація. При цьому кількість зарядів може збільшуватися за рахунок вибивання електронів із електродів.

ФУНКЦІОНАЛЬНІ СХЕМИ ПОЛУМ'ЯНО-ІОНІЗАЦІЙНИХ ГАЗОАНАЛІЗАТОРІВ

Залежно від концентрації вуглеводнів, умов використання й експлуатації, сумарного вимірювання вуглеводнів чи роздільного одного із компонентів, наявності вбудованих генераторів водню, нульового газу полум'яно-іонізаційні газоаналізатори реалізують різні функціональні схеми побудови.

Одноканальна функціональна схема газоаналізатора суми вуглеводнів

У функціонально-схемному відношенні більшість розроблених полум'яно-іонізаційних газоаналізаторів для вимірювання суми вуглеводнів будується за класичною одноканальною функціональною схемою (рис. 3) [5, 6].

Газоаналізатор є камерою спалювання 1, в якій встановлено пальник 2, електрод-колектор 3, спіраль запалу 4. Усередині корпусу іонізаційної камери може бути розміщена також термopара як індикатор горіння полум'я. На пальник 2 (ізолюваний від корпусу камери спалювання) подається постійна напруга поляризації (100—300) В від джерела живлення E_1 , що створює електричне поле між корпусом пальника і електродом-колектором, до електричної спіралі підпалу 4 на короткий час подається напруга

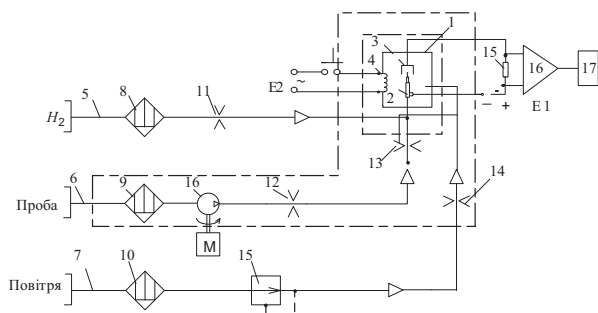


Рис. 3. Одноканальна функціональна схема газоаналізатора суми вуглеводнів

га E_2 . У пальник 2 подається суміш водню з аналізованим газом, а в камеру спалювання — повітря для підтримання горіння полум'я. На газових каналах водню 5, проби 6, повітря 7, для відповідних очищення, подавання, регулювання тиску і витрат, встановлено фільтри-очишувачі 8—10, дроселі 11—14, регулятор тиску 15, компресор (збуджувач витрат) проби 16. З метою попередження випадіння в конденсат частини вуглеводнів, газовий тракт каналу проби перебуває у режимі підігрівання за допомогою електричної схеми підігрівання, терморегуляції. На схемі цю частину, що обігріває прилад, обведено штрих-пунктирною лінією. Іонізаційний струм, за спалювання вуглеводнів у камері 1 в полум'ї водню, зумовлює перепад напруги на опорі 16, підсилюється підсилювачем 16 і виводиться на реєструвальний прилад (цифрове табло, самописець, аналогову шкалу) 17.

Одним із важливих чинників чутливості ПІД є конструкція електрода-колектора 3. Залежно від діапазону концентрацій, швидкості існують різноманітні конструкції електрода-колектора у виді циліндричного стакана, паралельних пластин, кільця над полум'ям. У [7] детально розглянуто конструкцію електрода-колектора у виді сопла Вентурі, що забезпечує ламінарну течію газових потоків, попереджує забруднення електрода-колектора, виключає вплив коливань зовнішнього середовища, підвищує чутливість ПІД. Детальну схему газоаналізатора за одноканальною схемою із застосуванням вбудованого акумулятора водню проаналізовано у [6].

Функціональна схема газоаналізатора суми вуглеводнів з автоматичним регулюванням тиску проби

Однією з актуальних проблем функціонування полум'яно-іонізаційних газоаналізаторів є необхідність стабілізації тиску і витрат газової проби, що надходить у газоаналізатор. Коливання тиску проби призводить до вибуху процесу іонізації, затухання полум'я, зміни вихідного сигналу. На рис. 4 наведено схему з автоматичного регулювання тиску проби [8].

Для регулювання тиску проби у газопроводі 13 подається більша кількість проби ніж потрібно для роботи ПІД. Кількість проби регулюється дроселями 6 і 7. Надлишки проби скидаються за газопроводом 21 через дросель 9. Стабілізація тиску проби на вході дроселя 7 виконується потоком стиснутого повітря, яке через фільтр 2 і регулятор тиску 11 надходить від газопроводу стиснутого повітря 14. Коливання тиску проби на вході

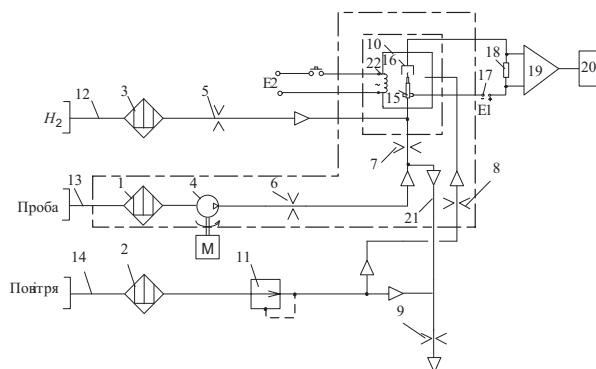


Рис. 4. Функціональна схема газоаналізатора суми вуглеводнів з автоматичним регулюванням тиску проби

дроселя 7 і відповідно на газопроводі 21 зумовлюють зміни тиску в газопроводі 14. Регулятор тиску 11 відпрацьовує, створюючи підпір або розрідження на точці змішування потоку проби і повітря, поки не стабілізується тиск на вході дроселя 7 і газопроводі 14. Отже повітря використовується не лише для процесу горіння, а застосовується для регулювання високотемпературної агресивної проби. Відпадає необхідність установлення регулятора тиску на газопроводі проби 13.

Функціональна схема газоаналізатора з калібрувальним пристроєм

Важливим для умов експлуатації газоаналізатора є можливість періодичної перевірки градуовальної характеристики приладу за допомогою повірочних газових сумішей (ПГС). При цьому важливо не відключати газоаналізатор від технологічного процесу, за якого він аналізується.

Наведемо схему газоаналізатора з калібрувальним пристроєм (рис. 5), що дозволяє проводити калібрування газоаналізатора без відключення від технологічного процесу [9].

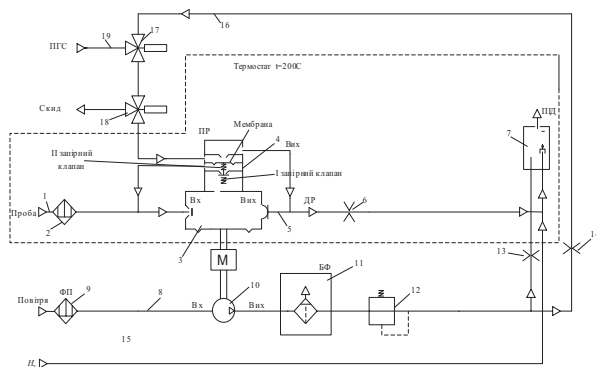


Рис. 5. Функціональна схема газоаналізатора з калібрувальним пристроєм

Схема забезпечує два основних режими роботи полум'яно-іонізаційного газоаналізатора:

- режим вимірювання концентрації вуглеводнів у аналізованій пробі;
- режим калібрування газоаналізатора повірочними газовими сумішами.

За допомогою спеціальної камери 3, що обігривається (штрих-пунктирна-лінія), та розподільника газових потоків 4 через систему електроклапанів 17, 18 забезпечується автоматичне подавання ПГС для калібрування нуля і кінця шкали газоаналізатора без виключення приладу від газопроводу проби. Запропонована схема підвищує надійність газоаналізатора, поліпшує експлуатаційні характеристики роботи газоаналізатора в стаціонарних цілодобових режимах.

ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ДВОКАНАЛЬНОГО ПОЛУМ'ЯНО-ІОНІЗАЦІЙНОГО ГАЗОАНАЛІЗАТОРА ВИМІРЮВАННЯ $\Sigma C_N H_M$, CH_4 , $\Sigma C_N H_M - CH_4$

Серед вуглеводневих газів метан CH_4 є одним із газів, що входить до складу атмосфери.

В атмосфері із присутніх вуглеводнів 60 — 90 % припадає на метан, біологічного походження і фотохімічно інертного. Усі інші вуглеводні вступають у реакцію з оксидами азоту й озonom і спричиняють фотохімічний смог. Останнім часом розроблено полум'яно-іонізаційні газоаналізатори, призначені для вимірювання суми вуглеводнів за вирахуванням метану і тим самим для визначення концентрації ненасичених вуглеводнів [2]. На рис. 6 представлено структурну схему приладу вимірювання вмісту суми вуглеводнів за вирахуванням метану.

Проба газу з вуглеводнями розподіляється на дві частини. На ПІД 1 надходить газова проба з вуглеводнями. На виході ПІД 1 формується сигнал, пропорційний концентрації сумарних вуглеводнів $\Sigma C_N H_M$. Друга частина потоку проби проходить через поглинач 2, де поглинаються сумарні вуглеводні, а метан надходить на ПІД 3. На виході ПІД 3 утворюється сигнал, пропорційний концентрації метану CH_4 . У цій схемі важливим елементом є поглинач 2. Основним завданням поглинача 2 є пропустити

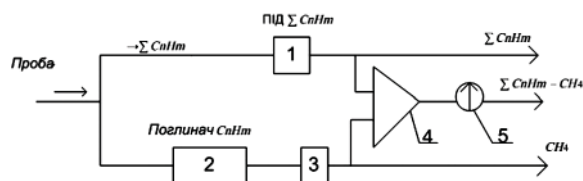


Рис. 6. Схема приладу вимірювання вмісту реактивних вуглеводнів за вирахуванням метану

метан без змін та поглинути сумарні вуглеводні. Для цих цілей використовують два види поглиначів. Перший — це адсорбери на активованому вугіллі, де відбувається поглинання суми вуглеводнів. Другий — це поглинач 2, що є камерою, в якій за температури (450—500) °С на паладієвому катализаторі відбувається спалювання суми вуглеводнів. Температура окислення метану є вищою, тому спалювання метану не відбувається, і він надходить на вихід поглинача 2. Вихідні сигнали ПІД детекторів 1 і 3 надходять на диференційний підсилювач 4, вихідний сигнал якого є різницею загальної суми вуглеводнів з метаном та метану окремо. На вихідному приладі 5 реєструється різниця між двома вхідними сигналами, які є мірою вмісту суми вуглеводнів за вирахуванням метану.

Особливістю схеми є одночасна робота двох ПІД, включених у такий спосіб, що один реєструє суму вуглеводнів, включаючи метан, другий — лише метан. На підсилювач надходить сигнал, що відповідає значенню суми вуглеводнів за вирахуванням метану. Функціональну схему газоаналізатора, побудованого за структурною схемою (рис. 6), подано на рис. 7.

Наведена схема є класичною у разі вимірювання сумарних вуглеводнів за вирахуванням метану. У ній застосовано два детектори ПІД 1 і ПІД 2. З першого знімається сигнал, пропорційний концентрації суми вуглеводнів, а з другого — сигнал, пропорцій-

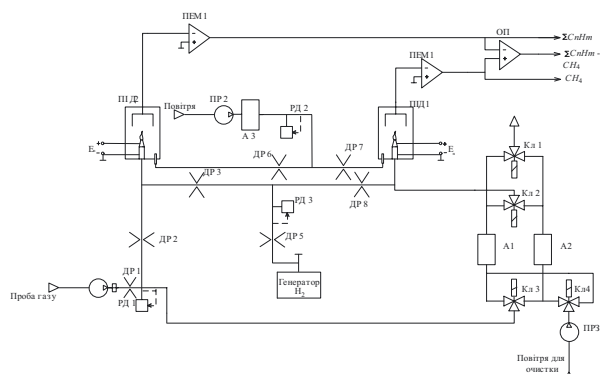


Рис. 7. Функціональна схема газоаналізатора вуглеводнів за вирахуванням метану

ний концентрації метану. Повітря для горіння надходить від збуджувача витрат ПР 2, проходить через очищувач повітря А 3, регулятор тиску РД 2, дроселі ДР 6 і ДР 7. Схема передбачає можливість подавання газової проби вуглеводнів одразу в обидва детектори або лише в один. Перед входом у детектори встановлюються відкалібровані дроселі-капіляри, які відіграють роль обмежувачів потоку.

У поглиначих А1 та А2 відбувається поглинання сумарних вуглеводнів із газової проби, на виході поглиначів залишається метан CH_4 . Поглиначі А1 і А2 працюють за чергою, в міру насичення і напруження ресурсу. Чисте повітря від компресора ПР 3 через електроклапани КЛ 3 і КЛ 4 продуває

Табл. 2. Аналізатори для вимірювання сумарної концентрації вуглеводнів

№	Тип	Вимірювальний компонент	Діапазон, ppm	Структурна схема
1	Мод.3000 (Environment, Франція)	$\Sigma C_n H_m$	0—0,4; 0—1; 0—4; 0—10; 0—40; 0—100; 0—400; 0—1000	Одноканальна схема сумарного вимірювання вуглеводнів
2	Мод.584 (Seres, Франція)	$\Sigma C_n H_m - CH_4$	0—100; 0—10000	Двоканальна схема за вирахуванням метану
3	Gl-103 (Riken Keiri, Японія)	$\Sigma C_n H_m$	0—100 0—1000 0—10000	Одноканальна схема сумарного вимірювання вуглеводнів
4	Model 200-1	$\Sigma C_n H_m$	0—100 000	
5	ARNA-370 Ambient THC monitor	$\Sigma C_n H_m$	1—100000	
6	ГАММА-М, (Московське ОКБА)	CH, HCH, CH_4	0—5 мг/м ³ , 0—10 мг/м ³ 0—20 мг/м ³ , 0—50 мг/м ³ 0—100 мг/м ³	Двоканальна схема
7	623 ИИ-02 (ВО «Севкавэлектронприбор»)	$\Sigma C_n H_m - CH_4$	0—5 0—15 0—50	Двоканальна схема
8	623 КПИ-03 (КНВО «Аналітприлад») Україна	$\Sigma C_n H_m - CH_4$	0—5—15—50	Одноканальна схема сумарного вимірювання вуглеводнів з акумулятором водню

і очищує поглиначі А1 і А2. На ПІД 1 газ подається через дроселі Др 1 та Др 2. Від генератора водню водень через дроселі ДР 3 і ДР 8 надходить до ПІД 1 і ПІД 2. У схемі важливим елементом є функція поглиначів А1 і А2. Основне завдання поглиначів — пропустити метан без змін та поглинути сумарні вуглеводні. Для цих цілей використовують два види поглиначів. Перший — це адсорбери на активованому вугіллі, де відбувається поглинання суми вуглеводнів. Другий — це поглинач, що є камерою, в якій за температури (450—500) °С на паладієвому катализаторі відбувається спалювання суми вуглеводнів. Температура окислення метану є вищою, тому його спалювання не відбувається, і він надходить на вихід поглинача без змін. На виході ПІД 1 фіксується сигнал, пропорційний концентрації метану, на виході ПІД 2 — сигнал, пропорційний сумі вуглеводнів. Ці сигнали підсилюються підсилювачами ПЕМ 1 і ПЕМ 2 і надходять на диференціальний підсилювач ОП, вихідний сигнал якого є мірою вмісту суми вуглеводнів за вирахуванням метану. Особливістю схеми є одночасна робота двох ПІД, включених у такий спосіб, що один ПІД реєструє суму вуглеводнів, включаючи метан, другий — ли-

ше метан. На підсилювач надходить сигнал, що відповідає значенню суми вуглеводнів за вирахуванням метану.


СЕРІЙНІ ПРОМИСЛОВІ ПОЛУМ'ЯНО-ІОНІЗАЦІЙНІ ГАЗОАНАЛІЗАТОРИ

На основі розглянутих схем випускаються промислові зразки полум'яно-іонізаційних газоаналізаторів. У табл. 2 наведено типи промислових газоаналізаторів та їхні технічні характеристики.

ВИСНОВКИ

Полум'яно-іонізаційний метод вимірювання концентрації вуглеводнів інтенсивно розвивається й удосконалюється. Застосування різноманітних структурно-схемних рішень, варіанти конструктивного виконання елементів конструкції ПІД дозволяють змінювати технічні, метрологічні характеристики газоаналізаторів у широкому діапазоні. За рахунок цього відкриваються можливості як високоточного вимірювання значних концентрацій вуглеводнів у викидах транспортних засобів, де концентрації досягають до 1 %, так і контролю фонових концентрацій вуглеводнів у атмосфері міст на рівні 0,001 %.

ЛІТЕРАТУРА

1. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработавших газов дизелей. — М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2002. — 376 с.
2. Анваера Б.И. Руководство по газовой хроматографии / В.П. Шварцман, А.Ф. Шляхова. — Изд-во «Мир», 1969. — 129 с.
3. Барыкина В.А., Ларченко В.И., Медяновский Ю.Н., Франко Р.Т. Современные приборы контроля атмосферных загрязнений углеводородами. — М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1977. — 60 с.
4. Вартанов А.З., Рубан А.Д., Шкурятник В.Л. Методы и приборы контроля окружающей среды и экологического мониторинга / Под ред. А.Д.Рубана: Учебник для вузов. — М.: Изд-во «Горная книга», 2009. — 640 с.
5. Приміський В.П., Румбешта В.О. Патент України № 49063, Полум'яно-іонізаційний газоаналізатор для поста екологічного контролю автомобілів. Опубл. 2002, Бюл. № 9.
6. Рыжков В. Ф. Портативный пламенно-ионизационный газоанализатор // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — Одесса, 2004. — С. 27—29.
7. Приміський В. Ф. Патент России № 2146048. Пламенно-ионизационный газоанализатор. Опубл. 2000, Бюл. № 4.
8. Міхальчевський В.Г., Приміський В.П., Ровенський А.Я., Цуканова Л.А. Патент України № 27681. Полум'яно-іонізаційний газоаналізатор. Опубл. 2000, Бюл. № 4.
9. Міхальчевський В.Г., Приміський В.П., Цуканова Л.А. та інші. Патент України № 27682 Пристрій для калібрування полум'яно-іонізаційного газоаналізатора. Опубл. 2000, Бюл. №4. 

УДК 528.563:550.831



АБСОЛЮТНІ БАЛІСТИЧНІ ЛАЗЕРНІ ГРАВІМЕТРИ

ІЗ СИМЕТРИЧНИМ СПОСОБОМ ВИМІРЮВАННЯ ПРИСКОРЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ

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

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

Представлено аналіз механічних схем пускових пристроїв абсолютних балістичних гравіметрів із симетричним способом вимірювання. Показано перспективність схеми такого пристрою за рахунок застосування електромеханічного імпульсного лінійного перетворювача для зазначеного способу.

This research presents an analysis of the mechanical circuit triggers absolute ballistic laser gravimeter with a symmetric way of measuring. The study shows promising scheme starter absolute ballistic gravimeter through the use of electromechanical linear pulse transformer for balanced measurement method.

Сучасні абсолютні лазерні гравіметри (АЛГ) вимірюють абсолютне значення прискорення вільного падіння (ПВП) балістичним методом з відносною похибкою порядку 10^{-9} g із застосуванням лазерного інтерферометра переміщення. Це підтверджують регулярні Міжнародні звірення абсолютних гравіметрів (ICAG), починаючи з 1980 року, що проводяться раз на чотири роки під егідою Міжнародного Бюро з мір і вагів (BIPM, Севр, Франція). Міжнародні звірення ICAG для абсолютних гравіметрів підтримують статус ключових звірень (*Key Comparisons*), які є потенційно важливими для експериментів на ватт-вагах. Такі експерименти проводяться сьогодні у декількох міжнародних метрологічних інститутах для реалізації пропонованого нового визначення одиниці маси — кілограма, питання стосовно перевизначення якого наразі інтенсивно обговорюється [1, 2]. Слід зазначити, що у восьми звіршеннях ICAG-2009 уперше брав участь гравіметр на холодних атомах (атомний гравіметр), оптичну схему котрого побудовано на атомному інтерферометрі й яка принципово відрізняється від інтерферометра з макроскопічним пробним тілом (ПТ) [3].

Макроскопічне ПТ абсолютного балістичного гравіметра (АБГ) у вільному полі — можна віднести до категорії чутливих елементів гравітаційного поля з відносною похибкою вимірювання ПВП g порядку 10^{-9} або з абсолютною похибкою у кілька одиниць мікрогал ($1 \text{ мкГал} = 10^{-8} \text{ м/с}^2$).



В. Болюх



О. Вінніченко

У першому наближенні рівняння руху ПТ, що вільно падає уздовж вертикальної осі Z , можна записати у виді лінійного диференціального рівняння [4]:

$$Z = g_0 + \gamma Z, \quad (1)$$

де g_0 — значення ПВП g у точці $Z = 0$; γ — вертикальний градієнт гравітаційного поля на вимірювальному інтервалі (нормальне значення $\gamma = 308,6$ мкГал/м); Z — координата вимірювання у напрямку вертикалі вільного переміщення ПТ.

Отже, величинами вимірювань ПВП в експериментах, що проводяться балістичними гравіметрами з різними кінематичними схемами й способами вимірювання ПВП, є шлях $Z(t)$ і час t вільного руху ПТ, який реалізується пусковим пристроєм оптико-механічного модуля АБГ, а кінцевою метою експерименту — визначення g_0 .

Відомо два способи вимірювання абсолютного значення ПВП балістичними гравіметрами: несиметричний (несиметрична траєкторія руху), коли ПТ у виді оптичного куточкового відбивача у спеціальному титановому корпусі під дією сили тяжіння Землі вільно падає вниз, і симетричний (симетрична траєкторія руху), коли підкинуте вертикально вгору ПТ вільно рухається й, досягнувши вершини траєкторії, вільно падає [5].

Симетричний спосіб вимірювання величини ПВП балістичними гравіметрами порівняно із несиметричним має ряд переваг, які дозволяють компенсувати або значно знизити вплив певних джерел похибок, таких як наявність залишкового газу у вакуумній камері, магнітне поле, електростатичні ефекти тощо [6].

Однак у сьомих і восьмих звіреннях ICAG-2005 й ICAG-2009 відповідно брали участь лише два гравіметри із симетричною траєкторією руху ПТ: ТБГ (ННЦ «Інститут метрології», Україна) і IMG-02 (INrIM, Італія).

Остання обставина викликає певну занепокоєність у метрологічному співтоваристві за розвиток бази абсолютних гравіметрів із симетричним способом вимірювання ПВП, оскільки систематичну (інструментальну) похибку приладів можна виявити з більш високою точністю, коли проводяться звірення їх за різних способів (симетричного і несиметричного) вимірювання.

Тому останнім часом у публікаціях, що належать до абсолютної балістичної гравіметрії, описанню модуля оптико-механічного балістичного гравіметра з пусковим пристроєм, що реалізує вільний політ ПТ у вакуумі, приділяється пильна увага, особливо для симетричного способу вимірювання ПВП [7, 8].

Метою цієї роботи є проведення аналізу особливостей конструкцій модулів оптико-механічних абсолютних балістичних лазерних гравіметрів (БЛГ) із симетричним способом вимірювання ПВП і пропонування БЛГ з індукційно-динамічною катапультою (ІДК).

АБСОЛЮТНИЙ ГРАВИМЕТР ТБГ

На принциповій схемі (рис. 1, а, б) зображено симетричний спосіб вимірювання ПВП балістичним гравіметром типу ТБГ, який також застосовується у Державному первинному еталоні прискорення вільного падіння ДЕТУ 02-02-96.

Особливість симетричного способу вимірювання g полягає в тому, що стартова позиція у пусковому пристрої (штовхачі) ПТ з оптичним відбивачем міститься внизу, а інтерферометр лазерний (ІЛ) — уверху. Тут (рис. 1, а, б) у вихідному положенні ПТ 5 вільно лежить на каретці 7 штовхача 8, який є симетричним шестизвенним важільним механізмом (пантографом) із закріпленою центральною віссю 13, що переміщується на кулькопідшипниках за трьома напрямними. Якір 12 електромагніта 10 також переміщується на кулькопідшипниках. Увесь механізм штовхача міститься у ва-

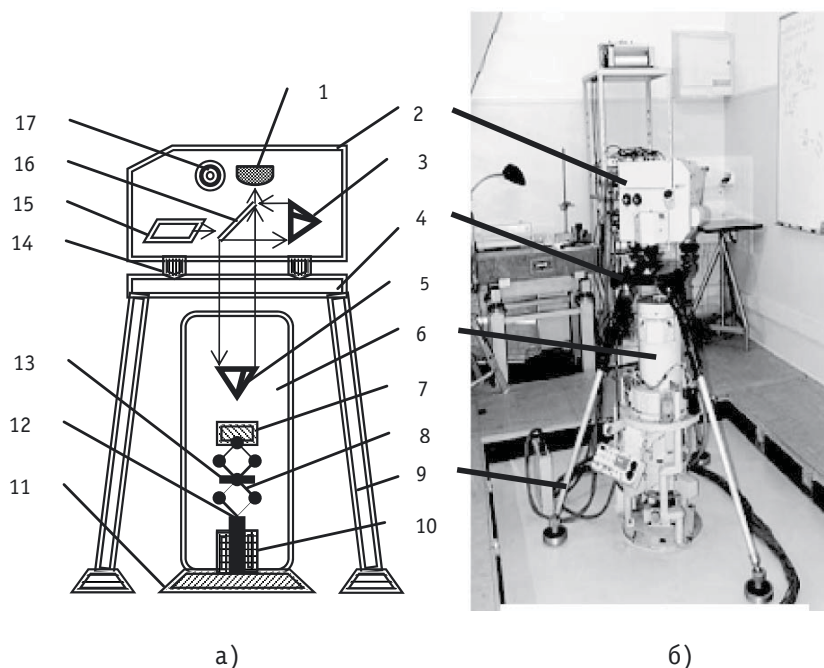


Рис. 1. Схема принципова (а) й фото (б) абсолютного гравіметра ТБГ

куумній камері (тиск залишкового газу становить близько $1 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.) блока динамічного (БД) 6, яка має захисне кварцове вікно, призначене для взаємодії у польоті ПТ 5 з випромінюванням лазера 15 через повітряний зазор. Не-Не лазер 15 (довжина хвилі випромінювання $\lambda \approx 633$ нм, червоне випромінювання) розміщено у герметизованому блоці оптичному (БО) 2 на трьох юстирувальних гвинтах 14 інтерферометра Майкельсона 16, який встановлено на спеціальній регульованій тринозі 9 з площинкою 4. Інтерференційні кільця, утворені у результаті інтерференції двох лазерних променів, відбитих від рухомого ПТ 5 і нерухомого референтного тіла 3, зв'язуються фотодетектором 1, а переміщення ПТ можна спостерігати за відбитою світловою плямою на матовому екрані 17. БД з механізмом штовхача ПТ розіщено на основі 11. Як еталон часу використовується *Rb* рубідієвий стандарт частоти типу СЧВ-74.

За Міжнародними звіреннями ICAG-2005 (Севр, Франція) для абсолютного гравіметра ТВГ розширена невизначеність вимірювань ПВП (коефіцієнт охоплення $k = 2,00$) оцінюється як $U = (29,0 - 40,0) \cdot 10^{-8}$ м/с², невизначеність за типом А — $u_A = (7,0 - 15,0) \cdot 10^{-8}$ м/с², невизначеність за типом В — $u_B = 10,0 \cdot 10^{-8}$ м/с² [9].

АБСОЛЮТНИЙ ГРАВІМЕТР IMGC-02 [10]

У абсолютному гравіметрі IMGC-02 (розроблення INrIM, Італія) ПВП g вимірюється шляхом відстеження симетричної траєкторії вільного руху ПТ під час зльоту й падіння у вакуумі після підкидання його вверх стартовою площинкою інтерферометричним методом. Вимірювальна сесія складається з майже 2000 запусків.

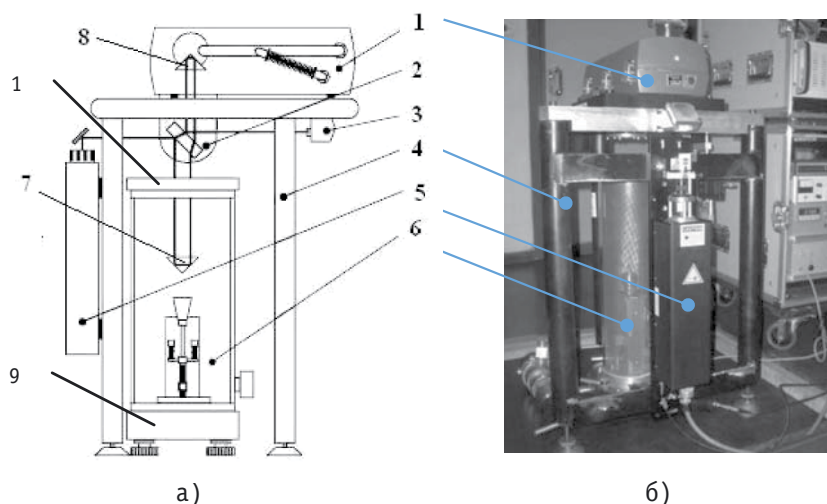


Рис. 2. Схема принципова (а) й фото (б) абсолютного гравіметра IMGC-02

Принципову схему й фото АБГ IMGC-02 показано на рис. 2, а, б.

Основними частинами приладу IMGC-02 є модифікований інтерферометр Маха — Цендера 2 і з більшим періодом (близько 20 с) сейсмометр 1, який підтримує референтний куточковий відбивач 8. Довжина хвилі Не-Не лазера 5, стабілізованого за йодом, використовується як еталон довжини ($\lambda \approx 633$ нм, червоне випромінювання), а як еталон часу — *Rb* рубідієвий стандарт частоти. Рухоме ПТ 7 у вакуумній камері 6 (тиск залишкового газу становить близько $1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст.), під дією стартової площинки, здійснює вільний рух за симетричною траєкторією. Інтерференційні полоси, що виходять із інтерферометра 2, виявляються фотодетектором 3. Усі основні частини гравіметра закріплено на рамі 4. Вакуумну камеру 6 виконано з фланцевої скляної труби, нижню частину якої встановлено на основу 9 з нержавіючої сталі, а верхня частина герметизується алюмінієвою кришкою 10. Стекла, які дозволяють взаємодіяти лазерному променю з ПТ, розташовані у центрі цієї кришки. Усі з'єднання герметизовано ущільнювальними кільцями. Всередині скляної труби встановлено клітку Фарадея для захисту пробної маси від електростатичних зарядів.

За Міжнародними звіреннями ICAG-2009 (Севр, Франція) для абсолютного гравіметра IMGC-02 розширена невизначеність вимірювань з довірчою ймовірністю 95 % (коефіцієнт охоплення $k = 2,10$ і 19 степенів свободи) оцінюється як $U = 8,0 \cdot 10^{-8}$ м/с² (за звіреннями ICAG-2005 — $U = 8,6 \cdot 10^{-8}$ м/с², невизначеність за типом А — $u_A = (1,1 - 1,3) \cdot 10^{-8}$ м/с², за типом В — $u_B = 3,8 \cdot 10^{-8}$ м/с² [9]).

МЕХАНІЧНІ ЧАСТИНИ ПУСКОВИХ ПРИСТРОЇВ

Аналізування досвіду експлуатації балістичних гравіметрів показує, що пускові пристрої переміщення ПТ належать до пристроїв, що поліпшують динамічні характеристики БЛГ, і отже, його метрологічні характеристики. Комплекс різноманітних причин, що викликають необхідність застосування різних конструкцій механізму керування кареткою пускового пристрою АБГ, що несе ПТ, обумовлений конструктивними особливостями реалізації симетричного або несиметричного способу вимірювання ПВП,

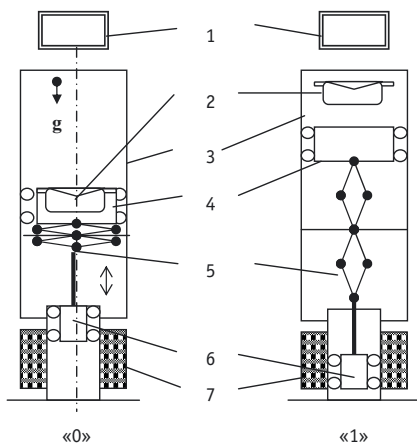


Рис. 3. Схема кінематична ТБГ:

1 — інтерферометр лазерний; 2 — ПТ;
3 — вакуумна камера; 4 — каретка штовхача
з напрямними; 5 — пантограф; 6 — якорь;
7 — котушка

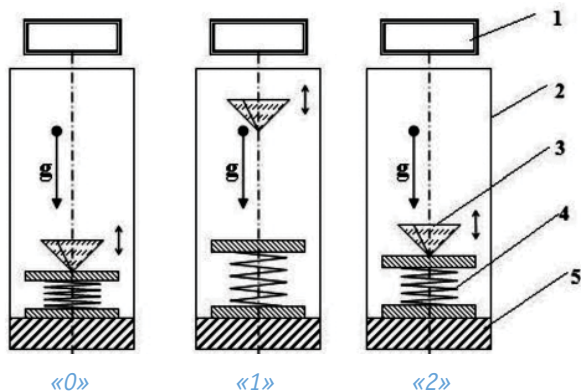


Рис. 4. Схема кінематична IMGC-02

за застосування різних кінематичних схем виконання цього процесу.

Однак недоліком конструкції такого штовхача (рис. 3) абсолютного гравіметра ТБГ або стартової площадки (рис. 4) абсолютного гравіметра IMGC-02 для розгону ПТ є віддача, яка через механічний зв'язок впливає на відлікову систему гравіметра і призводить до неврахованих систематичних (інструментальних) похибок результату вимірювань ПВП.

Так, запропоновану у винаході [11] конструкцію катапульты ТБГ, креслення кінематичної схеми пристрою катапульты з пантографом якої показано на рис. 3, спрямовано на підвищення точності вимірювання ПВП g балістичним гравіметром для симетричного способу вимірювань. Досягається воно тим, що пристрій містить ПТ 2 з оптичним куточковим відбивачем, яке взаємодіє з інтерферометром лазерним 1, ВК 3, каретку штовхача з напрямними 4, пантограф 5, соленоїдний електромагніт-

ний привід, що складається з якоря 6 і котушки 7. Принцип дії катапульты засновано на особливостях тягової характеристики соленоїдного електромагніта, який створює умови режиму «1» ПТ, за якого він відривається від каретки 4. У момент приймання ПТ по каретці відбувається удар, і за рахунок кінетичної енергії пантограф складається (рис. 3, режим «0»), катапульта займає вихідне положення «0» для повторного запуску.

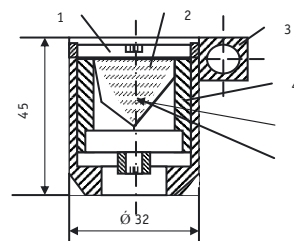
Отже, для БГ з такою конструкцією пускового пристрою особливе значення мають вібрації, обумовлені ударом ПТ по каретці й пружною реакцією катапульты, які є нестационарним випадковим процесом і викликають появу детермінованої, але змінюваної основи у похибці вимірювань g .

Для простежування траєкторії польоту й обчислення оптичного ходу ПТ у вакуумній камері (усередині камери тиск залишкового газу є близьким до 10^{-2} мм рт. ст.) використовується інтерферометричний метод. З цією метою конструкція ПТ (рис. 5, а, б) містить оптичний куточковий відбивач (призму) 2, яку закріплено в титановому корпусі 3, і за допомогою кріпильних деталей гайки 1, втулки 4 оптичний відбивач може переміщуватися уздовж оптичної осі для суміщення оптичного центра (ОЦ) 5 з центром маси (ЦМ) 6. Це дозволяє знизити вплив повороту (нахилу) куточкового відбивача — систематичної (інструментальної) складової похибки вимірювання g . Штовхач такої конструкції може підкидати ПТ з оптичним відбивачем уверх на висоту від 15 до 18 см, з можливим поворотом (нахилом), обертанням ПТ, «віддачею» на фундамент, і вносити до бюджету невизначеності гравіметра складову, близьку до 5 мкГал.

В абсолютному гравіметрі IMGC-02 (рис. 4) стартову площадку жорстко закріплено до основи 5 вакуумної камери 2, з тиском усередині камери залишкового газу, близьким до $1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. [12].



а)



б)

Рис. 5. ПТ абсолютного гравіметра ТБГ:

а) фото ПТ; б) конструкція ПТ; 1 — гайка;
2 — куточкова оптична призма; 3 — корпус;
4 — втулка; 5 — ОЦ; 6 — ЦМ

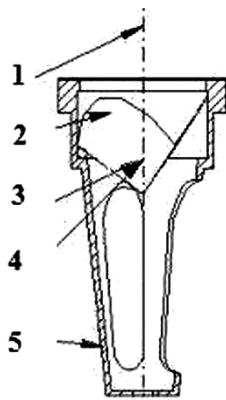


Рис. 6. ПТ гравіметра IMGС-02 [13]:

- 1 — оптична вісь;
2 — куточкова оптична призма;
3 — центр маси; 4 — оптичний центр;
5 — корпус

Стартова площадка утримує ПТ 3 (режим «0»), підкидає його вгору (режим «1»), а потім вловлює (режим «2») у кінці траєкторії вільного польоту ПТ. Траєкторія вільного польоту ПТ 3 відслідковується за допомогою модифікованого оптичного інтерферометра лазерного Маха — Цендера 1.

В основу конструкції стартової площадки закладено пружинний механізм 4. Енергія, необхідна для підкидання ПТ, забезпечується попередньо стислою пружиною й уловлюється пружинним уловлювачем. У стартове положення каретка з ПТ переміщується вниз за допомогою гвинтової передачі від привода електродвигуна, у момент якого відбувається стиск пускової пружини. У стартовому положенні «0» ПТ лежить у вловлювачі, закріпленому на рухомій каретці за підтримки двох пружин. Пуск ПТ спрацьовує шляхом відключення електричного струму збудження від електромагніта, що утримує каретку з ПТ, з наступним відривом ПТ від каретки й подальшим вільним польотом за симетричною траєкторією. Стартові площадки розроблено у такий спосіб, що від пуску до пуску початкова позиція її залишається незмінною.

Конструкція ПТ гравіметра IMGС-02 (рис. 6), з вагою 40 г і висотою 65 мм, складається з куточкової оптичної призми (відбивача) 2, закріпленої у спеціальному алюмінієвому корпусі 5. Побудова останнього дозволяє переміщувати уздовж оптичної осі 1 куточковий оптичний відбивач 2 для суміщення його оптичного центра (ОЦ) 4 з центром маси (ЦМ) 3. У такий спосіб знижується похибка вимірювання g , обумовлена впливом нахилу (обертання) куточкового відбивача за інтерферометричним методом визначення оптичної довжи-

ни шляху, пройденого ПТ у вакуумній камері гравіметра.

Така пружинна катапульта підкидає ПТ з куточковим оптичним відбивачем уверх на висоту до 20 см, надаючи додаткового обертального і горизонтального руху відбивачу, який є основним джерелом похибки IMGС-02, і цей внесок до бюджету невизначеності може становити (з урахуванням прискорення Коріоліса) близько 4 мкГал [14].

АБСОЛЮТНИЙ БЛГ З ІНДУКЦІЙНО-ДИНАМІЧНОЮ КАТАПУЛЬТОЮ (ПРОЕКТ)

Представлено проектну модель абсолютного БЛГ з індукційно-динамічною катапультою (ІДК) (рис. 7). У такому гравіметрі здійснюється пряме перетворення електричної енергії імпульсного джерела в лінійне механічне переміщення ПТ, траєкторія вільного руху якого задається блоком управління (БУ) 7.

БЛГ містить нерухомий індуктор 5, електропровідний якір 4, виконаний у виді плоского мідного диска, який разом з ПТ переміщується у вакуумній камері 3 уздовж вертикальної осі z . На початку робочого циклу якір устальовується на індукторі, тобто відстань між ними $Z_0 = 0$, і при цьому здійснюється збудження індуктора для створення підкидального імпульсу. ІДК і вакуумну камеру жорстко закріплено на основі 6 з нержавіючої сталі. У процесі гальмування якоря з ПТ 2, який падає вниз зі швидкістю V_0 , збудження індуктора здійснюється у момент, коли $Z_0 > 0$. Вимірювання пройденого шляху ПТ

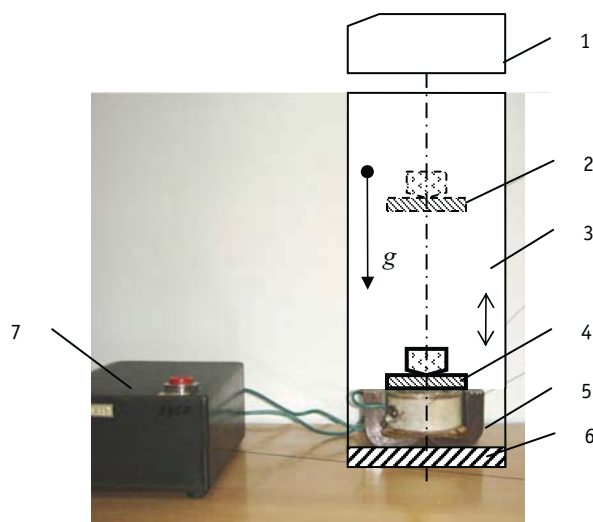


Рис. 7. Абсолютний гравіметр БЛГ з ІДК:

- 1 — інтерферометр лазерний; 2 — ПТ з якорем у польоті; 3 — вакуумна камера;
4 — ПТ з якорем; 5 — ІДК; 6 — основа; 7 — БУ

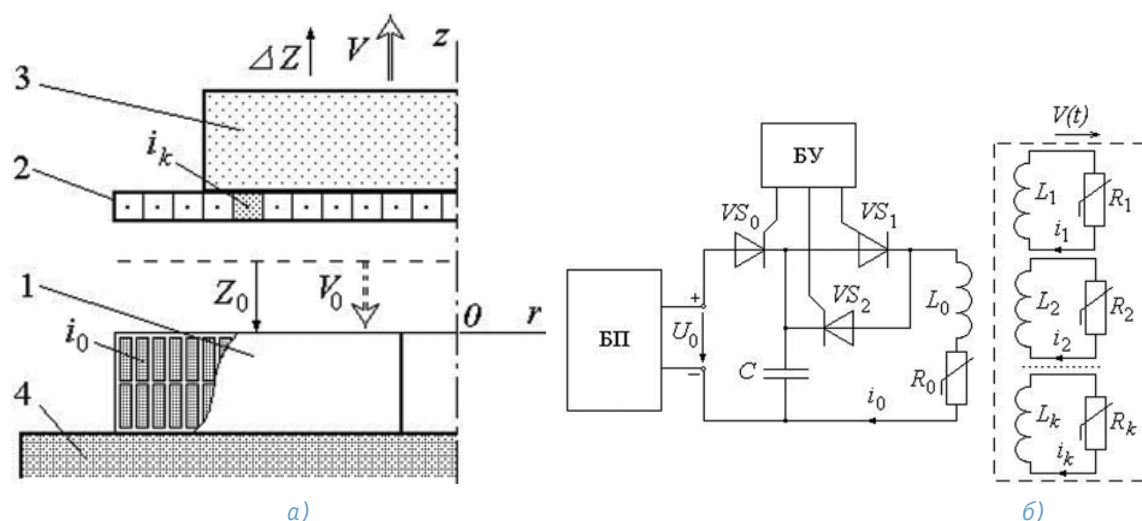


Рис. 8. Конструктивна (а) й електрична (б) схеми ІДК: 1 — індуктор; 2 — якор; 3 — ПТ; 4 — основа

Табл. 1. Загальна характеристика механізмів пускачів ПТ

Тип гравіметра	Механізм	Вид енергії, що приводить у рух ПТ	Джерело похибки	Примітка
ТБГ	Шестизвенний важільний механізм (пантограф)	Кінетична енергія пантографа	Нахил (поворот) ПТ, «віддача» пантографа, зношування й тертя в елементах пантографа	Кількість деталей, що брали участь у русі (табл. 2)
IMGC-02	Механізм пружинний	Енергія стиску пружини	Нахил (поворот) ПТ, «віддача» пускового пристрою	Зміна властивостей пружин за часом
БЛГ з ІДК (проект)	Індукційно-динамічна катапульта	Електродинамічна сила за розряду ємнісного накопичувача енергії	Відсутність нахилу (повороту) ПТ, «віддача» мінімальна, електродинамічне центрування, відсутність елементів, що труться й зношуються	Можливість керування параметрами підкидання й гальмування ПТ. Мінімальна аксіальна висота механізму

Табл. 2. Деталі штовхача ТБГ

Поз.	Назва деталі	Кількість, шт
1	Каретка	1
2	Якор	1
3	Стакан	1
4	Планка	6
5	Напрявні	6
6	Підшипник 5-1000084 ГОСТ 8338-75	38 (мастило ВНИИ НП-274)
7	Електромагнітна котушка	1
8	Пробне тіло	1
9	Вилка	1
10	Вісь	20
11	Інші (шайба, кільце)	89
Усього:		165

виконується інтерферометричним методом із застосуванням інтерферометра лазерного 1.

Для створення двох послідовних імпульсів, збуджуваних від одного імпульсного джерела живлення, в єдиному робочому циклі використовується електронна схема, яка містить ємнісний накопичувач енергії 3, блок живлення (БЖ), призначений для заряджання ємнісного накопичувача до напруги U_0 , і блок управління (БУ), що забезпечує послідовне відкриття тиристорів VS_0 , VS_1 , VS_2 короткими імпульсами (рис. 8, б).

Оскільки виникає суттєва радіальна нерівномірність розподілу індукованого струму в якорі, останній представляється сукупністю елементарних коаксіальних короткозамкнених k контурів, рівномірно розподілених за поверхнею диска, а багатовитковий індуктор — первинним контуром збуджен-

ня, що приєднуються до ємнісного накопичувача (рис. 8, а).


У табл. 1 представлено загальну характеристику механізмів пускачів ПТ для розглянутих гравіметрів із зазначенням типу пускового механізму, джерела енергії й джерел похибок.

Отже, запропонований БЛГ з ІДК має мінімальний рівень похибок, максимальну надійність за мінімальних аксіальних розмірів, що відкриває перспективи істотного підвищення його метрологічних характеристик і можливість створення на його основі еталона ПВП.

ВИСНОВКИ

Аналізування механічних частин пускових пристроїв діючих абсолютних гравіметрів із симетричним способом вимірювання ПВП виявило недоліки їхніх кінематичних схем, які є додатковими джерелами систематичної (інструментальної) похибки. Пропонується БЛГ з ІДК, що має нову кінематичну схему, яка відкриває перспективу суттєвого підвищення метрологічних характеристик гравіметрів із симетричною траєкторією за мінімальних аксіальних розмірів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Mills I. M., Mohr P. J., Quinn T.J., Taylor N., Williams E. R. Redefinition of the kilogram, ampere, kelvin and mole: a proposed approach to implementing CIPM recommendation 1 (CI-2005) // *Metrologia*. — 2006. — V. 43. — P. 227—246.
2. Кононогов С. А., Константинов М. Ю., Хрущев В. В. О некоторых методах переопределения эталона единицы массы // *Измерительная техника*. — 2006. — № 4. — С. 3—7.
3. BIPM, Technical Protocol of the 8th International Comparison of Absolute Gravimeters ICAG-2009 // <http://kcdb.bipm.org/appendixB/appBresults/CCM.G-K1/CCM.G-K1 Technical protocol. pdf>
4. Арнаутов Г. П. Измерение ускорения свободного падения с учетом неравномерности его градиента // *Автометрия*. — 1987. — № 1. — С. 51 — 55.
5. Огородова Л. В., Шимбирев Б. П., Юзевич А. П. Гравиметрия. — М.: Недра. — 1978. — 325 с.
6. 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.
7. Болюх В. Ф., Вінніченко О. І. Удосконалення кінематичної схеми балістичного гравіметра за рахунок лінійного електромеханічного перетворювача // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. — 2011. — № 2/7 (50). — С. 9—15.
8. Вінніченко О. І. Кінематичні схеми пускових пристроїв балістичних гравіметрів // *Метрологія та прилади*. — 2012. — №3 (35). — С. 47—53.
9. 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.
10. 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.
11. Баллистический гравиметр для симметричного способа измерений [Текст]: пат. 2192024 Рос. Федерация: МПК G01V7/14 / Гужов В.Б., Кокошкин Н.Н., Шурубкин В.Д.; заявитель и патентообладатель Государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт «Сигнал» — № 2001120196/28; заявл. 18.07.2001; опубл. 27.10.2002, Бюл. 18/2007. — 3 с.
12. Barbato G., Genta G., Germak A., Levi R., Vicario G. Treatment of Experimental Data with Discordant Observations: Issues in Empirical Identification of Distribution // *Measurement science review*. — 2012. — V. 12. — № 4. — P. 133 — 140.
13. Capelli A., D'Agostino G., Desogus S., Germak A., Origlia C., Quagliotti D. A transportable absolute gravity meter adopting the symmetric rise and falling method: <http://imeko.org/publications/wc-2006/PWC-2006-TC3-042u.pdf>
14. D'Agostino G., Desogus S., Germak A., etc. The new IMGC-02 transportable absolute gravimeter: measurement apparatus and applications in geophysics and volcanology // *Annals of geophysics*. — 2008. — V. 51. — № 1. — P. 39 — 49. 



Ю. Шатохіна, викладач кафедри управління якістю та проектами
Чернігівського державного інституту економіки і управління,
аспірант Київського національного університету технологій та дизайну

*Розроблено рекомендації для
удосконалення наявних методів
контролю якості технологічного процесу
очищення в аеротенках стічних вод
(СВ) з урахуванням фізичних показників
одного із індикаторних організмів —
нитчастих бактерій (НБ).*

*Developed recommendations
for improvements to existing quality
control process of waste water
treatment in aeration tanks
with the physical characteristics
of one of the indicator organisms —
filamentous bacteria.*

У новій Державній програмі управління якістю передбачається запровадження системи управління на підприємствах житлово-комунального господарства (ЖКГ). Зрозуміло, що особливий уваги потребують каналізаційно-очисні споруди (КОС) — практично 100 % з них не очищають до необхідного рівня за окремими компонентами [1]. Тому забезпечення контролю за функціонуванням КОС у цілому і на окремих етапах є актуальним завданням.

Використання аеротенків у різних варіантах залишається одним із основних етапів очищення СВ, але процес залежить від значної кількості параметрів (забрудненості стоків, конструктивних особливостей споруд, здатності активного мулу в аеротенках до перетворення забруднювачів), і деякі з цих параметрів періодично змінюються та порушують стабільність процесу. Важливим показником [2] функціонування аеротенку та якості очищення СВ є біохімічне споживання кисню за 5 діб (BCK_5), але за цей час отримання результатів СВ виходять у поверхневі водойми, тобто час аналізу є більшим за час перебування СВ на очисних спорудах, відбувається затримка управлінських рішень. Також тривале визначення передбачає існуючий гідробіологічний контроль [3—5] стану активного мулу (визначення видів організмів, їхньої кількості, угодюваності, життєдіяльності). Отже, існуючі методи контролю за процесом виявляються недостатньо оперативними і потребують подальшого удосконалення.

Дослідження з пошуку можливостей удосконалення наявних методів і засобів контролю якості технологічного процесу очищення СВ, на нашу думку, доцільно провести з урахуванням сучасної інформації стосовно НБ, які належать до найважливіших і недостатньо вивчених індикаторних організмів.



Уважається [6], що НБ достатньо ефективно очищують СВ (для реалізації такої здатності потрібно удосконалювати обладнання). Також доцільно урахувати велику поверхню НБ, їх біомасу (у різних середовищах існує близько 30 видів нитчастих організмів з діаметром від 1 до 60 мкм і довжиною від 30 мкм до декількох мм), проте реалізацію використання цих фізичних показників НБ стримує відсутність даних щодо НБ у реальних умовах конкретних КОС.

У цій роботі досліджувалися фізичні показники (діаметр, довжина, площа поверхні, біомаса, зміна конфігурації НБ) залежно від забрудненості стічних вод з метою підвищення оперативності оцінювання функціонування аеротенку шляхом ітераційного наближення біоіндикаторів НБ до біомоніторів.

Автором висунуто гіпотезу стосовно можливості для оперативного контролю якості процесу використовувати зміни конфігурації НБ за умови попереднього визначення рівня забрудненості СВ і відповідних цьому рівню контрольних зразків НБ. Об'єктом дослідження є процес контролю за функціонуванням аеротенку із забезпечення достатнього рівня очищення СВ.

Предметом дослідження є залежність між забрудненістю СВ за показником БСК₅ і фізичними показниками НБ. Методи дослідження: фізичні показники НБ (діаметр, довжина, конфігурації) визначалися за допомогою мікроскопа Delta Optical Genetic Pro (Польща) з комп'ютерною програмою Aigo ScoreImage 9,0; забрудненість СВ визначалася за допомогою показника БСК₅ [2].

Аналізування попередніх досліджень дозволяє висунути гіпотезу стосовно можливості підвищення оперативності оцінювання функціонування аеротенку шляхом ітераційного наближення біоіндикаторів НБ до біомоніторів. *Метою роботи* є перевірка цієї гіпотези, що визначило такі завдання дослідження:

- оцінити параметри НБ, існуючих у реальних умовах діючої КОС;
- дослідити фізичне явище зміни конфігурації розміщення НБ у реальних умовах, визначити характерні етапи конфігурацій НБ залежно від БСК₅;
- розробити рекомендації для удосконалення наявних методів оцінювання якості технологічного процесу очищення в аеротенках СВ на основі дослідження одного із найважливіших індикаторних організмів — НБ.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Для контролю ефективності функціонування аеротенку (здатності до очищення СВ) важливо не лише визначати кількість мікроорганізмів

(як це здійснюється за чинними нині методиками), а й перейти до наступного етапу — вимірювання поверхні гідробіонтів, урахування їх біомаси. Тому, використовуючи можливості мікроскопів нового покоління, нами проведено вимірювання параметрів НБ, існуючих у реальних умовах діючого аеротенку ДП «Чернігівводоканал» (рис. 1).

Показано (рис. 1а) визначення діаметрів НБ за допомогою мікроскопа. Визначено, що їхній діаметр у проведених дослідках змінювався від 1,077 до 1,800 мкм, середнє значення $\bar{X} = 1,3155$ мкм, об'єм вибірки $n = 10$. Відхилення розраховано за формулою:

$$(X_i - \bar{X});$$

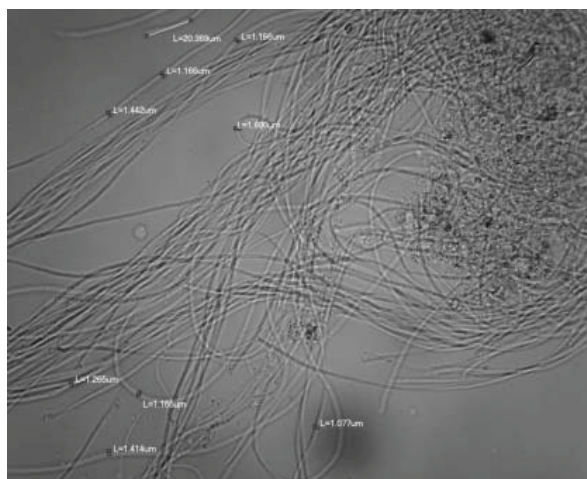
дисперсію — за формулою:

$$S^2 = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / (n-1);$$

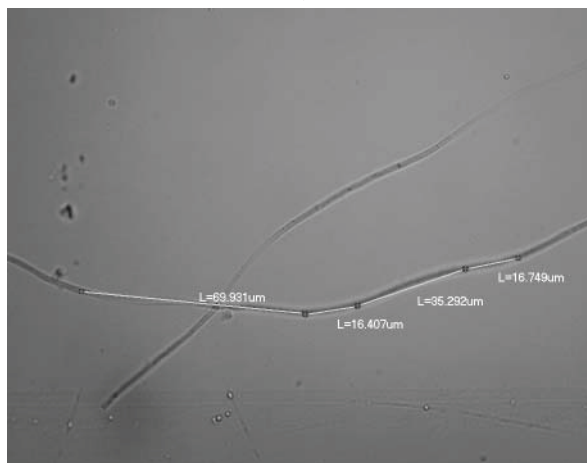
середнє квадратичне відхилення (розсіювання) — за формулою: $S = \sqrt{S^2}$;

а коефіцієнт варіації — за формулою:

$$C = (S/\bar{X}) \cdot 100 \, \%.$$



а)



б)

Рис. 1. Визначення діаметрів (а) і довжини (б) НБ за допомогою мікроскопа Delta Optical Genetic Pro

Опрацювання результатів експерименту
з визначення діаметра НБ

№	X_i	\bar{X}	$(X_i - \bar{X})$	S^2	S	C	δ
1	1,280	1,3155	0,0355	0,04358	0,2087	15,9	0,1163
2	1,379		0,0635				
3	1,414		0,0985				
4	1,265		0,0505				
5	1,442		0,1265				
6	1,166		0,1495				
7	1,166		0,1495				
8	1,166		0,1495				
9	1,800		0,4845				
10	1,077		0,2385				

Для оцінювання точності середнього арифметичного значення діаметра НБ для $n < 25$ використовуємо розподіл Стюдента: $\varepsilon = t_{\gamma}(k) \cdot S / \sqrt{n}$, де ε — абсолютна похибка середнього арифметичного значення діаметра НБ із заданою надійністю $\gamma = 0,95$; $k = n - 1 = 9$; $S = 0,2088$ мкм; $t_{0,95}$ — коефіцієнт Стюдента дорівнює 2,26. За таких значень $\varepsilon = 0,153$ мкм.

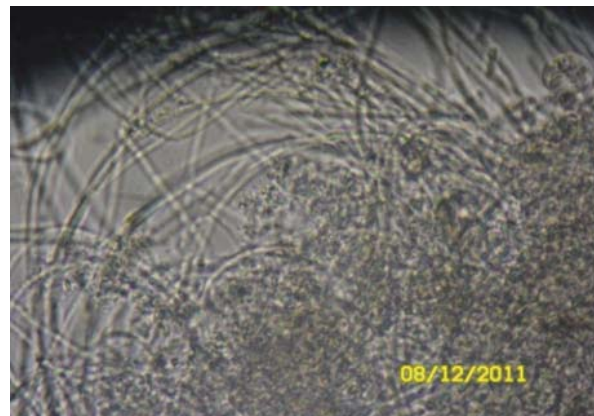
Довірчий інтервал середнього значення діаметра (v) визначаємо за формулою: $(\bar{X} - \varepsilon) < v < (\bar{X} + \varepsilon)$, отже $1,1625 < v < 1,4685$; відносну похибку δ середнього арифметичного значення діаметра з надійністю $\gamma = 0,95$ — за формулою [7]: $\delta = \varepsilon / \bar{X} = 0,1163$.

Результати вимірювань та розрахунків представлено у таблиці.

Визначення іншого параметра — довжини НБ — можна здійснювати з використанням зазначеного мікроскопа за сумою довжин окремих ділянок (рис. 16). Довжина НБ в умовах експерименту сягала 400—500 мкм. Отримані дані дозволяють обчислювати об'єм НБ як циліндра, а далі перейти до врахування як площі поверхні, так і об'єму (біомаси) НБ. Розраховано, що площа поверхні однієї НБ дорівнює 2066,69 мкм², кількість особин на 1 кг сухої речовини АМ змінюється від 6561 до 14561 і більше, тому загальна площа поверхні НБ зростає від $13,6 \cdot 10^6$ до $30 \cdot 10^6$ мкм², відповідно зростає і загальна біомаса (ЗБ). Ураховуючи, що біомаса НБ дорівнює об'єму, помноженому на густину ρ , а густина $\rho = 1 \cdot 10^{-9}$ мг/мкм³, виявляємо, що ЗБ дорівнює $4,5 \cdot 10^{-3}$ мг, а в період нитчастого спухання — понад 0,01 мг на 1 г сухої речовини АМ.

Особливості існування НБ досліджувалися нами у реальних умовах протягом шести місяців у діючих аеротенках. За цей період візуально виявлено фізичне явище зміни конфігурації розташування НБ, що складалося із трьох етапів (рис. 2).

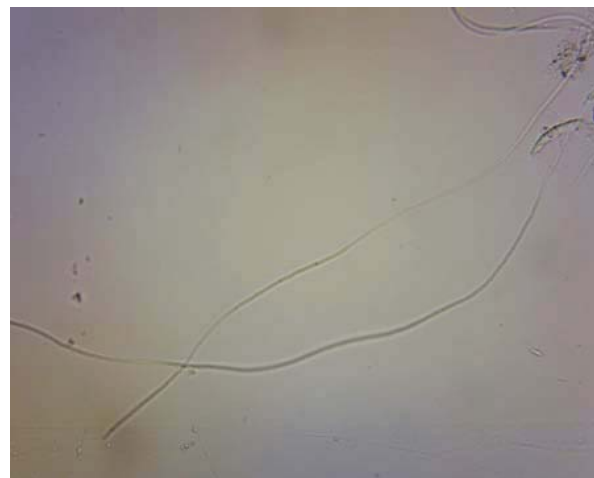
На першому етапі кількість НБ швидко зростає, утворюються конгломерації (рис. 2а) зі щільно переплетених бактерій, за яких вони зберігають свої риси і властивості. На другому — відбувається послаблення щільності конгломератів НБ, їх випрямлення і відокремлення у виді окремих пасм (рис. 2б).



а)



б)



в)

Рис. 2. Основні етапи існування НБ: щільні конгломерації (а), послаблені конгломерації (б), окремі особини (в)

На третьому — відбувається зменшення кількості НБ та їхнє існування у виді окремих особин (2в).

Для виділених етапів зміни конфігурації НБ проводилися вимірювання¹ показника БСК₅, що характеризує забруднення СВ, і визначається тривалий час — 5 діб.

Установлено, що:

- для щільних конгломератів НБ типове БСК₅ > 550 мг / дм³;
- для етапу послаблених конгломератів БСК₅ = 300—550 мг / дм³;
- етап існування окремих особин НБ відбувається за БСК₅ < 300 мг/дм³ [8].

Для практичного використання отриманих залежностей для кожного із трьох характерних етапів конгломератів НБ доцільно виготовити кілька зразків у вигляді фотографій. Під час візуального встановлення розміщення у СВ НБ за допомогою мікроскопа отримана картинка порівнюється з контрольними зразками, із яких вибирається найближчий, та встановлюється відповідна цьому зразку величина БСК₅. Період отримання інформації для оперативних дій не перевищує 60 хв.

Урахування виявлених особливостей існування (окремі особини, щільні конгломерати, послаблені конгломерати) НБ на додаток до визначення видо-

вого різноманіття АМ за існуючими рекомендаціями дозволяє підвищити оперативність оцінювання зміни технологічного процесу очищення СВ.


ВИСНОВКИ

1. Проведене вимірювання фізичних параметрів НБ забезпечує подальший розвиток уявлення стосовно особливостей процесу очищення СВ в аеротенку. Визначено, що в розглянутих умовах реальних очисних споруд довжина НБ складає 400—500 мкм, а середнє арифметичне значення діаметра, необхідного для розрахунку біомаси, — $\bar{X} = 1,3155$ мкм. В умовах нитчастого спухання загальна площа поверхні НБ зростає від $13,6 \cdot 10^6$ до $30 \cdot 10^6$ мкм², а загальна біомаса збільшується від 0,004 до 0,01 мг на 1 г сухої речовини активного мулу.

2. Результати проведеного дослідження фізичного явища зміни конфігурації існування НБ залежно від забрудненості СВ підтверджують гіпотезу щодо принципової можливості використання цього явища для оперативного контролю функціонування аеротенку: за БСК₅ > 550 мг/ дм³ існують щільні конгломерати НБ, за БСК₅ = (300—550) мг/ дм³ — послаблені, за БСК₅ < 300 мг/ дм³ НБ існують у виді окремих особин. Рекомендується під час візуального установа- влення розміщення у стічній воді НБ за допомогою мікроскопа отриману картинку порівнювати з контрольними зразками, з яких обирається найближчий та встановлюється відповідна цьому зразку величина БСК₅.

¹ БСК₅ визначено за допомогою начальника лабораторії ДП «Чернігівводоканал» Мазюк Н.С.

ЛІТЕРАТУРА

1. Щетинин А.И., Мешенгиссер Ю.М., Есин М.А., Малбиев Б.Ю., Реготун А.А. Опыт реконструкции очисных сооружений с применением технологии нитроденитрификации // Водопостачання та водовідведення. — К.: Тов. «Гнозис», 2011. — №3. — С. 41—49.
2. КНД 211.1.4.024-95. Методика визначення біохімічного споживання кисню після n днів (БСК) в природних і стічних водах.
3. Удод В.М. Методические указания к проведению лабораторного практикума «Гидробиологический контроль при очистке сточных вод» по дисциплине «Совершенствование химико-технологического контроля на природоохранных объектах для ИТР. — ЧПК Госжилкомхоза Украины, 1991. — С. 19.
4. Рекомендации по проведению оперативно-го гидробиологического контроля на сооружениях биологической очистки с аэротенками. — ЦБНТИ Минводхоза СССР. — М., 1987. — 26 с.
5. Юрченко В.А., Дяговец Я.С., Хроменкова Е.С., Остапова А.С. Использование микроскопирования для оценки экологически значимых характеристик различных микробиоценозов. — ХНАДУ, 2012. — С. 60—65.
6. ПНД ФСБ 14.1.92-96. Методы санитарно-биологического контроля. Методическое руководство по гидробиологическому контролю нитчатых микроорганизмов активного ила.
7. ГОСТ 8.207-7.76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.
8. Спосіб оцінки якості очищення стічних вод в аеротенках: Патент на корисну модель №76336 Україна, МПК (2012.01) C02F 3/00; G01N 33/18 (2006.01) Шатохіна Ю.В., Зенкін А.С., Мазюк Н.С. — № u201209944; заявл. 17.08.2012; опубл. 25.12.2012, Бюл. №24. 

УДК 001.53:620.1:669



А. Івков, начальник лабораторії Головного центру Державної служби стандартних зразків України, ННЦ «Інститут метрології»,
Г. Рудюк, директор Випробувального центру «УкрНДІМет»,
Т. Ніколайчук, завідувач лабораторії, ДП «УкрНТЦ «Енергосталь», м. Харків

Представлено результати міжлабораторних порівнянь вимірювань масових часток елементів сталі вуглецевої з використанням як контрольних державних стандартних зразків України (ДСЗУ) і міждержавного СЗ складу сталі вуглецевої.

The article presents the results of interlaboratory comparisons of measurements of mass fractions of carbon steel elements with using (as a control) the state certified reference material of Ukraine and interstate certified reference material of carbon steel composition.



А. Івков

Потреба у реальній довірі до результатів роботи вимірювальних (випробувальних) лабораторій (ВЛ) є визначальною не лише для лабораторій та замовників послуг з випробовувань, але й для інших зацікавлених сторін (органів з акредитації, інспекційних та адміністративних органів тощо), які визначають вимоги до лабораторій. Сучасна ВЛ має гарантувати якісне проведення випробовувань, тобто доводити свою здатність стабільно отримувати результати випробовувань з необхідною точністю. Лабораторії підтверджують свою компетентність відповідно до вимог ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 [1], Правил уповноваження та атестації [2].

У лютому 2010 року набув чинності (розроблений у розвиток положень чинного раніше ISO/IEC Guide 43:1997 робочою групою WG 28 Комітету ISO з оцінення відповідності (CASCO)), основоположний міжнародний стандарт ISO/IEC 17043:2010 [3], що визначає загальні вимоги до перевірок кваліфікації та забезпечує усі зацікавлені сторони належною основою для визначення компетентності організацій, які надають послуги з перевірок кваліфікації. Найдієвішою формою підтвердження якості результатів роботи лабораторії, визнаною міжнародною практикою перевірки кваліфікації лабораторій, є її участь у міжлабораторних порівняннях результатів вимірювань (МПП). Згідно з [3] міжлабораторні порівняння (*interlaboratory comparison*) — це організація, виконання і оцінювання вимірювань або випробовувань одного



Г. Рудюк



Т. Ніколайчук

й того ж або декількох подібних зразків двома або більше лабораторіями відповідно до заздалегідь установлених умов; перевірка кваліфікації (*proficiency testing*) — оцінювання характеристик функціонування учасника за заздалегідь установленими критеріями шляхом міжлабораторних порівнянь.

Наприкінці 2011 року Національним агентством з акредитації України (НААУ) розроблено та прийнято Концепцію оцінювання компетентності ВЛ [4], спрямовану на реалізацію вимог нормативних документів (НД), у тому числі й міжнародних, щодо МПР. Згідно з нею МПР є одним із головних критеріїв оцінювання компетентності лабораторій у процесі їх акредитації, а здатність лабораторії проводити випробовування визначається перевіркою на якість проведення випробовувань за допомогою МПР. Концепцією також визначено головні піддисципліни, де участь у МПР є обов'язковою, бажаною або необов'язковою. Політика НААУ щодо участі ВЛ у програмах МПР [5], гармонізована з вимогами стандартів ISO/IEC 17025:2005 [1], ISO/IEC 17011:2004 [6], рекомендаціями EA-3/04:2001 [7], EA-4/18:2010 [8], ILAC-P9:2011 [9], ILAC-G22:2004 [10], спрямована на те, щоб лабораторії брали участь у МПР. При цьому визначено мінімальну частоту їхньої необхідної участі. Зрозуміло, що і органи з підтвердження компетентності ВЛ, і лабораторії надають перевагу програмам МПР тих координаторів (провайдерів), що мають певний ступінь визнання або призначення, тобто є визнаними національними метрологічними інститутами в структурі Центрального органу виконавчої влади з питань метрології, а також НААУ.

Національний науковий центр (ННЦ) «Інститут метрології» (м. Харків) — Головний центр Державної служби стандартних зразків України (СЗУ), що має багаторічний досвід та напрацювання з організації та проведення МПР, здійснює відповідно до «Положення про порядок затвердження та ведення реєстру координаторів програм міжлабораторних порівнянь результатів вимірювань у вимірювальних лабораторіях з використанням стандартних зразків» загальне керівництво роботами з МПР з 2001 року і веде відповідний Реєстр координаторів та затверджених програм МПР [11]. Відомим є узагальнений досвід діючих, зареєстрованих ННЦ «Інститут метрології» координаторів з організації та проведення МПР у лабораторіях коксохімічних підприємств [12], клініко-діагностичних [13] тощо.

Серед програм МПР поширені, наприклад, програми організацій-координаторів, затверджені та зареєстровані ДП «Укрметртестстандарт» [14], НААУ [15], відомим є також і міжнародний календар професій-

них тестувань EPTIS [16], що містить оголошення щодо всіх раундів професійних тестувань у всьому світі. Слід зазначити, що світовий досвід та інформації стосовно наявності та діяльності програм МПР, розміщені на сайті Європейської інформаційної системи з МПР (EPTIS), свідчать, що понад 90 % програм МПР проводяться з використанням СЗ (*certified reference materials*), оскільки саме такі програми найбільш повно відповідають завданням і метрологічним вимогам щодо контролю точності вимірювань.

Як показує аналіз наведених вище джерел [11—16], у сфері випробовувань металів та сплавів чи не єдиним діючим на сьогодні координатором програми МПР у ВЛ показників хімічного складу матеріалів гірничо-металургійного виробництва є Випробувальний центр «УкрНДІМет» ДП «Український науково-технічний центр металургійної промисловості «Енергосталь» (ВЦ «УкрНДІМет»), призначений і зареєстрований ННЦ «Інститут метрології» [11]. Оновлену Програму МПР затверджено 15.03.2013 і зареєстровано у Реєстрі координаторів програм МПР за номером М 012.03.13, відповідно до наказу ННЦ «Інститут метрології» № 151 від 14.03.2013.

У 2012 році ВЦ «УкрНДІМет» провів два раунди МПР вимірювань масових часток елементів у сталі вуглецевій (перший — з використанням як контрольних двох ДСЗУ складу сталі вуглецевої для визначення масових часток вуглецю, кремнію, марганцю, хрому та нікелю хімічними методами за ГОСТ 22536.1, 4, 5, 7, 9—88; другий — з використанням міждержавного СЗ складу сталі вуглецевої щодо визначення масових часток вуглецю, кремнію, марганцю, хрому, нікелю, міді, алюмінію, фосфору, сірки та титану фотоелектричним спектральним методом за ГОСТ 18895-97). Відомості щодо контрольних зразків (КЗ), використаних у раундах програми МПР, наведено у табл. 1.

У проведенні МПР взяли участь 5 лабораторій. З метою забезпечення умов конфіденційності кожній лабораторії-учасниці МПР координатором надано відповідний ідентифікаційний код.

Дані, представлені лабораторіями-учасницями МПР, піддано статистичному аналізу за кожним показником у такій послідовності:

1. Отримані від лабораторій результати наведено у табличному та графічному видах.

2. Проведено перевірку наданих результатів на відповідність нормам точності, наведеним у відповідних методиках виконання вимірювань (МВВ).

3. Для кожної лабораторії проведено розрахунок середнього арифметичного значення та середнього квадратичного відхилення (СКВ) цього значення за результатами паралельних вимірювань кожного показника.

Табл. 1. Перелік контрольних зразків до раундів МПР

Позначення СЗ	Шифр зразка	Вид матеріалу зразка	Масова частка, що вимірюється	Атестоване значення з похибкою, %
ДСЗУ № 083.15-06 (СХ01)	01/12(х)	стружка	вуглецю	0,029 ± 0,002
			кремнію	0,146 ± 0,004
			марганцю	0,086 ± 0,002
			хрому	0,222 ± 0,007
			нікелю	0,147 ± 0,002
ДСЗУ № 083.19-06 (СХ05)	02/12(х)	стружка	вуглецю	0,703 ± 0,003
			кремнію	0,302 ± 0,007
			марганцю	0,558 ± 0,008
			хрому	0,054 ± 0,002
			нікелю	0,026 ± 0,002
ГСО № 198-72 (127-4)	03/12(с)	монолітний	вуглецю	0,276 ± 0,007
			кремнію	0,272 ± 0,005
			марганцю	0,705 ± 0,006
			хрому	0,188 ± 0,005
			нікелю	0,263 ± 0,006
			міді	0,195 ± 0,006
			ванадію	0,026 ± 0,002
			фосфору	0,0120 ± 0,0006
			сірки	0,021 ± 0,002
			титану	0,027 ± 0,001

4. Проведено перевірку наданих результатів на відсутність / наявність викидів.

Для прийняття рішення стосовно виключення сумнівних результатів використано два підходи: графічний аналіз сумісності та статистичне тестування викидів. За першого — застосовано h - і k -статистики Манделя. За другого — проведено опрацювання даних за допомогою критеріїв Кохрена та Грабса.

5. За результатами, отриманими лабораторіями, розраховано показник точності результатів вимірювання — z -показник, який дозволяє оцінити здатність ВЛ проводити випробовування:

$$z = (\bar{X}_{ij} - X) / \sigma, \quad (1)$$

де \bar{X}_{ij} — значення вимірюваної величини, отримане лабораторією; X — дійсне значення (атестоване значення стандартного зразка); σ — СКВ випадкової складової похибки результатів вимірювань, наведене у відповідній МБВ. При цьому, якщо:

- $|z| \leq 2$ — результат задовільний;
- $2 < |z| < 3$ — результат сумнівний;
- $|z| \geq 3$ — результат незадовільний.

6. Перевірку наявності систематичної похибки у роботі лабораторії (у межах виконання вимірювань одним методом) проведено шляхом обчислення середнього z -показника за формулою:

$$RSZ = \sum z / \sqrt{n_z}, \quad (2)$$

де: n_z — загальна кількість z -показників для пев-

ної лабораторії.

Якщо величина RSZ є меншою за 2, систематичної похибки у контрольованому напрямку роботи лабораторії немає; роботу лабораторії визнають задовільною. За значення RSZ від 2 до 3, результати вважають сумнівними. Якщо величина RSZ є більшою за 3, у роботі лабораторії наявна систематична похибка; роботу лабораторії у контрольованому напрямку вважають незадовільною.

7. Перевірку якості лабораторії в цілому проведено шляхом обчислення суми квадратів z -показників:

$$SSZ = \sum z^2. \quad (3)$$

Якість роботи лабораторії вважають задовільною, якщо величина SSZ не перевищує відповідного значення. У разі перевищення — якість роботи лабораторії вважають незадовільною.

ПІДСУМКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ПЕРШОГО РАУНДУ МПР

Результати вимірювань масових часток елементів у КЗ 01-12(х) представлено у табл. 2, у КЗ 02-12(х) — у табл. 3. Опрацювання отриманих даних разом із звичайно застосовуваними методами опрацювання включало також графічний аналіз сумісності результатів, отриманих під час проведення МПР. Його результати представлено (наприклад, для вимірювання масової частки вуглецю) на рис. 1:

Статистичні розрахунки щодо КЗ 01-12(х) пред-

Табл. 2. Середні значення масових часток елементів, отримані лабораторіями у КЗ 01-12(х)

Код лабораторії	Найменування хімічного елемента				
	C	Si	Mn	Cr	Ni
2	0,030	0,148	0,086	0,222	0,148
3	0,032	0,147	0,086	0,212	0,142
4	0,029	0,142	0,085	0,217	0,150
5	0,028	0,160	0,089	0,207	0,140
$\overline{X_j}$	0,030	0,149	0,087	0,214	0,145
$X_{\text{атт.}}$	0,029	0,146	0,086	0,222	0,147

Табл. 3. Середні значення масових часток елементів, отримані лабораторіями у КЗ 02-12(х)

Код лабораторії	Найменування елемента				
	C	Si	Mn	Cr	Ni
1	0,713	0,305	0,560		
3	0,704	0,308	0,562	0,054	0,024
4	0,706	0,305	0,560	0,054	0,027
5	0,703	0,309	0,557	0,053	0,025
$\overline{X_j}$	0,706	0,307	0,560	0,054	0,025
$X_{\text{атт.}}$	0,703	0,302	0,558	0,054	0,023

ставлено у табл. 4 — 5:

$1,42 \leq h \leq 1,49$ — 2 квазівикиди,

$1,50 \leq k \leq 1,67$ — викидів немає.

Показник точності результатів вимірювання — z-показник — наведено у табл. 6.

Один результат (для масової частки Si $z = 2,188$) є сумнівним.

Опрацювання наведених у табл. 3 значень, отриманих у КЗ 02—12(х), проведено у спосіб, аналогічний викладеному вище (табл. 7). Усі результати є задовільними.

Вимірювання масових часток кремнію, марганцю, хрому та нікелю у КЗ 01-12(х) та КЗ 02-12(х) виконували фотометричним методом, тому обчислено середній z-показник RSZ (табл. 8). Згідно з нею $RSZ \leq 2$, що свідчить стосовно відсутності систематичної похибки у контрольованому напрямку роботи лабораторії; роботу всіх лабораторій визнано задовільною.

Перевірку якості роботи лабораторій у цілому проведено шляхом обчислення суми квадратів z-показників SSZ (табл. 8). Згідно з нею SSZ не перевищує величин h_1 , тобто якість роботи всіх лабораторій можна визнати задовільною.

ПІДСУМКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДРУГОГО РАУНДУ МПР

У другому раунді проводили вимірювання з використанням КЗ 03-12(с). Опрацювання результатів

вимірювань масових часток елементів у КЗ 03-12(с) відображено у табл. 9—10. Усі результати учасників можна визнати задовільними

Вимірювання масових часток елементів у КЗ 03-12(с) виконували фотоелектричним спектральним методом, тому обчислено середній z-показник RSZ (табл. 11). Згідно з нею $RSZ \leq 2$, що свідчить стосовно відсутності систематичної похибки у контрольованому напрямку роботи лабораторії; роботу всіх лабораторій визнано задовільною.

Табл. 4. Зведена таблиця результатів розрахунку h-статистик Манделя у КЗ 01-12(х)

Код лабораторії	C	Si	Mn	Cr	Ni
2	0,071	– 0,198	– 0,477	1,193	0,658
3	1,315	– 0,331	– 0,095	– 0,415	– 0,585
4	– 0,284	– 0,905	– 0,859	0,363	1,024
5	– 1,102	1,435	1,433	– 1,141	– 1,097

Табл. 5. Зведена таблиця результатів розрахунку k-статистик Манделя у КЗ 01-12(х)

Код лабораторії	C	Si	Mn	Cr	Ni
2	0,479	1,359	1,087	1,353	1,435
3	1,385	0,809	1,323	0,968	0,905
4	0,999	0,666	0,376	0,390	0,536
5	0,923	1,025	0,960	1,038	0,911

Табл. 6. Зведена таблиця z-показників у КЗ 01-12(х)

Код лабораторії	C	Si	Mn	Cr	Ni
2	0,435	0,313	0	0	0,169
3	1,304	0,156	0	– 1,299	– 0,847
4	0	– 0,625	– 0,278	– 0,649	0,508
5	– 0,435	2,188	0,833	– 1,948	– 1,186

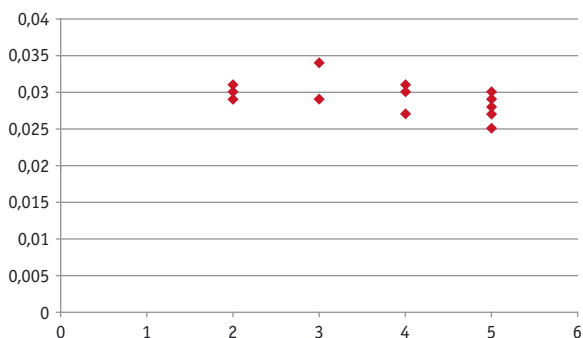


Рис. 1. Результати вимірювання масової частки вуглецю у КЗ 01-12(х)

Табл. 7. Зведена таблиця значень z-показників у КЗ 02-12(х)

Код лабораторії	C	Si	Mn	Cr	Ni
1	0,909	0,3	0,143		
3	0,091	0,6	0,286	0	-0,870
4	0,273	0,3	0,143	0	0,435
5	-0,091	0,7	-0,071	-0,303	-0,435

Табл. 8. Зведена таблиця контролю якості роботи лабораторій

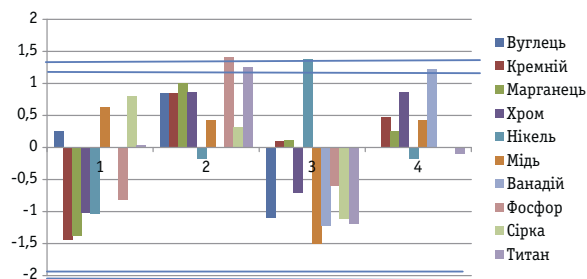
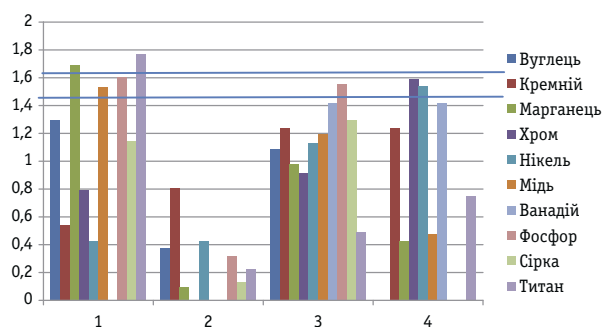
Код лабораторії	RSZ	SSZ	h_1	h_2
1		0,937	7,8	13,8
2	0,241	0,316	11,1	20,5
3	-0,698	5,337	18,3	29,6
4	-0,059	1,521	18,3	29,6
5	-0,078	11,656	18,3	29,6

Перевірку якості роботи лабораторій у цілому проведено шляхом обчислення суми квадратів z-показників SSZ. Згідно з табл. 11 SSZ не перевищує величин h_1 , тобто якість роботи всіх лабораторій є задовільною.

У графічному виді статистики Манделя представлено на рис. 2, 3.

ВИСНОВКИ

Результати проведених раундів МПР свідчать, що загалом якість роботи лабораторій-учасниць

Рис. 2. Діаграма значень статистики міжлабораторної сумісності Манделя h_{ij} згрупованих за лабораторіямиРис. 3. Діаграма значень статистики міжлабораторної сумісності Манделя k_{ij} згрупованих за лабораторіями

МПР у контрольованих напрямках робіт з вимірювань є задовільною.

До МПР координатором запрошено як акредитовані, так і атестовані лабораторії підприємств гірничо-металургійної та машинобудівної галузей. На жаль, кількість лабораторій, що брали участь у МПР, відносно до загальної кількості запрошених

Табл. 9. Середні значення масових часток елементів у КЗ 03-12(с), отримані лабораторіями

Код лабораторії	Найменування елемента									
	Вуглець	Кремній	Марганець	Хром	Нікель	Мідь	Ванадій	Фосфор	Сірка	Титан
1	0,272	0,262	0,700	0,179	0,257	0,195	0,0260	0,010	0,021	0,026
2	0,277	0,274	0,705	0,187	0,263	0,195	0,0260	0,012	0,021	0,029
3	0,260	0,270	0,703	0,180	0,275	0,192	0,0257	0,010	0,020	0,023
4		0,272	0,704	0,187	0,263	0,195	0,0263			0,026
	0,270	0,269	0,703	0,183	0,265	0,194	0,0260	0,011	0,021	0,026
$X_{\text{атт}}$	0,276	0,272	0,705	0,188	0,263	0,195	0,026	0,012	0,021	0,027

Табл. 10. Зведена таблиця z-показників у КЗ 03-12(с)

Код лабораторії	Вуглець	Кремній	Марганець	Хром	Нікель	Мідь	Ванадій	Фосфор	Сірка	Титан
1	-0,364	-0,738	-0,278	-1,233	-0,452	0,037	0,000	-1,429	0,093	-0,182
2	0,091	0,143	0,019	-0,137	0,024	0,000	0,000	0,000	0,000	0,358
3	-1,424	-0,143	-0,093	-1,050	0,881	-0,366	-0,093	-1,286	-0,278	-0,727
4		0,000	-0,074	-0,137	0,024	0,000	0,093			-0,242

Табл. 11. Зведена таблиця контролю якості роботи лабораторій

Код лабораторії	RSZ	SSZ	h_1	h_2
1	- 1,437551	4,563	18,3	29,6
2	0,1570652	0,176	18,3	29,6
3	- 1,447889	6,338	18,3	29,6
4	- 0,127405	0,092	14,1	24,3


склала усього 6 %, що засвідчує, по-перше, неналежний рівень уваги лабораторій до участі у МПР і, по-друге, — нерозуміння важливості і переваг такої участі. Лабораторіям необхідно також зважати, що міжлабораторна метрологічна атестація СЗ, у якій бере участь більшість провідних лабораторій підприємств гірничо-металургійної галузі, не має

за мету визначення характеристик функціонування лабораторій і дозволяє отримати відповідну інформацію лише опосередковано.

Результати МПР разом з перевіркою якості проведення випробувань можна застосувати для:

- оцінювання характеристик функціонування лабораторій щодо виконання вимірювань та постійного їх моніторингу;
- виявлення у лабораторіях проблем (неправильне використання МВВ, недостатня ефективність навчання персоналу) та їх усунення;
- порівняння результатів випробувань, отриманих у різних лабораторіях;
- забезпечення додаткової довіри у замовників;
- виявлення відмінностей між лабораторіями;
- уточнення значень характеристик похибки, вказаних у НД на МВВ;
- підтвердження невизначеності МВВ.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.
2. Правила уповноваження та атестації у державній метрологічній системі, затверджені Наказом Держспоживстандарту від 29.03.2005 № 71.
3. ISO/IEC 17043:2010. Conformity assessment. General requirements for proficiency testing (Оцінювання відповідності. Основні вимоги до проведення перевірки кваліфікації).
4. ЗД-08.01. Загальний документ НААУ. Концепція оцінювання компетентності випробувальних лабораторій на основі результатів участі у міжлабораторних порівняльних випробуваннях [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.naaau.org.ua/files/zd-08.01.21_redakcia_01_konceptcia_mpr.pdf.
5. Політика НААУ щодо участі ВЛ у програмах МПР [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.naaau.org.ua/files/zd-08.01.03_redakcia_03.pdf.
6. ISO/IEC 17011:2004. Conformity assessment — General requirements for accreditation bodies accrediting conformity assessment bodies (Оцінювання відповідності. Основні вимоги до акредитації органів з оцінювання відповідності).
7. EA-3/04:2001. Use of Proficiency Testing as a Tool for Accreditation in Testing (Використання перевірки кваліфікації у процесі акредитації органів, що проводять випробування).
8. EA-4/18:2010. Guidance on the level and frequency of proficiency testing participation (Настанова щодо рівня і частоти участі у професійному тестуванні).
9. ILAC-P9:2011 Policy for Participation in National and International Proficiency Testing Activities (Політика участі у національному і міжнародному професійних тестуваннях).
10. ILAC-G22:2004 Use of Proficiency Testing as a Tool for Accreditation in Testing (7).
11. Інформація щодо координаторів Програм міжлабораторних порівнянь результатів вимірювань у вимірювальних лабораторіях з використанням стандартних зразків // УМЖ. — 2008. — № 1. — С. 58—59.
12. Кафтан Ю.С., Соснова Е.Б., Торьяник С.С., Макаренко О.Б. Оценка качества работы заводских лабораторий коксохимических лабораторий (Итоги осуществления «Программы межлабораторного сравнения результатов измерения показателей качества угля и кокса») // Угледимический журнал. — 2007. — № 1—2. — С. 73—76.
13. Березка М., Туракевич С., Чудінова О., Гниленко Н. Організація й проведення МПР клініко-діагностичних досліджень (з досвіду роботи лабораторії-координатора Харківської обласної клінічної лікарні) // Метрологія та прилади. — 2009. — № 4. — С. 52—58.
14. Міжлабораторні порівняння результатів вимірювань (МПР). Сайт ДП «Укрметртестстандарт» [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.ukrcsm.kiev.ua/index.php/uk/2009-02-05-07-58-31/2009-02-06-11-59-08>
15. Перелік Координаторів та Програм МПР НААУ [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.naaau.org.ua/files/perelik_koordinatoriv_mpr_naaau_20110418_bez_pk_tka.doc.
16. EPTIS PT Calendar [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.eptis.bam.de/en/pts_coming_up/index.htm. 

ДО 70-РІЧЧЯ ВОЛОДИМИРА БОРИСОВИЧА БОЛЬШАКОВА

10 квітня виповнилося 70 років від дня народження доктору технічних наук, головному науковому співробітнику ННЦ «Інститут метрології» **Володимир Борисовичу Большакову**, голові Технічного комітету (ТК) «Витратометрія» СООМЕТ, Заслуженому метрологу СООМЕТ, Заслуженому діячу науки і техніки України, Віце-президенту Академії метрології України.

Народився Володимир Борисович у блокадному Ленінграді, у сім'ї офіцера, який воював на фронті, що захищав місто. Закінчивши у 1959 році 8 класів середньої школи у Кримській області, працював вантажником на ремонтно-технічній станції, механіком стрілецько-гарматного озброєння у військовій частині, одночасно навчаючись у вечірній школі, яку закінчив зі срібною медаллю. У 1961 році вступив до Харківського державного університету на механіко-математичний факультет.

Починаючи з п'ятого курсу навчання (1965 року) і до сьогодні, працює в Харківському інституті метрології (нині — ННЦ «ІМ»). Проїшов шлях від молодшого наукового співробітника до заступника Генерального директора з наукової роботи. Із 2003 по 2008 рік — директор Наукового центру вимірювань потоку, витрати, рівня і об'єму речовин ННЦ. Під його науковим керівництвом і за його безпосередньої участі в інституті з початку 60-х років по 1991 рік під патронатом Інституту космічних досліджень (ІКД) АН СРСР виконувалися роботи з метрологічного забезпечення гідродинамічних аспектів аерокосмічних досліджень поверхнісного діяльнісного шару Світового океану. З розробленою у той період апаратурою він брав участь у всіх морських експедиціях, які щороку проводилися ІКД, у всіх океанах, зокрема, у різних частинах Тихого (поблизу острова Киска, Маріанської впадини, Курильських островів) і Північного Льодовитого (поблизу острова Кільдин). Підсумком проведених досліджень стали унікальні наукові, інструментальні й методичні результати стосовно динаміки діяльності зазначеного шару. У 1992 році за цими напрацюваннями на запрошення Університету Джона Гопкінса (США) брав участь як керівник гідрофізичного загону на океанському дослідницькому судні «Академік Іоффе» у Міжнародній аерокосмічній експедиції в Атлантичному океані уздовж берегів США за участі супутників NASA, «Алмаз» (РФ) та Євросупутника.

Із набуттям Україною незалежності Володимир Борисович бере активну участь у створенні, адаптації, міжнародному визнанні Національної еталонної бази: у розробленні Державної науково-технічної програми зі створення еталонної бази України, у двох її пролонгаціях на 2006—2010 та 2011—2015 роки. За його безпосереднього керівництва створені Державні первинні еталони одиниць твердості, масової й об'ємної витрати рідини, швидкості повітряного потоку. У рамках ТК «Витратометрія» СООМЕТ під його керівництвом успішно проведені звірення державних еталонів одиниць витрати газу (ДП «Івано-Франківськстандартметрологія»), масової й об'ємної витрати рідини (ННЦ «ІМ») з аналогічними еталонами промислово розвинених країн, зокрема, Німеччини й Словачії.

Протягом майже усієї трудової діяльності В.Б. Большаков плідно займається науковою роботою. Він — автор понад 150 наукових праць, п'яти авторських свідоцтв СРСР і Патенту РФ на винаходи, ним розроблено, гармонізовано і впроваджено у метрологічну практику цілу низку нормативних документів з метрології. У 1974 році успішно захистив кандидатську, а у 1996 — докторську дисертації. Володимир Борисович приділяє значну увагу підготовці спеціалістів-метрологів, щедро ділиться з молодими фахівцями науковим досвідом. Ним створено наукову школу в сфері метрології та метрологічного забезпечення вимірювань витрати і параметрів руху рідинних і газових середовищ, підготовлено доктора і чотирьох кандидатів технічних наук. Володимир Борисович — член двох спеціалізованих рад із захисту докторських дисертацій (при ННЦ «ІМ» і НТУ «ХПІ»), редколегій журналів «Метрологія та прилади» та «Український метрологічний журнал», є Віце-президентом Академії метрології України.

Сьогодні він успішно працює над створенням вкрай затребуваної національної економікою метрологічної системи обліку природного газу; гармонізацією національних нормативних документів з метрології у нафтогазовому секторі зі стандартами і практиками застосовуваними в ЄС; організацією співробітництва національних метрологічних інститутів країн-членів СООМЕТ у сфері метрологічного забезпечення вимірювань витрати як рідини, включаючи нафту і нафтопродукти, так і газу, включаючи природний і скраплений, з метою проведення робіт щодо реалізації Угоди CIPM MRA.

За свою багаторічну і плідну працю ювіляр удостоєний почесних звань «Заслуженого діяча науки і техніки України», «Заслуженого метролога СООМЕТ», відзначений медаллю і нагрудним знаком «За заслуги», грамотами Держспоживстандарту України, Харківських міської ради та обласної держадміністрації, керівництва ННЦ «ІМ».



Друзі, колеги, співробітники, редакція та редколегія журналу «Метрологія та прилади» щиро вітають Володимира Борисовича Большакова з ювілеєм! Бажають йому здоров'я, щастя, любові та злагоди у сімейному житті, нових звершень у подальшій науковій діяльності!

ХАРКІВСЬКА ФІЛІЯ ДП «УкрНДНЦ»

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

План набору слухачів на травень—грудень 2013 року

Ч/ч	Курс	Період навчання
	1. Підвищення кваліфікації фахівців повірочних та калібрувальних лабораторій з повірки та калібрування засобів вимірювальної техніки:	
1.1	геометричних величин	13.05 — 24.05; 09.12 — 20.12
1.1.1	колієвимірювальних шаблонів	у міру комплектування, 1 тиждень
1.1.2	спеціалізованих засобів вимірювань геометричних величин на залізничному транспорті	у міру комплектування, 1 тиждень
1.2	механічних величин	13.05 — 24.05
1.2.1	маси	13.05 — 17.05
1.3.	маси, об'єму, місткості	10.06 — 21.06; 01.07 — 12.07
1.3.1	маси, об'єму, місткості та витрати	10.06 — 21.06; 01.07 — 12.07
1.3.2	об'єму, місткості	10.06 — 21.06; 01.07 — 05.07
1.4	температури, тиску, витрати	11.11 — 22.11
1.4.1	температури, тиску	11.11 — 22.11
1.5	електричних величин	30.09. — 11.10
1.5.1	електричних величин на залізничному транспорті	у міру комплектування, 1 тиждень
1.6	радіотехнічних величин	30.09 — 11.10
1.6.1	радіотехнічних величин на залізничному транспорті	у міру комплектування, 1 тиждень
	2. Підвищення кваліфікації фахівців за курсами:	
2.1	Забезпечення єдності вимірювань на підприємстві	14.10 — 25.10
2.1.1	Забезпечення єдності вимірювань на підприємстві (для метрологів з досвідом роботи)	23.09 — 27.09
2.2	Метрологічна експертиза технічної документації	у міру комплектування, 2 тижні
2.2.1	Метрологічна експертиза технічної документації (для фахівців з досвідом проведення МЕ ТД)	23.09 — 27.09
2.3	Забезпечення єдності вимірювань при проведенні контролю колісних транспортних засобів	у міру комплектування, 1 тиждень
2.3.1	Забезпечення єдності вимірювання димності відпрацьованих газів двигунів автомобілів згідно з ДСТУ 4276:2004	у міру комплектування, 1 тиждень
2.4	Розробка та атестація методик виконання вимірювань. Оцінка невизначеності вимірювань	у міру комплектування, 1 тиждень
2.5	Забезпечення єдності вимірювань в калібрувальних та вимірювальних лабораторіях	27.05 — 31.05; 14.10 — 18.10
2.6	Забезпечення єдності вимірювань в закладах охорони здоров'я	27.05 — 31.05
2.7	Технічне регулювання в Україні	03.06 — 07.06; 17.06 — 21.06
2.8	Стандартизація, розробка та впровадження нормативних документів	03.06 — 07.06; 17.06 — 21.06
2.9	Забезпечення відповідності калібрувальних та вимірювальних лабораторій критеріям атестації в ДМС, підготовка до атестації	27.05–31.05; 14.10–18.10
2.10	Розробка і впровадження систем управління якістю	28.10 — 01.11 та у міру комплектування, 1 тиждень
2.11	Забезпечення функціонування систем управління якістю та проведення внутрішнього аудиту	28.10 — 01.11 та у міру комплектування, 1 тиждень
2.12	Державний метрологічний нагляд	03.06 — 07.06
2.13	Проведення вимірювань та випробувань електротехнічними лабораторіями	02.12 — 06.12 та у міру комплектування, 1 тиждень
2.14	Державний ринковий нагляд	у міру комплектування, 1 тиждень
2.15	Вимоги до калібрувальних та випробувальних лабораторій відповідно до ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Внутрішній аудит в лабораторіях	04.11 — 08.11 та у міру комплектування, 1 тиждень
2.16	Забезпечення єдності вимірювання та обліку витрат енергоносіїв	03.06 — 07.06; 25.11 — 29.11
2.17	Забезпечення єдності вимірювань ВК ВІС та АСК ТП	01.07 — 12.07
2.18	Внутрішній аудит в лабораторіях за ДСТУ ISO/IEC 17025:2006	04.11 — 08.11 та у міру комплектування, 1 тиждень
2.19	Тепловізійні вимірювання. Тепловізійні методи контролю і діагностика	02.12 — 06.12
	3. Підвищення кваліфікації фахівців на базі підприємства-замовника:	
3.1	За заявою підприємства	за узгодженням
	4. Проведення тематичних семінарів:	
4.1	За заявою підприємства	за узгодженням

Заявки на навчання надсилати на адресу Харківської філії ДП «УкрНДНЦ» або факсом. Комплектування додаткових груп проводиться на замовлення підприємств. За вимогою підприємств надсилаємо інформаційні листи з тематикою окремих курсів навчання. Харківська філія ДП «УкрНДНЦ» співпрацює з Органом з сертифікації персоналу калібрувальних та вимірювальних лабораторій. Випускники Харківської філії ДП «УкрНДНЦ» мають можливість додатково отримати сертифікати компетентності фахівців, які визнають під час акредитації лабораторій.

КОЛПАК БОГДАН ДМИТРОВИЧ

4 березня 2013 року пішов із життя Колпак Богдан Дмитрович, доктор технічних наук, Віце-президент Академії метрології України, людина, яка віддавала весь творчий потенціал справі становлення і розвитку метрології у незалежній Україні.

Трудовий шлях Колпака Б. Д. тісно перетинається зі становленням ДП «НДІ «Система» як одного із провідних метрологічних інститутів України.

Обіймаючи посаду заступника Генерального директора ДП «НДІ «Система» з наукової роботи, Богдан Дмитрович приділяв велику увагу метрологічному забезпеченню автоматизованих систем керування технологічними процесами, контролю та обліку енергоносіїв. Ним створена наукова школа, яка плідно і результативно працює за цим напрямом, має вагомі теоретичні та практичні результати, зокрема, у забезпеченні єдності вимірювань в Україні. Під його



го керівництвом створені Національний первинний еталон тиску в повітряному середовищі, робочий еталон температури, мобільний робочий еталон для перевірки засобів вимірювальної техніки стратифікованих шарів рідини, рідких та скраплених середовищ.

Він завжди був відкритим для молоді, щедро ділився своїм науковим та практичним досвідом з молодим поколінням — співробітниками, аспірантами, студентами «Львівської політехніки», де працював протягом

багатьох років професором кафедри «Метрологія, стандартизація та сертифікація», був членом спеціалізованих рад із захисту дисертацій, брав активну участь в апробації дисертаційних робіт.

Світла пам'ять про Колпака Богдана Дмитровича — фахівця, людини з великої літери — назавжди залишиться у серцях друзів і колег.

Академія метрології України