

Вимірюйте
усе доступне вимірюванню
й робіть недоступне вимірюванню
доступним.

Галілео Галілей

ISSN 2307-2180

Метрологія



та прилади

№ 5(49), 2014

Науково-виробничий журнал

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

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

Засновники:

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

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

Редакційна колегія:

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

Редакційна група:

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

Журнал **рекомендовано до друку**
вченою радою ХНУРЕ
(протокол №38 від 31.10.2014)

Видавець ВКФ «Фавор»

Адреса редакції:

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

Підписано до друку 07.11.2014.
Формат 60×84/8. Папір крейдований.
Ум. друк. арк. 8,43. Обл.-вид. арк. 7,13.
Друк офсетний. Тираж 450 прим.
Замовлення № 43.

© «Метрологія та прилади», 2014

Курс України на євроінтеграцію, який українці відстояли на Майдані й продовжують відстоювати на Сході країни, вимагає радикального реформування різних галузей вітчизняного народного господарства і, зокрема, технічного регулювання. Відповідні конкретні заходи визначені у підписаній 27 червня 2014 року Угоді про Асоціацію між Україною та Європейським Союзом. Саме на їх якнайшвидшу реалізацію, на адаптацію національної системи технічного регулювання до систем технічного регулювання ЄС спрямовані прийняті 5 червня 2014 року Верховною Радою України Закони України «Про метрологію та метрологічну діяльність» та «Про стандартизацію». Основні положення цих Законів дозволяють вирішити стратегічні завдання гармонізації державних систем метрології та стандартизації з вимогами міжнародних та європейських організацій.

Сьогодні триває розроблення і затвердження нормативних актів з метою реалізації положень Законів. Є всі підстави сподіватися на успішне завершення цієї роботи і набуття Законами чинності у визначені терміни.

ЗАКОНОДАВЧА МЕТРОЛОГІЯ

Жалдак М.

Європейський вектор розвитку метрології.....3European direction of metrology development

LEGAL METROLOGY

Zhaldak M.

ЄДНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ

Чалий В., Ільницька Т., Кізілівський І.

Єдність і метрологічна простежуваність
результатів вимірювань потужності ультразвуку.....5Unity and metrological traceability
of measurement results ultrasonic power

TRACEABILITY OF MEASUREMENT

Chalyy V., Ilnytska T., Kizlivskyi I.

ВИМІРЮВАННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ

Коробко А., Тарасов Ю., Шеїн В., Костенко О., Радченко Ю.

Оцінювання придатності (валідація)
випробувального устаткування11Assessment of suitability (validation)
of the test equipment

MEASUREMENT AND TESTS

Korobko A., Tarasov Yu., Shein V., Kostenko O., Radchenko Yu.

МЕТОДИ ТА МЕТОДИКИ

Заболотний О., Сухобрус М.

Оцінка ступеня довіри
до результатів експериментального дослідження
методу спалювання природного газу.....16Evaluation of confidence
in the results of experimental investigation
of the method of natural gas combustion

METHODS AND PROCEDURES

Zabolotny O., Suhobrus M.

ВИПРОБУВАЛЬНІ ЛАБОРАТОРІЇ

Большаков В., Косач Н.

Випробувальні регіональні лабораторії
з ядерної криміналістики — інструмент МАГАТЕ та ЄС
у боротьбі з міжнародним тероризмом.....21Test regional laboratories by nuclear forensics —
IAEA and EU tool
to combat with international terrorism

TEST LABORATORIES

Bolshakov V., Kosach N.

ВИМІРЮВАЛЬНІ ЛАБОРАТОРІЇ

Глебов А., Голубець Р., Облап Р., Малієнко В.,

Новак Н., Волошинєць В., Чичерін М.

Результати 2-го раунду програми
міжлабораторних порівнянь результатів вимірювань26Results of second round
of interlaboratory studies

MEASURING LABORATORIES

Glebov A., Golubets R., Oblap R., Malyenko V.,

Novak N., Voloshinets V., Chicherin M.

ДИСТАНЦІЙНІ ВИМІРЮВАННЯ

Квасніков В., Орнатський Д., Михалко Н.

Аналоговий інтерфейс для дистанційних вимірювань
сигналів генераторних датчиків.....32Analog interface for remote measuring
of generator sensor signals off

REMOTE MEASURING

Kvasnikov V., Ornatyskiy D., Mukhalko N.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕНЕРГОНОСІВ

Середюк О., Малієвич В.

Теоретичні засади
застосування напірного витратоміра
для визначення енергетичної цінності природного газу.....38Theoretical Basis
of Using of Pressure Flowmeter
to Determine the Energy Value of Natural Gas

ENERGY SOURCE EFFICIENCY

Serediuk O., Malisevych V.

ФОТОМЕТРІЯ

Зубков Д., Назаренко Л.

Гоніофотометрична установка
для вимірювання світлотехнічних характеристик
потужних світлодіодів48Goniophotometer Facility
for Photometric Measurements
of High-Power LEDs

PHOTOMETRY

Zubkov D., Nazarenko L.

ХІМІЧНА МЕТРОЛОГІЯ

Козубовський В.

Хімічні датчики55Chemical Sensors

CHEMICAL METROLOGY

Kozubovskyy V.

ВІЙСЬКОВА МЕТРОЛОГІЯ

Бойко В., Гаврилов А., Рондін Ю., Костира О.

Питання створення автономної системи
частотно-часового забезпечення
споживачів Збройних сил України
на основі використання методу
пасивної синхронізації шкал часу і частоти67Questions of creation of independent system
of time-and-frequency maintenance of consumers
of armed forces of Ukraine on the basis of use
of the method of passive synchronization
of time scales and frequency

MILITARY METROLOGY

V. Bojko, A. Gavrilov, Yu. Rondin, A. Kostyrja

ВІТАЄМО ЮВІЛЯРІВ

До 70-річчя Євгена Тимофійовича Володарського.....71To 70th anniversary of Ye. T. Volodarsky

WELCOME

ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ

План набору слухачів на 2015 рік72State Enterprise for Year 2015

TRAINING EXPERTS

ІНФОРМАЦІЯ

.....25, 37INFORMATION

ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ВЕКТОР РОЗВИТКУ МЕТРОЛОГІЇ

М. Жалдак, заступник директора науково-технічного інституту метрологічної служби України, ДП «Укрметртестстандарт», м. Київ

Роль метрології та її стратегічне завдання у процесі глобалізації економіки і торгівлі спрямовані на забезпечення умови «одне вимірювання — і досягнення його всесвітнього визнання». У цьому випадку можливо уникнути повторних вимірювань і випробувань, домогтися економії ресурсів, матеріалів, часу, персоналу, фінансів. Результати гармонізації у сфері метрології полягають у ліквідації технічних бар'єрів у торгівлі для вільного руху товарів між країнами. Цільові умови вільного руху товарів на глобальному ринку сформульовані як «*один стандарт, одне вимірювання, один сертифікат*», що свідчить стосовно тісного взаємозв'язку складових технічного регулювання — стандартизації та сертифікації з одного боку і метрології з іншого.



Складовими міжнародної глобальної метрологічної системи є:

узгоджені закони у сфері метрології;

національні еталони одиниць величин, простежуваність до національних і міжнародних еталонів та їх еквівалентність;

нормативна база — гармонізовані вимоги до засобів вимірювань, їх повірки та калібрування й оформлення результатів, а також до фасованих товарів у упаковках;

оцінка відповідності засобів вимірювань;

кваліфікований і компетентний персонал.

В Україні вже більше 5 років ведуться дискусії й спори прибічників та супротивників європейського вектору розвитку метрології в Україні, які, після прийняття 5 червня 2014 року Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність», на решті успішно завершилися на користь перших. Україна однозначно зробила європейський вибір. Що це в кінцевому рахунку дає Україні та які принципи зміни чекають на метрологів України.

Курс України на вступ до ЄС ставить перед метрологами стратегічне завдання гармонізації державної метрологічної системи з вимогами міжнародних ор-

ганізацій у сфері метрології, що непросто зробити, зважаючи не лише на різницю в економічному розвитку промислово розвинених держав і України, а й іншу ідеологію побудови вітчизняного законодавства, яка існувала до нинішнього часу.

Наявна система до сьогодні зосереджує в собі регуляторні, наглядові та комерційні функції, що постійно призводило до конфлікту інтересів. Термінологічна складова також базується на старих підходах. Неоднозначно сприймається віднесення користувачами засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) до сфери державного метрологічного нагляду та добровільної сфери. Відсутність калібрувальної служби України і нерозвинутість калібрування ЗВТ є суттєвою перепорою у визнанні результатів метрологічних послуг нашими європейськими партнерами.

Отже перебудова метрологічної системи має починатися перш за все в умах метрологів, які мають переусвідомити і змінити свої погляди на розвиток метрології в Україні. Ми маємо грати за єдиними правилами з провідними країнами Європи і світу, без цього ми ніколи не станемо в один ряд з ними. Прийняття нової редакції Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» (Закону) дає можливість гармонізувати метрологічну систему України відповідно до міжнародних підходів.

Які ж основні положення і вимоги Закону?

Визначення понять співпадають з міжнародними відповідно до Міжнародного словника з метрології (VIM) або максимально до них наближені. Уводиться поняття «*національні еталони*», до складу яких входять не лише державні еталони, але й вихідні та еталони підприємств і організацій, що мають найвищі метрологічні характеристики у країні. Це надасть можливість значно розширити національну еталонну базу, участі зазначених еталонів у міжнародних звіреннях, а отже, міжнародного визнання.

Сфери державного метрологічного нагляду стають сферами законодавчо регульованої метрології. Розмежовуються регуляторні, наглядові та господарчі

функції шляхом створення трьох центральних органів виконавчої влади з метрології (ЦОВМ):

- із забезпечення формування державної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності;
- із реалізації державної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності;
- із реалізації державної політики у сфері метрологічного нагляду.

Метрологічний нагляд поділяється на три види:

- державний ринковий нагляд за відповідністю законодавчо регульованих ЗВТ вимогам технічних регламентів під час їх реалізації на ринку та введення в експлуатацію;
- метрологічний нагляд за законодавчо регульованими ЗВТ, що перебувають в експлуатації;
- метрологічний нагляд за кількістю фасованих товарів в упаковках.

Зникають територіальні органи ЦОВМ, які реформуються у державні метрологічні центри з покладанням на них окремих господарських функцій.

Право здійснення оцінки відповідності законодавчо регульованих ЗВТ матимуть органи з оцінки відповідності, акредитовані Національним агентством України з акредитації (НААУ) та призначені на певні категорії ЗВТ та модулі оцінювання відповідності згідно із Законом України «Про стандарти, технічні регламенти та оцінку відповідності».

Періодична повірка законодавчо регульованих ЗВТ в експлуатації здійснюватиметься науковими та державними метрологічними центрами, а також повірочними лабораторіями, уповноваженими ЦОВМ. Під час уповноваження на право проведення повірки організації повинні підтвердити свою технічну компетентність і відповідність критеріям уповноваження, головним із яких, очевидно, стане наявність акредитації НААУ на калібрування ЗВТ.

Законом суттєво звужується сфера нормативно-го регулювання метрологічної діяльності, яку затвердить Кабінет Міністрів України через перелік категорій законодавчо регульованих ЗВТ, що перебувають в експлуатації, та їх міжповірочні інтервали. Зберігаються українські державні служби: стандартних зразків складу та властивостей і стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів; єдиного часу та еталонних частот; метрологічні служби ЦОВМ.

Усе інше, що не належатиме до законодавчо регульованої сфери, відноситься до добровільної сфери (промислова метрологія). При цьому значно зростає роль калібрування ЗВТ та випробувальних і калібрувальних лабораторій, НААУ як єдиного органу в країні, що здійснює оцінювання і підтвердження


компетентності лабораторій через процедури акредитації.

Калібрування ЗВТ можуть здійснювати:

- * наукові метрологічні центри;
- * метрологічні центри і калібрувальні лабораторії, акредитовані НААУ;
- * метрологічні центри та калібрувальні лабораторії, які мають документально підтверджену простежуваність своїх еталонів до національних еталонів, еталонів інших держав або міжнародних еталонів одиниць вимірювань.

Цей Закон набирає чинності з 01.01.2016. За час, що залишився, Мінекономрозвитку України необхідно виконати величезний обсяг робіт стосовно реалізації вимог і положень Закону, а саме:

- розробити та затвердити Технічні регламенти:
 - «Щодо суттєвих вимог до засобів вимірювальної техніки» (Директива 2014/32/ЄС);
 - «Неавтоматичні зважувальні прилади» (Директива 2014/31/ЄС);
 - «Законодавчо регульовані ЗВТ, що не охоплені Технічними регламентами, зазначеними вище».
 - «Щодо пляшок, що використовуються як мірні ємності» (Директива 75/107/ЄЕС);
 - «Щодо деяких товарів, що фасуються за масою та об'ємом у готову упаковку» (Директива 76/211/ЄЕС);
 - «Щодо встановлення правил відносно номінальних кількостей для попередньо розфасованих товарів» (Директива 2007/45/ЄЕС);
- розробити та затвердити 33 нормативно-правові акти України, а також низку організаційно-методичних документів;
- створити новий орган з метрологічного нагляду або покласти таку функцію на вже наявний інспекційний орган.

Отже, можна констатувати, що в Україні створюється національна метрологічна система, яка базуватиметься на основних принципах і нормах, притаманних більшості європейських країн; сприятливе поле для розвитку підприємництва. Ринок надання метрологічних послуг поступово зазнає демонополізації, набуває розвитку конкурентності. Посилюється роль акредитації органів з оцінки відповідності — найбільш ефективного механізму забезпечення технічної компетенції та неупередженості. Перехід до оцінювання відповідності із застосуванням модульного підходу, де затвердження типу та первинна повірка стають одним із модулів, що застосовуються в країнах ЄС, дає підставу для міжнародного визнання результатів метрологічних робіт. Набуття чинності новим Законом сприятиме наближенню законодавства України до законодавства країн — членів ЄС. 

УДК 534:321.9:534.6

ЄДНІСТЬ І МЕТРОЛОГІЧНА ПРОСТЕЖУВАНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЕНЬ ПОТУЖНОСТІ УЛЬТРАЗВУКУ

В. Чалий, кандидат технічних наук, головний науковий співробітник,

Т. Ільницька, вчений секретар,

І. Кізілівський, начальник науково-дослідної лабораторії,

Державне підприємство «Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних і управляючих систем»
(ДП НДІ «Система»), м. Львів

Проведено аналіз близьких понять — «єдність вимірювань» і «метрологічна простежуваність». Виявлено їх подібність і відмінність. На прикладі створення системи метрологічного забезпечення вимірювання потужності ультразвуку у водному середовищі показано, що метрологічна простежуваність ставить жорсткіші вимоги до проведення вимірювань. Утім вона забезпечує міжнародну довіру до результатів вимірень. Подано практичні рекомендації.

In Ukraine the metrology is based on the concept of «true value». To characterize the state of measurement in which citizens and the national economy are protected from false measurement results, the term «unity of measurement» is used. In foreign developed countries where adopted a new approach - the concept of «uncertainty» the term «metrological traceability» is used for this purpose. Each of the above concepts based on its peculiar methodological basis. Their axiomatics are completely different. The parallel existence of two different approaches to evaluating the quality of measurement results significantly complicates the perception of the main provisions of metrology and hinders their effective application in practice.

Sometimes believe that conducting of the поверка (verification) for measurement instrument is both proof of traceability of measurement results and suf-

ficient condition for achieving confidence in them also at the international level. An analysis for two close concepts — «unity of measurement and «metrological traceability» was made to verify of this.

The definition of «unity of measurements» was formulated in the 60 years of the last century and quite is out of date. The unity of measurements not require exploring and document the characteristics of errors during of the поверка. This is not consistent with the recommendations of the Declaration BIPM, OIML, ILAC and ISO about traceability for measurements and significantly reduces the requirement for unity of measurement and has virtually eliminated credibility at the international level to measurement results obtained by means of measuring instrument that were only verified. Only metrological traceability, in accordance with the policy ILAC, which puts higher demands on the measurement process, providing confidence in the measurement results at the international level.

The results of the analysis on the example of the system of metrological support of ultrasound power measurement in a water environment was specified ways to achieve the required accuracy and ensure traceability of measurement results to standards of units SI. The specific recommendations on further improvement of metrological support of measurements for ultrasound parameters providing confidence in the measurement results at the international level are given.

Ключові слова: єдність вимірювань, метрологія, потужність, простежуваність, ультразвук.

Keywords: unity of measurement, metrology, power, traceability, ultrasound.

Забезпечення єдності вимірювань у країні, на що згідно із Законом України [1] спрямована, в основному, діяльність державної метрологічної служби, є головною умовою захисту громадян і національної економіки від недостовірних результатів вимірень. Так, наприклад, у сфері вимірювань характеристик ультразвуку, зокрема, мегагерцевого діапазону, який найширше використовують у медицині (терапії, хірургії, діагностиці), завищена потужність (інтенсивність) випромінювання може призвести до пошкодження органів і тканин тіла і отже створюється загроза здоров'ю й навіть життю пацієнта. За недостатньої ж потужності не досягається лікувального ефек-



В. Чалий



Т. Ільницька



І. Кізілівський

ту [2]. Тому потужність випромінюваного ультразвуку строго дозується, її необхідно точно вимірювати. Максимальна допустима похибка вимірювання (MPE) не повинна перевищувати $\pm 20\%$ [3], що вважається достатньо високою точністю для цього виду вимірювання. А результати вимірень мають бути порівнювані (включно зі встановленими нормами), визнаватися на національному та міжнародному рівнях та забезпечувати довіру до них [4]. І основним інструментом досягнення такої єдності на сьогодні (згідно з міжнародними нормативними документами [5–8]) вважається *простежуваність* результатів вимірень до еталонів системи одиниць SI.

КЛАСИЧНИЙ І НОВИЙ ПІДХОДИ В МЕТРОЛОГІЇ

На сьогодні в Україні метрологія базується на класичному підході (Classical Approach) до оцінювання якості результату вимірення — концепції «істинного значення». Для характеристики стану вимірювання, за якого громадяни і національна економіка убезпечені від недостовірних результатів вимірень, уживається термін «єдність вимірювань». У зарубіжних розвинених країнах, де прийнято новий підхід — концепцію «непевності»¹, з цією ж метою вживають термін «метрологічна простежуваність».

Україна (як й інші країни) відповідно до міжнародних угод зобов'язалася гармонізувати свої нормативно-правові документи, у тому числі з метрологією, з міжнародними. Деякі з них уже введено в дію. Паралельне існування двох різних підходів до оцінювання якості результатів вимірень значно утруднює сприйняття основних положень метрології й ускладнює ефективне застосування їх на практиці.

З точки зору теоретичної метрології кожна із зазначених вище концепцій ґрунтується на своїй методологічній базі, аксіоматика їх кардинально відрізняється. Таке еклектичне нагромадження вкрай заплутує і так не просту понятійно-термінологічну систему сучасної метрології й дезорієнтує метрологів (не лише практикуючих).

Існує думка, що проведення перевірки засобів вимірювань є одночасно і доказом простежуваності результатів вимірень, а також достатньою умовою досягнення довіри до них, у тому числі й на міжнародному рівні [10]. Чи відповідає це дійсності?

Тому дуже важливо дослідити співвідношення цих двох понять — єдності вимірювань і метрологічної простежуваності результату вимірення і про-

ілюструвати це на конкретному прикладі — припустимо на прикладі процесу створення системи метрологічного забезпечення вимірювання потужності ультразвуку у водному середовищі.

СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ ПОТУЖНОСТІ УЛЬТРАЗВУКУ

В Україні експлуатується великий парк ультразвукової медичної апаратури і кілька типів вимірювачів потужності ультразвуку, зокрема UPM-DT-10 (виробництва США), «ИМУ-Квант» (вітчизняного виробництва), створений за типом UPM, та вимірювачі потужності «ИМУТАП» і «ИМА-2» (виробництва Російської Федерації). Утім донедавна була повністю відсутня система метрологічного забезпечення ультразвукових вимірювань у водному середовищі, не було еталонів і повірочної схеми [11]. Придатність до застосування вимірювача потужності «ИМУ-Квант», наприклад, визначалася за відхиленням його показання від значення маси різноважка, встановлюваного на коромисло мішені. Тобто фактично контролювали лише один (хоча і важливий) компонент вимірювального каналу — електронні лабораторні терези. Надзвичайно складні гідро- і термодинамічний процеси випромінювання, поширення і взаємодії пружних ультразвукових хвиль з границями і твердою перешкодою (мішенню) насправді ігнорувалися. Й отже, не забезпечувалася простежуваність вимірювань до еталонів системи одиниць SI (Вт) — до опорного значення ключового зв'язування національних еталонів одиниці потужності ультразвуку, яке проводять під егідою Міжнародного Бюро з мір і вагів (BIPM) [12]. Переривався «безперервний» ланцюг калібрувань, утворювався розрив між одиницею потужності (Вт) та одиницею маси (кг).

Вимірювач потужності й частоти ультразвукових випромінювань терапевтичних апаратів портативний «ИМУТАП», відповідно до його експлуатаційної документації, повірявся за допомогою апаратів УЗ-терапії 1.01Ф та Forte Ultrasound, для контролю вихідних акустичних параметрів яких він і призначений. А це є прямим порушенням основних принципів простежуваності та побудови повірочних схем передавання одиниці вимірювання.

Виробники вимірювачів потужності декларують часом контраверсійні дані щодо їх метрологічних характеристик. Так, наприклад, похибки вимірювачів потужності ИМУ-Квант [13] і ИМУТАП [14] подаються такою двочленною формулою:

$$\delta(P) = (\alpha + \beta/P) \cdot 100\%, \quad (1)$$

де P — вимірювана потужність, Вт; α , β — коефіцієнти: $\alpha = 0,03$; $\beta = 0,05$ — для ИМУ-Квант (у робочому

¹ Термін «непевність» є синонімом до терміну «невизначеність», але перший точніше передає суть цього поняття [9].

діапазоні потужностей від 0,05 до 30 Вт); $\alpha = 0,05$; $\beta = 0,1$ — для ИМУТАП (у робочому діапазоні потужностей від 0,2 до 6 Вт).

Функціональні залежності (1) представлено для наочності на рис.1. Як видно, похибка на нижній межі заявленого діапазону 0,05 Вт у ИМУ-Квант перевищує 100 % і 55 % на межі 0,2 Вт у ИМУТАП. Максимально допустима похибка для робочих засобів такого типу згідно з повірочною схемою ЛПУ 10-01-2011 складає ± 20 %.

Зі збільшенням потужності похибка за гіперболічною залежністю (1) зменшується і на верхній межі діапазону вимірювання складає 3,2 % у ИМУ-Квант і 6,7 % у ИМУТАП, що є занадто оптимістичними оцінками, оскільки навіть національні еталони деяких розвинених країн мають нижчі характеристики точності (таблиця). Окрім того, відомо [15], що в дійсності зі збільшенням потужності (приблизно вище 10 Вт) точність дещо знижується внаслідок виникнення теплових конвекційних потоків (наприклад, за рахунок нагрівання ультразвукового перетворювача під час роботи) та акустичних потоків, пов'язаних із затуханням ультразвуку.

З метою досягнення необхідної точності в ИМУ-Квант слід, очевидно, підвищити клас використовуваних у його конструкції електронних терезів.

Вимірювач «ИМУТАП» не має метрологічної надійності: у рідині під мембраною виникає нестабільний повітряний пухирець, який порушує акустичний контакт між ультразвуковим випромінювачем і рідиною, і його не можна усунути. Замість дегазованої дистильованої води, рекомендованої міжнародним стандартом [15], використано іншу рідину, й її періодичну заміну конструкцією не передбачено. Мембрана між випромінювачем і мішенню

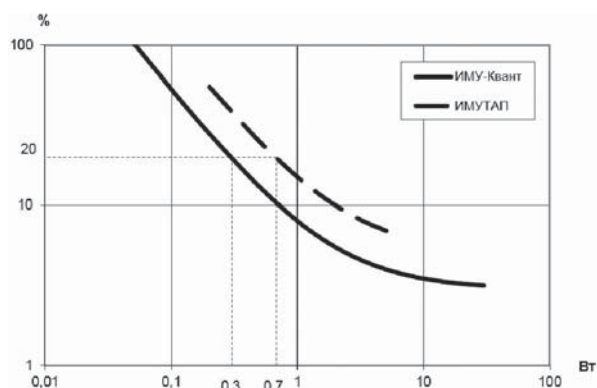


Рис. 1. Графік залежності похибки вимірювання потужності ультразвуку вимірювачами ИМУ-Квант та ИМУТАП (за формулою (1))

Fig. 1. Graph of dependence error measure power ultrasound Meters IMU-Quant and IMUTAP (on formula (1))

призводить до значного неконтрольованого згасання ультразвуку. Конструкцію погано пристосовано для транспортування. У результаті похибка вимірювання може перевищувати максимально допустиму в кілька разів, так само як і у вимірювача потужності ИМА-2. Фактично обидва ці прилади не придатні до застосування, вони, окрім того, не включені до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки.

Тому в ДП НДІ «Система» розроблено та введено в дію у 2011 році вихідний вторинний еталон одиниці потужності (Вт) ультразвуку у водному середовищі ВЕТУ 10-169-01-11 і локальну повірочну схему передавання одиниці потужності ультразвуку ЛПУ 10-01-2011 [11, 16, 17].

Уведенням в дію еталона й затвердженням повірочної схеми та інших нормативних документів, фактично створено в Україні першу чергу системи метрологічного забезпечення вимірювання основного параметра (потужності) ультразвукового випромінювання в мегагерцевому (так званому «медичному») діапазоні частот і отже досягнуто єдності вимірювань цього виду щонайменше на національному рівні.

ПОРІВНЯННЯ ТЕРМІНІВ

«ЄДНІСТЬ» І «ПРОСТЕЖУВАНІСТЬ»

На жаль, повірка засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) відповідно до повірочної схеми ще не гарантує єдності та визнання результатів вимірювань на міжнародному рівні [18, 19]. Згідно з міжнародними правилами [5–8, 18] для цього потрібно забезпечити простежуваність результатів вимірювань до еталонів системи одиниць SI.

Визначення поняття «єдність вимірювань», подане в [1], сформульовано ще в 60-ті роки минулого століття і достатньо застаріло [19]. Вимога, щоб «усі результати вимірювань подавалися в узаконених одиницях» включено до цього визначення з кон'юнктурних міркувань: на той час упровадження міжнародної системи одиниць SI було першочерговим завданням. На сьогодні цю проблему вирішено, і вона втратила актуальність. Друга умова, що «характеристики похибок відомі та із заданою імовірністю не виходять за встановлені межі», є декларативною та недосяжною. Оскільки похибки — величини випадкові, завжди лишається ймовірність виходу їх за встановлені межі.

Єдність вимірювань у технічному плані мала б досягатися за рахунок повірки ЗВТ відповідно до повірочних схем. Але метою повірки, як відомо, є визначення придатності ЗВТ до застосування за призначенням: необхідно встановити: «придатний» чи «непридатний» [19], і не вимагається досліджувати та документувати характеристики похибок під час повірки.

А це не узгоджується з рекомендаціями Декларації таких міжнародних організацій як BIPM, OIML, ILAC та ISO [18], значно послаблює вимоги до єдності вимірювань і фактично виключає отримання довіри на міжнародному рівні до результатів вимірень, отриманих за допомогою ЗВТ, що пройшли лише повірку.

Взагалі, єдність вимірювань — це, коли результат не залежить (у межах необхідної точності) від застосування іншого відповідного ЗВТ чи методу вимірювання, зміни оператора, місця або часу виконання вимірювання, інших компонентів вимірювального процесу, і його можна ефективно використовувати в практичній діяльності, не наражаючись на ризики.

Цілком очевидно, що для досягнення єдності всі ЗВТ однієї й тієї ж вимірюваної величини повинні зберігати один і той же розмір одиниці. Природний спосіб виконання цієї умови — відтворення одиниці одним вихідним еталоном із подальшим передаванням її розміру решті ЗВТ цієї величини. Такий властивості результату вимірення відповідає прийняте в міжнародній практиці поняття простежуваності результату вимірення [6, 8].

Відповідно до [6] метрологічна простежуваність — це властивість результату вимірення, відповідно до якої його можна пов'язати з основою для порівняння (тобто з дійсним значенням вимірюваної величини, відтвореної еталоном SI) через документований безперервний ланцюг калібрувань, кожне з яких дає свій внесок до непевності вимірювання. Метрологічна простежуваність вимагає наявності ієрархії калібрувань, через яку встановлюється ланцюг метрологічної простежуваності — тобто послідовність еталонів і калібрувань, які використовують для того, щоб пов'язати результат вимірення з еталоном SI.

Під час калібрування, як відомо [6], встановлюється співвідношення між значенням величини з непевністю вимірювання, яку забезпечує етalon, та відповідним показанням приладу (ЗВТ) з властивою йому непевністю.

Міжнародна організація ILAC вимагає, окрім того, для підтвердження метрологічної простежуваності наявності документованої методики вимірювання та оцінювання непевності вимірювання, акредитації на технічну компетентність і встановлення інтервалів між калібруваннями [8]. Це дає можливість розраховувати фактичну непевність усього ланцюга метрологічної простежуваності за документованою непевністю каліб-



Рис. 2. Ланцюг метрологічної простежуваності результату вимірення потужності випромінюваного ультразвуку

Fig. 2. The chain of metrological traceability of the measurement result of power of radiated ultrasound

рування на кожному етапі та зробити процес отримання результату вимірення максимально «прозорим».

ЛАНЦЮГ МЕТРОЛОГІЧНОЇ ПРОСТЕЖУВАНOSTІ ТА ЙОГО ОПТИМІЗАЦІЯ

Як приклад на рис. 2 для ілюстрації представлено розширені непевності кожного етапу ланцюга метрологічної простежуваності результату вимірення потужності випромінюваного ультразвуку. Розширену непевність опорного значення ключового звірення (KCRV), яка дорівнює 1,6 %, та національного первинного еталона (4,6 %) взято за даними останнього ключового звірення BIPM CCAUV.U-K3 як середні для всього діапазону частот і потужностей дев'яти національних еталонів країн-учасниць звірення (таблиця).

Як видно з рис. 2, для досягнення непевності вимірювання, яка б не перевищувала максимально допустимої похибки (MPE, що дорівнює 20 %), у країні, окрім вторинного, потрібно мати національний первинний етalon, оснащений, відповідно до зарубіжних аналогів, сучасною вимірювальною апаратурою

Таблиця. Характеристики точності національних еталонів розвинених країн за результатами ключового звірення CCAUV.U-K3

Table. Specifications Accuracy of national measurement standards of developed countries on the results of key comparisons CCAUV.U-K3

Найменування	Рівень потужності				Середнє
	дуже низький	низький	середній	високий	
Номинальна потужність, P, Вт	0,01	0,1	1	15	
Непевність:					—
• діапазон, %	від 2,9 % до 9,5 %	від 2,9 % до 8,7 %	від 2,8 % до 6,7 %	від 2,8 % до 5,9 %	
• середнє, %	5,2	5,1	3,6	4,4	4,6
KCRV	1,7	1,7	1,2	1,4	1,6

(в першу чергу, точним високочастотним вольтметром і підсилювачем потужності) і який міг би брати безпосередню участь у ключових звіреннях ВІРМ; додатковий елемент у ланцюгу метрологічної простежуваності — зарубіжний первинний еталон фактично подвоює непевність. Вихідний вторинний еталон, що бере одиницю вимірювання від зарубіжного первинного еталона за допомогою еталона-переносника, при цьому різко втрачає в точності.

Дійсно, модель вимірювання потужності ультразвуку у водному середовищі під час відтворення одиниці вимірювання на первинному еталоні описується таким рівнянням [16]:

$$P_n = c \cdot m \cdot g \cdot (1 - J_1(2ka) / ka) \times (1 - J_0^2(ka) - J_1^2(ka))^{-1} (1 + \Pi_R + \Pi_T + \Pi_H + \Pi_M); \quad (2)$$

$$k = 2\pi / \lambda; \lambda = c / f; \quad (3)$$

$$\Pi_T = \alpha \cdot \Delta T; \quad (4)$$

$$\Pi_R = \begin{cases} \pm [\beta + \gamma(\delta f - \delta f_0)], & \text{якщо } \delta f > \delta f_0, \\ \pm \beta, & \text{якщо } \delta f \leq \delta f_0, \end{cases} \quad (5)$$

де P_n — потужність випромінюваного ультразвуку; c — швидкість звуку у воді; m — еквівалентна маса (показання терезів в одиницях маси), еквівалентна радіаційній силі, що діє на мішень; g — прискорення сили земного тяжіння; $\Pi_R, \Pi_T, \Pi_H, \Pi_M$ — поправки відповідно: на зміщення резонансної частоти, відхилення температури від опорного значення, недосконалість мішені та бачка, методична; λ — довжина акустичної хвилі; f — частота збуджувального сигналу; ΔT — відхилення температури від опорного значення; δf — відносне зміщення резонансної частоти; α, β, γ — сталі: $\beta = 0,5 \%$, $\gamma = 7,3$ — для п'єзокерамічних ультразвукових випромінювачів, $\beta = 0,05 \%$, $\gamma = 80$ — для монокристалічних; $\alpha = \pm 0,2 \%$.

За результатами калібрування еталона-переносника під час передавання одиниці вимірювання від первинного еталона вторинному визначають електроакустичну провідність G :

$$G = P_n / V_n^2, \quad (6)$$

де V_n — напруга збудження під час калібрування на первинному еталоні.

Під час передавання одиниці потужності ультразвуку від вторинного еталона робочим еталонам випромінювана потужність дорівнює:

$$P_g = G \cdot V_g^2 \quad (7)$$

або, враховуючи (7):

$$P_g = P_n V_g^2 / V_n^2, \quad (8)$$

де V_g — напруга збудження під час калібрування на вторинному еталоні.

Із (8) випливає, що внесок до непевності вимірювання потужності під час передавання одиниці вимірювання робочому еталону, пов'язаному із вимі-

рюванням напруги збудження, є в $\sqrt{8}$ разів більшим самої непевності вимірювання напруги і може бути домінуючим у бюджеті непевності та навіть перевищувати максимально допустиму похибку.

Для досягнення необхідної точності за рахунок зменшення впливу непевності вимірювання напруги на кінцеву розширену непевність вимірювання потужності під час передавання одиниці вимірювання від первинного еталона вторинному і від останнього — робочим ЗВТ, необхідно непевність за умов відтворюваності перевести в непевність за умов повторюваності, яка є значно нижчою. З цією метою передбачено, що вимірювання на обох еталонах ланцюга метрологічної простежуваності проводить один і той же оператор тим самим вольтметром без зміни положення органів керування, за тих самих умов.


Отже, для підтримування необхідної точності та забезпечення довіри до результатів вимірень потужності випромінюваного ультразвуку не лише на національному, але й на міжнародному рівні необхідне подальше вдосконалення системи метрологічного забезпечення цього виду вимірювання в Україні та простежуваності результатів вимірень до еталонів системи одиниць SI. А для цього потрібно вторинний еталон ВЕТУ 10-169-01-11 перевести до рангу первинного, доукомплектувавши його сучасним підсилювачем потужності та прецизійним вольтметром, і розробити державну повірочну схему (ланцюг метрологічної простежуваності). Як робочі ЗВТ рекомендується використовувати вимірювачі потужності типу UPM-DT-10 та вдосконалений ИМУ-Квант.

ВИСНОВКИ

Проаналізовано два близьких поняття: «єдність вимірювань», яке вживається в концепції «істинного значення», і «метрологічна простежуваність», яке використовують у концепції «непевності». Вважається, що єдність вимірювань забезпечує довіру до результатів вимірення на національному і міжнародному рівнях. Насправді ж лише метрологічна простежуваність, яка ставить вищі вимоги до процесу вимірювання, забезпечує довіру до результатів вимірень і на міжнародному рівні.

За результатами проведеного аналізу на прикладі створення системи метрологічного забезпечення вимірювань потужності ультразвуку у водному середовищі показано шляхи досягнення необхідної точності та забезпечення простежуваності результатів вимірень до еталонів системи одиниць SI. Подано конкретні рекомендації щодо подальшого вдосконалення системи метрологічного забезпечення вимірювань параметрів ультразвуку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Закон України про метрологію та метрологічну діяльність. (Ukraine Law on Metrology and metrological activity)
2. Еняков А.М. Метрологическое обеспечение ультразвукового медицинского оборудования. — М: ВНИИФТРИ. (Enyakov A.M. Metrological provision of ultrasound medical equipment. — M: VNIIFTRI) — 2006. — 160 с/р.
3. IEC 61689:2007. Ultrasonics — Physiotherapy systems — Field specifications and methods of measurement in the frequency range 0,5 MHz to 5 MHz — Geneva: International Electrotechnical Commission, 2007. — 66 p.
4. Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes. — Paris, 14 October 1999.
5. ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (DSTU ISO/IEC 17025:2006 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories) — 26 с/р.
6. Международный словарь по метрологии и общие понятия и соответствующие термины. Пер.с англ.и фр., — СП НПО «Профессионал» (International vocabulary of metrology and general concepts and associated terms, — CP NPO «Professional»), — 2010. — 84 с/р.
7. ЕА-4/07М Прослеживаемость измерений и испытательного оборудования до национальных стандартов (EA-4 / 07M Traceability of measurement and test equipment to national standards.).
8. ILAC P10:01/2013 Политика ILAC по прослеживаемости результатов измерений (ILAC Policy on Traceability of Measurement Results). — <https://www.ilac.org/documents>.
9. Чалий В.П. Деякі філософсько-інтерпретаційні та прикладні аспекти концепції непевності у вимірюванні // Метрологія та прилади. (Chalyu V.P. Some philosophically-interpretative and applied aspects of the uncertainty concept in measurements. Metrology and Instruments) — 2011 p. — №4, С/Р. 3—10.
10. Крикун В.М., Ольховский А.Н., Ларионова Г.Е. Оценка прослеживаемости и неопределенности измерений при аккредитации испытательных лабораторий по ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025 (Krikun V.M., Olkhovskiy A.N., Larionov G.E. Evaluation of traceability and measurement uncertainty in the accreditation of testing laboratories, GOST R ISO/IEC 17025) — [www.sds-vr/f/files/MKV/4\(18\)krikun.pdf](http://www.sds-vr/f/files/MKV/4(18)krikun.pdf).
11. Чалий В.П., Ильницкая Т.М., Паракуда В.В., Кизливский И.Г. Создание в Украине материальной базы метрологического обеспечения измерения мощности ультразвука в мегагерцовом (медицинском) диапазоне частот в водной среде // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Метрология гидроакустических измерений». — Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», (Chalyu V.P., Ilnytska T.M., Parakuda V.V., Kizlivskiy I.G. Creation in Ukraine of the material base of metrological provision of power measurements of ultrasound in the megahertz (Medical) frequency in a water medium. All-Russian Scientific and Technical Conference «Metrology of hydroacoustic measurements» — Mendeleevo: FGUP «VNIIFTRI») — 2013. — С/Р. 265—272
12. Christian Koch and Klaus-Vitold Jenderka. (2014) Final report on key comparison CCAUV.U-K3 for ultrasonic power // Metrologia, 51 Tech. Suppl. 09001 — 75 p. http://www.bipm.org/utis/common/pdf/final_reports/AUV/U-K3/CCAUV.U-K3.pdf.
13. ТЮИГ.404721.001 РЭ Измеритель мощности ультразвука ИМУ-Квант. Руководство по эксплуатации. (TYUIG.404721.001 RE. Power Meter ultrasound IMU-Quant. Manual.) — 12 с.
14. ТШАУ 411519.009 РЭ Измеритель мощности и частоты ультразвуковых излучений терапевтических аппаратов портативный «ИМУТАП». Руководство по эксплуатации (TSHAU 411519.009 RE Power Meter and frequency of the ultrasonic radiation therapy devices portable «IMUTAP» Manual). — 13 с.
15. IEC 61161:2006. Ultrasonics — Power measurement — Radiation force balances and performance requirements — Geneva: International Electrotechnical Commission, 2006. — 97 p.
16. Чалий В., Ильницкая Т. Створення еталона одиниці потужності ультразвуку у водному середовищі // Метрологія та прилади. (Chalyu V., Ilnytska T. The creating of the measurement standard for ultrasound power unit in water medium. Metrology and Instruments) — 2012. — №3. — С. 16—25.
17. ЛПУ 10-01-2011. Метрологія. Локальна повірочна схема для засобів вимірювання потужності ультразвуку у водному середовищі. — К.: Держспоживстандарт України, 2011 (LPU 10-01-2011. Metrology. Local verification scheme for means of measuring power ultrasound in water medium. — K.: Derzhspozhivstandart of Ukraine, 2011).
18. Совместная Декларация МБМВ, МОЗМ, ИЛАК и ИСО о метрологической прослеживаемости 9 ноября 2011 г. (Joint BIPM, OIML, ILAC and ISO Declaration on metrological traceability, 9th November, 2011) — <http://www.vniim.ru/files/declaration-mbm-v-11.pdf>
19. Единство и прослеживаемость измерений (Unity and traceability of measurement) — http://metro.ru/HTML/metrology/vvedenie/obespechenie_EI.html 

Отримано / received: 26.08.2014.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Л.О. Кошевою (Україна).

Prof. L.O. Kosheva, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.

УДК 658.562

ОЦІНЮВАННЯ ПРИДАТНОСТІ (ВАЛІДАЦІЯ) ВИПРОБУВАЛЬНОГО УСТАТКОВАННЯ

А. Коробко, кандидат технічних наук, начальник відділу управління якістю навчання і стандартизації, доцент кафедри технології машинобудування і ремонту машин,
Ю. Тарасов, кандидат технічних наук, доцент кафедри,
В. Шеїн, асистент кафедри,
О. Костенко, аспірант кафедри,
Ю. Радченко, аспірант кафедри,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Викладено модель процесу оцінювання придатності (валідації) та верифікації випробувального устаткування (ВУ). Процедуру проведення валідації представлено з точки зору процесного підходу. Наведено стандартні операційні процедури валідації стенда для випробувань фрикційних пар.

In the article the model of assessment of suitability (validation) and verification of testing equipment. Set out a procedure for the validation of the test equipment from the point of view

of the process of the campaign. Operating procedures are given validation test bench for friction pairs. Validation and verification of test equipment are lengthy and expensive process. Proper organization of these activities requires the involvement of highly skilled experts, expensive equipment. Application Development validation and verification involves detailed knowledge of process and test equipment. The procedure for setting up experiments to determine the performance of precision and detail needs further study. 3 figure.

Ключові слова: валідація, оцінювання придатності, верифікація, випробувальне устаткування, процесний підхід, документація.
Keywords: validation, evaluation of suitability, verification, testing equipment, process hike, documentation.

Під час створення складних об'єктів, якими є об'єкти автомобільної техніки, важливе місце посідають процеси випробування і контролю, метою яких є підтвердження здатності об'єктів контролю виконувати задані функції в повному обсязі із заданими в нормативній документації показниками якості.

При цьому неухильно зростають вимоги до якості випробувальних стендів (ВС) і комплексів. Також підвищуються вимоги до способів оцінювання якості ВС, оскільки від цього залежить достовірність результатів випробувань і прийняття відповідних рішень щодо придатності виробів автомобільної техніки.

Одним із способів оцінювання якості ВС і комплексів є їх атестація і сертифікація, покликана гарантувати наявність у них певних, заздалегідь оголошених властивостей та якостей. При цьому висока вартість об'єктів випробувань, тривалість їх виго-

товлення, значні витрати на підготовку і проведення самих випробувань вимагають від випробувального обладнання гарантованого отримання достовірних і точних результатів.

Для проведення випробувань використовується велика кількість ВС і устаткування, від стану яких значною мірою залежить якість та ефективність проведених випробувань. Підтвердити, що результати випробувань, отримані на певному випробувальному обладнанні (ВО), достовірні, можна під час процесу валідації.

Валідація — це підтвердження, наданням об'єктивних доказів, що вимоги щодо конкретного передбаченого використання або застосування виконано [1]. Відповідно під терміном валідація (оцінювання придатності) ВО можна розуміти процес визначення повноти відповідності розробленого обладнання його функціональним призначенням та отримання документальних доказів того, що ВО дозволяє

стабільно отримувати результати із заданою точністю. Валідація ВО є одним із важливих елементів системи забезпечення якості в процесі виробництва продукції.

Процес валідації поширюється і на методики випробувань. В ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 [2] зазначено, що валідація вимог і прийнятих допущень є процесом, який гарантує, що вони є достатньо правильними (коректними) і повними, забезпечуючи відповідність вимогам. Процес підтримує розроблення вимог, що впливають із необхідності виконання функціональних завдань та забезпечення безпеки.

Найбільш застосовуваним процес валідації ВО є за створення засобів випробувань авіаційної та ракетно-космічної техніки. Так, у [3] з позиції системного підходу показано роль і місце випробувань у процесі створення наукоємних виробів. Також у [3] узагальнено модель формування похибок лабораторно-стендових випробувань виробів авіаційної та ракетно-космічної техніки і встановлено, що основну їх частку складають похибки ВС і комплексів.

У [4] розроблено основні принципи забезпечення якості ВО залежно від терміну його експлуатації та технічного стану, а також методики оцінювання (валідації) стендів для випробувань авіаційної техніки в процесі їх експлуатації, що відповідають вимогам [2].

Літературних джерел, присвячених створенню ВС різного призначення (в тому числі стендів для випробувань продукції автомобілебудівної промисловості), вкрай мало. А спеціальна література зі сертифікації та валідації ВУ взагалі майже відсутня.

Випробувальні стенди й устаткування, як і методики випробувань, перед їх застосуванням повинні проходити процес валідації, тобто потребується проведення їх оцінювання на можливість застосування за призначенням.

Метою статті є формулювання основних принципів валідації та верифікації ВО. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- розробити загальну модель процесів валідації та верифікації ВУ;
- показати можливість застосування розробленого процесу валідації під час оцінювання відповідності стенда для випробувань гальмівних механізмів дорожніх транспортних засобів.

1. ВАЛІДАЦІЯ ТА ВЕРИФІКАЦІЯ ВУ

Процес створення ВО складається із взаємодоповнювальних етапів планування—проектування—виробництва, а також верифікації та валідації — сер-

тифікації. Кожний етап розроблення — це складова частина всього процесу створення комплексу ВУ, результатом виконання якого є деякий проміжний продукт (технічна документація, програмне забезпечення ВУ, комплектуючі тощо). Ці продукти є вхідною інформацією для відповідного їм етапу верифікації й наступних етапів розроблення або доопрацювання на відповідних етапах створення ВУ.

Внаслідок складності процесу розроблення ВУ валідація зазвичай є багатоступінчастим процесом, що виконується на всіх етапах життєвого циклу, включаючи етап експлуатації. На кожному етапі заходи з валідації забезпечують зростаючу впевненість у правильності й повноті вимог. Цілями процесу валідації є перевірка правильності та повноти виконання вимог. Також завдання валідації полягає в запобіганні появі надлишкових функцій у розроблюваному ВУ.

Перевірка повноти і коректності вимог під час валідації може зажадати інженерної оцінки, проведення аналізу або випробування окремих елементів і компонентів ВУ. У більшості випадків у процесі проектування вводяться певні допущення, правильність яких не можна безпосередньо довести в момент їх використання. Допущення повинні бути ідентифіковані, а їх обґрунтованість повинна бути показана стосовно до конкретного елемента об'єкта проектування. Під час валідації цих прийнятих допущень доводиться, що вони точно викладені, відповідним чином розподілені й оцінені з використанням представлених даних.

Розглянемо валідацію з точки зору процесного підходу [5].

Взаємозв'язок процесу валідації ВУ з процесом його проектування показано на рис. 1.

Вхідна інформація процесу валідації може включати описання ВС, вимоги до архітектури програмного забезпечення блоків керування і автоматизованої системи управління стендом у цілому, рівень гарантії проектування. У плані валідації мають бути зазначені методи, що застосовуються під час валідації вимог до системи, і допущення.

За проведення валідації обов'язковим є наявність документального підтвердження вхідних вимог. Без наявності такої документації недопустимо проводити подальшу кваліфікацію ВУ. Обов'язковим є:

- конструкторські креслення, гідро- і пневмосхеми, електричні схеми;
- розрахунки на міцність, надійність тощо вузлів і елементів ВУ;
- документація (інструкції, креслення, сертифікати) на усі покупні вироби;

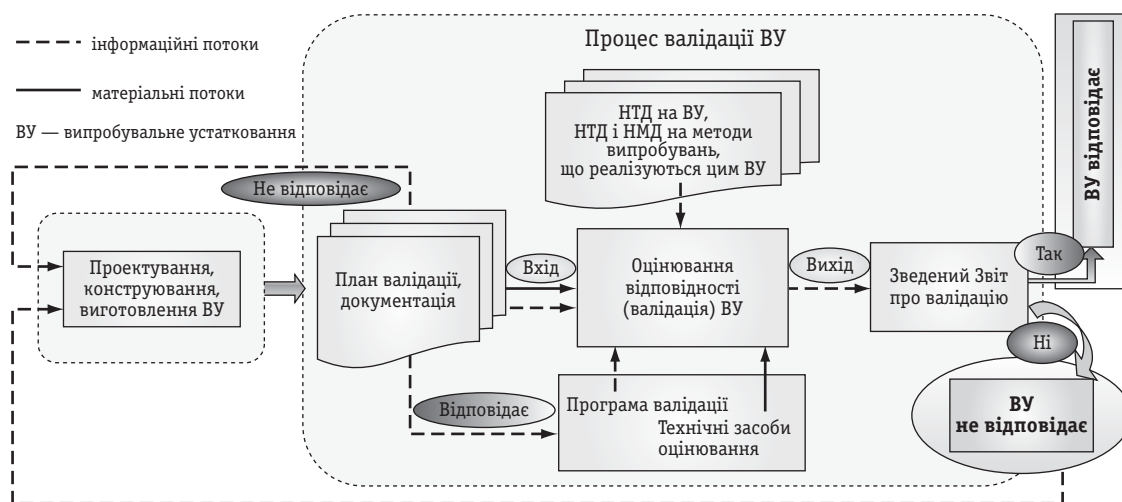


Рис. 1. Модель процесу валідації випробувального устаткування

Fig. 1. The model validation process testing equipment

- розрахунки фундаменту (для ВУ, яке встановлюється стаціонарно);
- документи на програмне забезпечення;
- список запасних частин і витратних матеріалів;
- список контрольно-вимірювальних приладів і документація на них (затвердження типу, свідоцтва метрологічної повірки, калібрування тощо);
- інструкція з експлуатації;
- інструкція з техніки безпеки за роботи з ВУ.

Після перевірки наявності зазначеної документації складається програма валідації. Ця програма повинна включати стандартні операційні процедури і форми звітних протоколів. У стандартних операційних процедурах містяться критерії прийнятності й послідовні кроки проведення випробувань ВУ. Програма валідації повинна розроблятися лише за наявності зазначеної вище документації. Зміст програми визначається конкретним призначенням ВУ та його особливостями. У загальному випадку документація стандартних операційних процедур повинна включати перевірку:

- правильності збірки і з'єднань елементів ВУ;
- герметичності пневмо- і гідросистем;
- вхідних і вихідних цифрових сигналів системи управління;
- калібрування засобів вимірювальної техніки;
- зворотних зв'язків системи управління;
- послідовності вмикання елементів ВУ за його роботи;
- систем звукової сигналізації, автоматичного блокування, роботи ВУ в аварійних ситуаціях.

Цей перелік може змінюватися або доповнюватися залежно від технічного завдання на ВУ.

Вихідною інформацією є зведений звіт (висно-

вок) з валідації ВУ. Цей звіт повинен гарантувати, що валідація проведена належним чином.

Під зовнішніми керувальними факторами розуміються вимоги нормативно-технічної документації (стандарти на методи випробувань, технічні умови на продукцію тощо), яким повинно відповідати ВУ, тобто умови навантаження об'єкта випробувань, які повинні створюватися ВУ.

Окрім валідації, ВУ повинно проходити процедуру верифікації, тобто підтвердження на основі об'єктивних даних того, що встановлені вимоги виконані [6].

Завдання верифікації ВУ – демонстрація відповідності комплексу устаткування технічним вимогам проекту.

У результаті верифікації ВУ підтверджується, що передбачені функції та вимоги з безпеки ВУ в цілому і до його комплектуючих виробів правильно/неправильно реалізовані.

Верифікацію ВУ доцільно проводити на трьох рівнях: розробника компонентів і комплектуючих, розробника ВУ в цілому, користувача (рис. 2). На рис. 2 наведено також приблизний перелік документації за результатами валідації.

Розробник компонентів і комплектуючих повинен оцінити реалізацію вимог відповідно до технічного завдання на розроблення. Таке оцінювання проводиться за участі розробника ВУ. Оцінювання проводиться як на окремому етапі проектування, так і на ВУ в цілому.

Розробник сумісно із замовником проводить валідацію ВУ, експериментальну перевірку методики випробування, перевіряє функціонування ВУ в цілому. На рівні розробника проводиться його атестація і сертифікація.

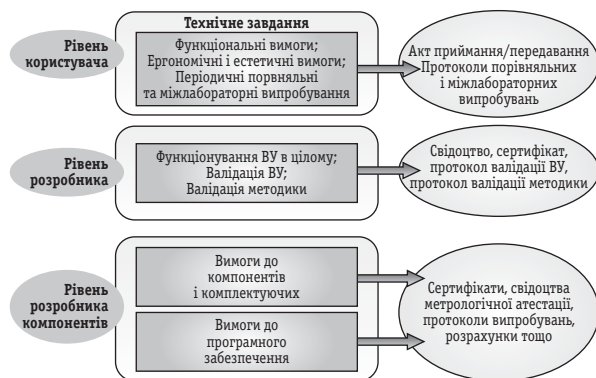


Рис. 2. Рівні верифікації ВУ і звітна документація

Fig. 2. Levels of verification clause and reports

На рівні користувача проводиться підконтрольна експлуатація. Перевіряються показники ергономічності. Періодично проводяться оцінювання точності (правильності та прецизійності) результатів, отриманих на певному ВУ [7], міжлабораторні порівняльні випробування. Також на цьому рівні оцінюються естетичні показники (вимоги до дизайну). Для ВУ, що виготовляється серійно, замовник передає дані щодо його функціонування розробнику для удосконалення.

Кількість технічних перевірок і критерії їх прийнятності визначаються розробником ВУ спільно з постачальниками (розробниками) компонентів (комплектуючих виробів) в рамках конкретного проекту, а також організаціями, що проводять атестацію та сертифікацію.

2. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИКИ ВАЛІДАЦІЇ ВУ

У Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті спроектовано унікальний універсальний інерційний стенд для випробування фрикційних пар гальмівних механізмів автомобілів категорії M1, M2 [8]. Методика випробувань останніх на розробленому стенді повною мірою відповідає вимогам ДСТУ UN/ECE R90-01:2005 [9]. Унікальність та універсальність полягає в такому:

* можливості проведення випробувань фрикційних пар гальмівних механізмів автомобілів категорії M1, M2 (великий діапазон швидкостей і маси);

* розробленні методики випробувань, що моделює реальні умови руху автомобіля, в тому числі й сили опору.

Перелік операційних процедур валідації наведено на рис. 3.

Перевірка монтажу й функціонування — це процедури, які детально описано в експлуатаційній документації.



Рис. 3. Операційні процедури валідації стенда для випробувань фрикційних пар

Fig. 3. Operational procedures for the validation test bench for testing friction pairs

Особливостями етапу постановки експерименту з оцінювання точності є таке:

- оскільки стенд є принципово новим і універсальним, для методу випробувань на ньому відсутній еталон, що задовольняє вимогам;
- лабораторії, які залучаються до експерименту, повинні мати випробувальні стенди у всьому діапазоні вимірюваних параметрів на розробленому стенді;
- у ході внутрішньолабораторного експерименту повинні оцінюватися фактори: «час» і «оператор»;
- кількість повторних випробувань повинна бути не меншою семи. Це необхідно для статистичного опрацювання за допомогою контрольних карт Шухарта, впливу різних факторів [10].

У разі виявлення невідповідностей на будь-якому етапі валідації складається відповідний акт з детальною їх ідентифікацією. Можливість продовження робіт із валідації після виявлення невідповідностей визначається комісією з умови забезпечення безпеки життєдіяльності. Після цього проводяться роботи щодо усунення невідповідностей і повторна валідація.

ВИСНОВКИ

Валідація та верифікація ВО є довготривалим і дороговартісним процесом. Належна організація проведення цих робіт вимагає залучення висококваліфікованих спеціалістів, а також дороговартісних приладів і апаратури. Розроблення програм валідації та верифікації передбачає детальне знання процесів і ВУ.

Процедура постановки експерименту з визначення показників точності потребує подальшої деталізації й вивчення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Системи управління якістю. Основні положення і словник термінів: ДСТУ ISO 9000:2007 (ISO 9000:2007, IDT). — [Чинний від 2007-07-01]. К.: Держспоживстандарт України (Sistemi upravlinnja jakistju. Osnovni polozhennja i slovnik terminiv: DSTU ISO 9000:2007 (ISO 9000:2007, IDT). — [Chinnij vid 2007-07-01]. K.: Derzhspozhivstandart Ukraïni), 2007. — VI, 26 с/р. — (Національний стандарт України).
2. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій: ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 (ISO/IEC 17025:2005, IDT). — [Чинний від 2007-07-01]. К.: Держспоживстандарт України (Zagal'ni vimogi do kompetentnosti viprobuval'nih ta kalibruval'nih laboratorij: DSTU ISO/IEC 17025:2006 (ISO/IEC 17025:2005, IDT). — [Chinnij vid 2007-07-01]. K.: Derzhspozhivstandart Ukraïni), 2007. — VI, 26 с/р. — (Національний стандарт України).
3. Александровская Л.Н. Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем / Л.Н. Александровская, В.И. Круглов, А.М. Шолом. — М.: Логос (Aleksandrovskaja L.N. Teoreticheskie osnovy ispytanij i jeksperimental'naja otrabotka slozhnyh tehniceskikh sistem / L.N. Aleksandrovskaja, V.I. Kruglov, A.M. Sholom. — M.: Logos), 2002. — 748 с/р.
4. Мосин Н.С. Разработка методики управления качеством испытательного оборудования в процессе эксплуатации: дис. кандидата техн. наук: 05.02.23 / Мосин Николай Сергеевич (Mosin N. S. Razrabotka metodiki upravlenija kachestvom ispytatel'nogo oborudovaniya v processe jekspluatatsii: dis. kandidata tehn. nauk: 05.02.23 / Mosin Nikolaj Sergeevich). — М., 2010. — 142 с/р.
5. Системи управління якістю. Вимоги: ДСТУ ISO 9001:2009 (ISO 9001:2008, IDT). — [Чинний від 2009-09-01]. — К.: Держспоживстандарт України (Sistemi upravlinnja jakistju. Vimogi: DSTU ISO 9001:2009 (ISO 9001:2008, IDT). — [Chinnij vid 2009-09-01]. — K.: Derzhspozhivstandart Ukraïni), 2009. — VIII, 28 с/р. — (Національний стандарт України).
6. Федюкин В. К. Основы квалиметрии. Управление качеством продукции. Учебное пособие / В.К. Федюкин. — М.: Информационно-издательский дом «Филинъ» (Fedjukin V.K. Osnovy kvalimetrii. Upravlenie kachestvom produkcii. Uchebnoe posobie / V.K. Fedjukin. — M.: Informacionno-izdatel'skij dom «Filin'»), 2004. — 296 с/р.
7. Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювань. Частина 1. Основні положення та визначення: ДСТУ ГОСТ ISO 5725.1:2005 (ISO 5725.1, IDT). — [Чинний від 2006-07-01]. — К.: Держспоживстандарт України (Tochnist' (pravil'nist' i precizijnist') metodiv ta rezul'tativ vimirjuvan'. Chastina 1. Osnovni polozhennja ta viznachennja: DSTU GOST ISO 5725.1:2005 (ISO 5725.1, IDT). — [Chinnij vid 2006-07-01]. — K.: Derzhspozhivstandart Ukraïni), 2006. — 31 с/р. (Національний стандарт України).
8. Пат. 72709 Україна, МПК В 60 Т 17/22 (2006.01). Універсальний стенд для випробування фрикційних пар гальмівних механізмів / Подригало М.А., Алюкса М.М., Тарасов Ю.В., Коробко А.І., Бері Р.В., Шеїн В.С., Кравцов М.С.; заявник Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Pat. 72709 Ukraïna, MPK B 60 T 17/22 (2006.01). Universal'nij stend dlja viprobuvannja frikciynih par gal'mivnih mehanizmv / Podrigalo M.A., Al'oksa M.M., Tarasov Ju.V., Korobko A.I., Beri R.V., Shein V.S., Kravcov M.S.; zayavnik Harkivs'kij nacional'nij avtomobil'no-dorozhnij universitet). — № у 2012 01920; заявл. 20.02.12; опубл. 27.08.12, Бюл. № 16.
9. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження змінних гальмових накладок у зборі і гальмових накладок барабанних гальмових механізмів колісних транспортних засобів та їхніх причепів: ДСТУ UN/ECE R 90-01:2005 (UN/ECE R 90-01:2001, IDT). — [Чинний від 2006-07-01]. — К.: Держспоживстандарт України (Єдині технічні приписи shhodo oficijnogo zatverdzhennja zminnih gal'movih nakladok u zbori i gal'movih nakladok barabannih gal'movih mehanizmv kolisnih transportnih zasobiv ta ihnih prichepiv: DSTU UN/ECE R 90-01:2005 (UN/ECE R 90-01:2001, IDT). — [Chinnij vid 2006-07-01]. — K.: Derzhspozhivstandart Ukraïni), 2007. — IV, 29 с. (Національний стандарт України).
10. Статистичні методи. Контрольні карти Шухарта: ДСТУ ISO 8258:2001 (ISO 8258-91, IDT). — [Чинний від 2003-07-01]. — К.: Держспоживстандарт України (Statistichni metodi. Kontrol'ni karti Shuharta: DSTU ISO 8258:2001 (ISO 8258-91, IDT). — [Chinnij vid 2003-07-01]. — K.: Derzhspozhivstandart Ukraïni), 2003. — IV. — 26 с. (Національний стандарт України). ■

Отримано / received: 07.07.2014.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. А. Т. Лебедевим (Україна).
 Prof. A. T. Lebedev, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.

УДК 621.128

ОЦІНКА СТУПЕНЯ ДОВІРИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ СПАЛЮВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

О. Заболотний, кандидат технічних наук, доцент,

М. Сухобрус, аспірант,

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Україна

Описано процес дослідження методу спалювання газу з додаванням водяної пари. Метод спрямований на подавлення утворення оксидів азоту за спалювання природного газу, з іншого боку, у потенціалі здатний заощаджувати паливо. Останній аспект майже не представлено в літературі й погано вивчено. Авторами проведено пошуковий експеримент, де порівнюються за ефективністю класичний варіант спалювання газу й варіант із додаванням пари. Експеримент проводився на побутовому водогрійному котлі, доповненому парогенератором (рис. 1). Результати у виді декількох кривих на графіку (рис. 2), розділених за режимами подавання газу, підтверджують висловлену теорію. Великий вплив мають пропорції газу, що спалюється, і пари, що вводиться. Достовірність результатів оцінено, виходячи з невизначеностей використовуваного устаткування, й склала 14,2 %. На думку авторів, метод має перспективи розвитку як на побутових котлах, так і на великих котлах значної потужності.

The article describes research process the method of gas burning with addition of water vapor. The method is aimed on reduction the nitrogen oxide formation during the natural gas combustion on the other hand potentially able to save fuel. Last aspect hardly disclosed in the literature and poorly understood. The authors conducted the search experiment which compares efficiency of the classic version by gas burning and the option of steam addition. Experiment was performed on a domestic boiler which supplemented with a steam generator (fig. 1). Results in the form of several curves on the graph (fig. 2) divided by modes of gas supply confirms the theory. Big impact plays proportions of flared gas and injected steam. Reliability of the results was evaluated based on the used equipment error and it was 14,2 %. According to authors the method has both the prospects for development on domestic boilers and high power boilers.

Ключові слова: спалювання газу, метод, водяна пара, водогрійний котел, пошуковий експеримент, достовірність.
Keywords: burning of gas, method, steam, boiler, search experiment, reliability.

Незважаючи на те, що природний газ є найчистішим органічним паливом, за його спалювання утворюється вуглекислий газ й оксиди азоту (NO_x). Викиди останніх в атмосферу строго обмежуються в силу їх шкідливих властивостей. У процесі горіння їх генерація відбувається за декількома механізмами: розрізняють «термічні», «паливні» й «швидкі» оксиди. Термічний механізм (механізм Зельдовича) припускає утворення молекул NO із молекулярного азоту повітря за температури, вищої 1300°C , при цьому швидкість утворення збільшується з підвищенням температури й прямо пропорційна як концентрації азоту, так і часу перебування продуктів згоряння в зоні горіння [1]. Таким механізмом генерується основна маса оксидів азоту за спалювання природного газу.

Відома достатня кількість заходів щодо боротьби з утворенням NO і NO_2 : упорскування водяної пари, спалювання палив з малими надлишками повітря, рециркуляція продуктів згоряння, багатоступінчасте спалювання [2] тощо. Усі вони спрямовані або на зниження максимальної температури в зоні горіння, або на скорочення часу перебування реагентів у цій зоні. Відомі способи зниження викидів перебувають у компромісі між ускладненням техпроцесу (керуванням процесом) і зниженням коефіцієнта корисної дії. Метод упорскування води або уведення водяної пари до зони горіння [3,4] ефективно подавляє утворення оксидів азоту, однак, окрім



О. Заболотний



М. Сухобрус

цього, здатний і підвищити ефективність використання газоподібного палива — у силу того, що спосіб вивчено не повною мірою, ця сторона питання раніше майже не зачіпалася.

Авторами проведено пошуковий експеримент, метою якого було дослідити описаний вище метод. Він полягав у такому: в лабораторних умовах на похідній газовій плиті «Турист» проводилося нагрівання води від кімнатної температури до температури кипіння. При цьому до зони горіння в різних пропорціях вводився струмінь холодної пари від парогенератора. Результати показали, що додавання вологи може зменшити час нагрівання ємності з водою. Достовірність отриманих результатів не оцінювалася, та й лабораторні умови мали мало спільного з реальним процесом перетворення енергії. Однак, виявлені позитивні залежності слугували приводом для проведення детальних досліджень із більш високою точністю й за умов реально використовуваного устаткування — побутового газового водогрійного котла. Сам же ефект пояснюється в такий спосіб. По-перше, паро-повітряна суміш має більшу теплопровідність порівняно з повітрям і сприяє кращому перенесенню тепла від факела до тіла нагрівання. По-друге, волога, що вводиться до зони горіння у виді дрібніших крапельок, є додатковим джерелом кисню, водню й вільного радикалу ОН. Паливо, збагачене киснем і воднем, згоряє з виділенням додаткової енергії, що компенсує витрати на випаровування і дисоціацію води. Окрім того, факел суттєво збільшується в об'ємі, що призводить до збільшення площі поверхні нагрівання.

Метою дослідження є визначення того, чи отримані експериментальні результати стосовно скорочення часу нагрівання фіксованого об'єму води на однаковий градієнт температур за додавання водяної пари порівняно з вихідним газоподібним паливом мають достатньо високий ступінь довіри.

Технічне забезпечення пошукового експерименту підбиралося так, щоб добитися найближчого збігу з умовами, за яких можна реалізувати проект і впровадити метод спалювання газу з додаванням водяної пари. За основу взято водогрійний котел Протон-3 (рис. 1, 1) номінальною теплопродуктивністю 17 кВт. Апарат відрізняється простотою конструкції й відсутністю відповідної автоматики, яка може впливати на процес горіння, отже, керування здійснюється в ручному режимі. Не зачіпаючи теплообмінник, у котлі зроблено прямокутні прорізи для спостереження за полум'ям. Водяний контур утворено пластмасовою ємністю об'ємом 50 л і відцентровим електронасосом Aquatechnica Eco 40, потужності якого достатньо для перекачування води через ко-



Рис. 1. Експериментальний стенд: 1 — водогрійний котел Протон — 3; 2 — ємність з водою; 3 — електронасос; 4 — парогенератор

Fig. 1. Experimental setup: 1 — boiler Proton — 3; 2 — water tank; 3 — electric pump; 4 — steam generator

тел. Пара виробляється побутовим ультразвуковим зволожувачем повітря фірми SCARLETT з можливістю дискретного регулювання витрати води на пароутворення від 0 до 360 мл/год. Пара подавалася через спеціальний подовжувач знизу вгору за напрямком подавання газу. Як паливо використовувався зріджений газ (пропан-бутанова вуглеводнева суміш), який подавався через балонний редуктор БПО-5-5 (найбільша пропускна здатність 5 м³/год).

У процесі планування пошукового експерименту виділено режими подавання газу (0,1, 0,12, 0,16 МПа — об'єм подаваного на спалювання газу оцінювався за тиском на редукторі) і ряд точок витрати води на парогенераторі (від 0 до 241 мл/год із кроком у 23,75 мл/год). Об'єм води в баку, швидкість переміщення (напір) води залишалися постійними, як і діапазон температури нагрівання води — основний оцінюваний параметр (від 60 до 80 °С). Температура води на виході з котла вимірювалася вбудованим у котел термометром.

Експеримент проводився циклічно у кілька етапів. На першому етапі задавалася перша точка за режимом газу (0,1 МПа), запускався насос, проводилося розпалювання пальника, вода циркулювала в закритому об'ємі й поступово нагрівалася. У момент, коли на термометрі стрілка перетинала 60 °С, запускався таймер. За нагрівання води до 80 °С таймер вимикався. У такий спосіб першим кроком кожного етапу реалізовано класичний варіант спалювання газу (за виключеного парогенератора). Далі гаряча вода замінювалася на воду вихідної температури того ж об'єму, проганялася через насос, теплообмінник, і температура всіх поверхонь поступово наближалася до вихідної. У наступному циклі всі дії повторювалися у тому ж порядку, а до них додавалося

включення парогенератора на перший режим роботи (витрата пари 23,75 мл/год за шкалою на ручці задання режиму роботи парогенератора). Коли дослідження на всіх режимах роботи парогенератора (до 241 мл/год) було проведено, переходили до другого етапу — збільшували подавання газу до 1,2 МПа (тиск на редукторі).

За спостереженнями за факелом полум'я (рис. 2.) можна сказати, що він змінюється у передбачуваний спосіб — збільшується в об'ємі й витягується вгору за введення пари. За введення пари збоку або в більших кількостях спостерігається плутаність факела, що є негативним явищем.

Результати дослідження краще представити у виді графіків (рис. 3.). Добре видно, як різна кількість вологи, що вводиться, скорочує або збільшує час нагрівання води. Перша точка (витрата пари — 0 мл/год) відповідає звичайній роботі водогрійного котла, наступні — концентрації, що поступово збільшуються, введеної вологи. На кривих графіка можна простежити певні залежності. Широкий діапазон перепадів значень спостерігається на нижній кривій, відповідній до найбільшої витрати газу (крива відзначена синім кольором). Тут прослідковується тенденція зниження часу нагрівання води зі збільшенням кількості подаваної пари, при цьому виділений оптимум пропорції на точці, відповідній до подавання пари 118,8 мл/год. На верхній кривій графіка, відповідній до мінімального подавання газу, також спостерігається позитивний ефект, при цьому оптимум перебуває на низьких режимах роботи парогенератора. Із цього можна зробити такий висновок: для досягнення максимального ефекту від уведення пари до зони горіння необхідно подавати газ і пару на спалювання у повній пропорції, яка визначається за кривими (рис. 3) для кожного режиму витрати газу. Серйозне відхилення від оптимальної пропорції знижує ефективність спалювання газу.

Для оцінки ступеня довіри до отриманих даних проведемо оцінку достовірності результатів. Скористаємося формулою визначення витрати палива на котел [5]:

$$B = \frac{G \cdot c \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{Q \cdot \eta}, \quad (1)$$

де G — витрата мережної води через котел, кг/с; c — теплоємність води, кДж/(кг·К); θ_1 і θ_2 — температури води на вході й виході з котла, К; Q — нижча теплота згоряння палива на суху масу, кДж/м³; η — коефіцієнт корисної дії водогрійного котла.

Час нагрівання води в нашому випадку залежить від кількості води в контурі, її початкової й кінцевої температур, витрати палива на спалювання й ефекту

від уведення пари в топку. У ході експерименту температури води на вході й виході постійно змінювалися, сам процес мав перехідний характер. Формула ж розрахована на встановлений (стаціонарний) режим. За аналогією, що час нагрівання води в одному діапазоні температур за тією ж залежністю зміниться в більш широкому діапазоні, замінимо у формулі величину витрати мережної води на відношення загальної кількості води в контурі до часу нагрівання певної кількості води на температуру від 20 до 80 °С. У такий спосіб ми використовуємо відомі нам початкову й кінцеву температури води (аналог температури на вході й виході з котла) і об'єм палива, необхідного для нагрівання цієї води. Перетворимо формулу, відповідно до умов нашого експерименту, отриманих залежностей й використовуваних величин:

$$P \cdot (0,0023 + B_{\text{пара}}) = \frac{G \cdot c \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{Q \cdot \eta \cdot t}, \quad (2)$$

де P — тиск газу, МПа; $B_{\text{пара}}$ — коефіцієнт, обчислений з урахуванням впливу введення пари на ефективність спалювання палива; G — кількість води, що нагрівається, в контурі, кг; θ_1 і θ_2 — початкова й кінцева температура води, °С; t — час нагрівання води, с.

Величину витрати палива на котел представляємо як добуток тиску газу, вимірюваного за манометром на виході з балона, на спеціальний коефіцієнт, обчислений, виходячи із характеристик манометра (найбільша пропускна здатність дорівнює 5 м³/год за максимального тиску на виході 0,3 МПа).



Рис. 2. Вид факела за різних режимів
Fig. 2. View of the torch in different modes

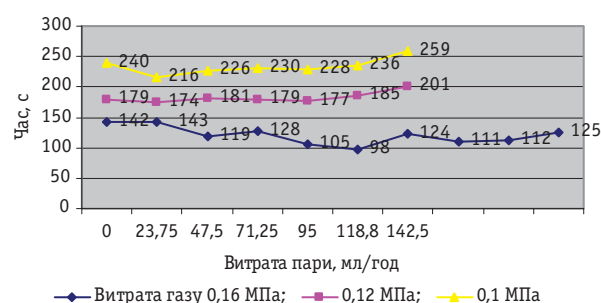


Рис. 3. Графік часу нагрівання води від 60 до 80 °С
Fig. 3. The graph of time by water heating from 60 to 80 °С

Ефект від уведення пари в топку враховуємо в цьому ж додатку шляхом додавання коефіцієнта $B_{\text{пари}}$, обчислення якого виконаємо з найбільш показовим результатом із рис. 3 (нижня крива). Коефіцієнт обчислимо, як частку від середнього значення часу нагрівання з додаванням пари (118 с) та першою точкою на кривій (142 с), і пропорційно перетворимо на величини, відповідні витраті газу.

Виразимо час нагрівання води:

$$t = \frac{G \cdot c \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{P \cdot (0,0023 + B_{\text{пара}}) \cdot Q \cdot \eta} \quad (3)$$

Розрахунково визначимо час нагрівання 24 л води від 20 до 80 °C за тиску на манометрі 0,16 МПа:

$$t = \frac{24 \cdot 4,183 \cdot (80 - 20)}{0,16 \cdot (0,0023 + 0,00046) \cdot 104975 \cdot 0,83} = 156,5 \text{ с.} \quad (4)$$

Виділяємо невизначеності від технічних засобів і ЗВТ. Під час проведення досліджень їх джерелами є манометр, термометр, парогенератор, а також зміна кількості води в баку. Оцінимо значення цих невизначеностей.

Манометр має діапазон вимірювання 0...0,6 МПа, клас точності 2,5.

Обчислюємо розширену невизначеність [6]:

$$U(P) = \frac{\gamma \cdot P_n}{100} = \frac{2,5 \cdot 0,6}{100} = 0,015 \text{ МПа.} \quad (5)$$

Шкала термометра має ціну поділки 2 °C. Клас точності не зазначено.

Уважаємо, що результат вимірення температури може міститися в інтервалі $(\Delta\theta \pm 1)$ °C з імовірністю, рівною одиниці (± 1 °C — половина ціни поділки). Результат вимірення може перебувати в будь-якому місці цього інтервалу, тобто має рівномірний розподіл.

Виразимо стандартні невизначеності:

$$U(\theta_1) = U(\theta_2) = \Delta\theta / \sqrt{3} = 2 / \sqrt{3} = 1,15^\circ\text{C.} \quad (6)$$

Кількість води, що нагрівається, визначається не точною заповнення бака й можливими втратами води в ході експериментальних досліджень (випаровування, розливання тощо). $U(G) = \pm 0,5$ кг.

Джерелом насиченої водяної пари є побутовий зволожувач повітря фірми SCARLETT (рис. 1). З метрологічних характеристик є лише діапазон витрати пари (0...360 мл/год) і ціна поділки шкали (23,75 мл/год). Тому невизначеність витрати пари виразимо аналогічно невизначеності вимірювання температури. Інтервал невизначеності витрати пари становить 23,75 мл/год, з рівномірним розподілом, отже, стандартна невизначеність

$$U(B_{\text{пара}}) = \Delta B_{\text{пара}} / \sqrt{3} = 23,75 / \sqrt{3} = 13,72 \text{ мл/год.} \quad (7)$$

Вираз для сумарної невизначеності вимірювання часу нагрівання отримуємо на основі рівняння зв'язку відповідно до методики опрацювання резуль-

татів непрямих вимірювань [8]:

$$U(t) = \sqrt{\left(\frac{\partial t}{\partial G}\right)^2 \cdot U^2(G) + \left(\frac{\partial t}{\partial \theta_1}\right)^2 \cdot U^2(\theta_1) + \left(\frac{\partial t}{\partial \theta_2}\right)^2 \cdot U^2(\theta_2) + \left(\frac{\partial t}{\partial P}\right)^2 \cdot U^2(P) + \left(\frac{\partial t}{\partial B_{\text{пара}}}\right)^2 \cdot U^2(B_{\text{пара}})}$$

де $U(G)$ — невизначеність від об'єму води, кг; $U(\theta_1)$, $U(\theta_2)$ — невизначеності термометра за увімкнення й вимикання секундоміра, °C; $U(P)$ — невизначеність манометра, МПа; $U(B_{\text{пара}})$ — невизначеність парогенератора.

Для зручності запису обчислимо доданок від кожної невизначеності окремо. Позначимо через A і обчислимо доданок з невизначеністю від об'єму води:

$$A = \left(\frac{4,183 \cdot (80 - 20)}{0,16 \cdot (0,0023 + 0,00046) \cdot 104975 \cdot 0,83} \right)^2 \times 0,5^2 = 10,6. \quad (8)$$

Позначимо через B і C та обчислимо доданки з невизначеностями термометра за увімкнення та вимикання секундоміра:

$$B = \left(-\frac{24 \cdot 4,183}{0,16 \cdot (0,0023 + 0,00046) \cdot 104975 \cdot 0,83} \right)^2 \times 1,15^2 = 8,9$$

$$C = \left(\frac{24 \cdot 4,183}{0,16 \cdot (0,0023 + 0,00046) \cdot 104975 \cdot 0,83} \right)^2 \times 1,15^2 = 8,9 \quad (9)$$

Позначимо через D і E та обчислимо доданки з невизначеностями манометра та парогенератора:

$$D = \left(-\frac{24 \cdot 4,183 \cdot (80 - 20)}{0,16^2 \cdot (0,0023 + 0,00046) \cdot 104975 \cdot 0,83} \right)^2 \times 0,015^2 = 215$$

$$E = \left(-\frac{24 \cdot 4,183 \cdot (80 - 20)}{0,16 \cdot (0,0023 + 0,00046)^2 \cdot 104975 \cdot 0,83} \right)^2 \times 0,00028^2 = 253 \quad (10)$$

Обчислимо сумарну невизначеність:

$$U(t) = \sqrt{A + B + C + D + E} = 22,3 \text{ с.} \quad (11)$$

Для нагрівання 24 л води на 60 °C невизначеність склала 22,3 с або 14,2 %.

Розрахувавши сумарну невизначеність від засобів вимірювань (яка не повинна перевищувати 14,2 %), можемо зробити висновок, що ступінь довіри до отриманих даних достатньо висока, враховуючи число факторів, що впливають на результат. Отримані залежності відбивають очікувану динаміку зміни часу нагрівання води від пари що вводиться. Зворотний результат малоймовірний, однак, можливий за найбільш несприятливого стікання відхилень вимірюваних параметрів.

Підвищити точність результатів у цьому випадку можна за рахунок застосування більш досконалого встаткування.

ВИСНОВКИ

Результати проведеного пошукового експерименту свідчать, що спосіб спалювання газу з упорскуванням води або введенням водяної пари до зони горіння є не лише одним із екологічних заходів, а може розглядатися як спосіб економії енергоресурсів. Разом з тим сильний вплив на результат має дотримання пропорції газу, що спалюється, і водяної пари. Таку пропорцію

можна визначити за отриманими залежностями.

Щодо ступеня довіри до результатів дослідження свідчить проведений розрахунок сумарної невідомості використовуваних засобів вимірювання.

Дослідження можуть слугувати поштовхом до розвитку такого методу спалювання газу, його застосування можливе як на побутових котлах, так і на великих котлах значної потужності, що перспективніше.

У рамках проекту з дослідження описаного способу спалювання автори займаються розроблянням автоматичної системи керування таким техпроцесом. Раніше опубліковані наявні розроблення для реалізації системи — первинні перетворювачі [9,10].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Абрамов А.И. Повышение экологической безопасности тепловых электростанций: Учебн. Пособие для вузов / А. И. Абрамов, Д. П. Елизаров, А.Н. Ремезов и др.; Под ред. А.С. Седлова. — М.: Издательство МЭИ (Abramov A.I. Greening the thermal power plants: Textbook for universities / A. I. Abramov, D. P. Elizarov, A.N. Remezov etc.; Edited by A.S. Sedlov. — М.: MEI Publishing house). — 2001. — 378 с/р.
2. Жуйков А.В. Снижение оксидов азота в топках котлов / А.В. Жуйков // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии (Ghuikov A.V. Reducing Nitrogen Oxides in the Boiler Furnaces / A.V. Ghuikov // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. — Krasnoyarsk). — 2011. — №6. — с/р. 620-628.
3. Кормилицын В. И. Экологические аспекты при сжигании водотопливных эмульсий и увлажненного газа / В. И. Кормилицын, М. Г. Лысков, А. А. Румынский // Менеджер-Эколог (Kormilitsyn V.I. Ecological aspects of the combustion of water-fuel emulsions and humidified gas / V.I. Kormilitsyn, M.G. Lyskov, A.A. Rumynskij // Manager ecologist.). — 2006. — № 9. — с/р. 35 — 38.
4. Сигал А.И. Влияние влажности в дутьевом воздухе на эффективность работы котла промышленной и коммунальной энергетики / А. И. Сигал // Теплотехника (Segal A.I. Influence of moisture in the blow air on the efficiency of the boiler industrial and municipal energy / A.I. Segal // Thermal engineering). — 2004. — № 12. — с/р. 34 — 37.
5. Тепловые расчеты котлов (Нормативное пособие). — Издательство 3, перераб. и доп. — СПб.: Изд. НПОЦКТИ (Thermal design of boilers (standard method). — Issue 3, revised. and add. — St. Petersburg.: Ed. NPOTSKTI). — 1998. — 256 с/р.
6. Маркин Н.С. Основы теории обработки результатов измерений: Учебное пособие для средних специальных учебных заведений / Н.С. Маркин. — М.: Издательство стандартов (Markin N.S. Fundamentals of the theory processing of measurements results: A manual for secondary specialized schools / N.S. Markin. — М.: Publishing standards.). — 1991. — 176 с/р.
7. Измерение электрических и неэлектрических величин: Учебное пособие для вузов / Н.Н. Евтихий, Я.А. Купершмидт, В.Ф. Папуловский, В.Н. Скугоров; Под ред. Н.Н. Евтихьева. — М.: Энергоатомиздат (Measurement of electrical and non-electrical quantities: Textbook for Universities / N.N. Evtikhiev, I.A. Kupershmids, V.F. Papulovsky, V.N. Skugorov; Ed. N.N. Evtikhiev. — Energoatomizdat). — 1990. — 352 с/р.
8. Сергеев А.Г. Метрология: Учебник / А.М. Сергеев. — М.: Логос (Sergeev A.G. Metrology: Textbook / A.G. Sergeyev. — М.: Logos). — 2005. — 272 с/р.
9. Заболотный О.В. Визначення основних метрологічних характеристик первинного вимірювального перетворювача вологості газів / Заболотний О.В., Сухобрус М.А. // Метрологія та прилади. — Х. (Zabolotny O.V. Determination of basic metrological characteristics of primary measuring transducer gases humidity / O.V. Zabolotny, M.A. Suhobrus // Metrology and instruments. — Kh). — 2012. — № 4 (36). — с/р. 18—23.
10. Заболотный А.В. Емкостный первичный измерительный преобразователь влажности газа / Заболотный А.В., Кошевой М.Д., Сухобрус М.А. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — Харьков (Zabolotny A.V. Capacitive primary measuring transducer of gas humidity / A.V. Zabolotny, M.D. Koshevoy, M.A. Suhobrus // Eastern-European Journal of enterprise technologies. — Kharkov). — 2011. — № 1/10 (49). — с/р. 4-8. ■

Отримано / received: 10.07.2014.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. О.Є. Середюком.
Prof. O.Ye. Seredyuk, D. Sc. (Techn.), recommended this article to be published.

УДК 621.039.9:061.6:62

ВИПРОБУВАЛЬНІ РЕГІОНАЛЬНІ ЛАБОРАТОРІЇ З ЯДЕРНОЇ КРИМІНАЛІСТИКИ – ІНСТРУМЕНТ МАГАТЕ ТА ЄС У БОРОТЬБІ З МІЖНАРОДНИМ ТЕРОРИЗМОМ

В. Большаков, доктор технічних наук, головний науковий співробітник, ННЦ «Інститут метрології»

Н. Косач, доктор технічних наук, професор кафедри «Авіаційні прилади та вимірювання»,
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є.Жуковського «ХАІ», м. Харків

Розглянуто актуальність створення в Україні випробувальних регіональних лабораторій з ядерної криміналістики як компонента міжнародної мережі експертно-криміналістичних лабораторій – ефективного інструмента у боротьбі з ядерною контрабандою і тероризмом, а також заінтересованість і роль МАГАТЕ і ЄС при створенні й застосуванні такої мережі.

Actuality of Ukrainian Forensic Laboratory Creation as a component of an international network of nuclear forensic laboratories — an effective tool to combat with nuclear smuggling and terrorism. The role of the IAEA and the EU in the creation and operation of such a network.

Ключові слова: випробувальні лабораторії, ядерна криміналістика, міжнародна безпека.
Keyword: test laboratories, nuclear forensic, international security.

На сьогодні ризик застосування ядерного або іншого радіоактивного матеріалу для злочинних або навмисних несанкціонованих дій залишається предметом турботи міжнародної спільноти і продовжує розцінюватися як загроза міжнародній безпеці [1].

Незважаючи на те, що більшість держав проводить жорсткий регулювальний контроль за ядерними і радіоактивними матеріалами, які вони виробляють або використовують, економічні й різні протизаконні фактори стимулюють їх незаконний обіг. Так, ядерне паливо, з одного боку, лише для одного тепловидільного складання (ТВС) може коштувати до \$ 500000, і лише за 9 місяців минулого року закупівлі свіжого ядерного палива Україною у грошовому еквіваленті склали \$ 423,912 млн., з іншого — хоча воно безпосередньо і не може бути використовуване як ядерна зброя, є перспективною сировиною для отримання бойового плутонію за допомогою незадекларованих пристроїв з його перероблення, так і як основа для «брудної бомби» [2]. Комерційні ж радіоактивні джерела взагалі широко доступні — правила, що регулюють їх облік і контроль, варіюються від країни до країни, але, як правило, менш строги, ніж ті, що регулюють обіг ядерного матеріалу [3].

Проблема незаконного обігу ядерних радіоактивних матеріалів і джерел, які вийшли з-під регулювального нагляду і можуть бути використані у зловмисних цілях, — *ядерна контрабанда* гостро постала у 1990-х роках [4].

У відповідності з даними Міжнародного агентства з ядерної енергетики (МАГАТЕ), яке з 1995 року почало формувати базу даних, пов'язаних з незаконним обігом, несанкціонованим використанням і транспортуванням таких матеріалів (МБД), за станом на початок 2006 року, починаючи з 1993, зареєстровано 823 випадки ядерної контрабанди, коли матеріал збройової якості був виведений з-під регулювального



В. Большаков



Н. Косач

контролю [1]. Хоча ні в одному з цих випадків не було вилучено достатньої кількості матеріалу для виготовлення ядерних відрухових пристроїв, вони небезпечні з двох причин [2]:

- по перше, у багатьох випадках причетні особи запевняли, що перехоплений матеріал був лише зразком доступного для придбання більшого обсягу матеріалу, який все ще може потрапити до продажу і бути доступним для терористів;

- по друге, доступність цього матеріалу для незаконного обігу є переконливим доказом наявності слабких місць у сфері безпеки: звідки вкрадено матеріал, хто його вкрав, за чийм замовленням, як виконано розкрадання, куди матеріал спрямовувався.

Уперше питання щодо міжнародної ядерної контрабанди і тероризму поставлено у 1975 році у виданих МАГАТЕ Рекомендаціях із фізичного захисту ядерних матеріалів, які, до речі, згодом переглядалися п'ять разів і на основі яких у 1997 році затверджено програму «Зберігання матеріалу» [5].

Акт тероризму, що стався у вересні 2001 року у США, підкреслив оперативну необхідність всебічного зусилля для контролю за обігом ядерних радіоактивних джерел і, як реакція на відповідну резолюцію Генеральної конференції МАГАТЕ (березень, 2002), її Радою управляючих схвалено, а у вересні 2002 року прийнято перший конструктивний План дій МАГАТЕ із захисту від ядерного тероризму — «Комплексний підхід до захисту від ядерного тероризму», який у подальшому актуалізувався стосовно міжнародного стану, який змінювався, цією Радою у 2005, 2009 та 2013 роках [5].

Метою всіх цих планів і, зокрема, останнього Плану з фізичної ядерної безпеки на 2014-2017 роки є «сприяння глобальним зусиллям з досягнення реальної фізичної безпеки ядерних або інших радіоактивних матеріалів у всіх випадках, коли вони перебувають у процесі використання, зберігання та/або перевезення, шляхом надання, відповідаючи на запити держав, їм підтримки в їхніх зусиллях із виконання національних і міжнародних обов'язків, зниження ризиків і належного реагування на погрози» [5].

Ще у більшій мірі проблему крайньої актуальності захисту міжнародної спільноти від ядерної контрабанди і ядерного тероризму загострено у Робочому документі, підготовленому Віденською групою десяти (Австралією, Австрією, Данією, Ірландією, Канадою, Нідерландами, Новою Зеландією, Норвегією, Угорщиною, Фінляндією і Швецією) до Конференції 2015 року учасників Договору про нерозповсюдження ядерної зброї, щодо розгляду дії Договору, в яко-

му, зокрема, разом із закликом «активізувати зусилля з розроблення і застосування повною мірою ефективних глобальних рамок фізичної та ядерної безпеки, заснованих на відвертання, виявленні й реагуванні», та констатацією факту, «що фізичний захист і заходи щодо боротьби з незаконним обігом є частиною національного режиму ядерної безпеки», не лише ставиться питання стосовно боротьби з ядерною контрабандою і ядерним тероризмом, а й визначається найважливіший інструмент цієї боротьби, а саме, ядерна криміналістика і, в першу чергу, на регіональному рівні [6].

Ядерна криміналістика — достатньо новий напрям наукових досліджень, зумовлений сплеском ядерної контрабанди і покликаний дати відповідь на ряд питань, пов'язаних з ідентифікацією, призначенням, ступенем небезпеки, походженням і шляхами транспортування затриманих ядерних, радіоактивних матеріалів і радіаційних джерел, що є на сьогодні одним із значимих питань міжнародної безпеки [4].

Актуальність створення світової мережі регіональних експертних лабораторій з ядерної криміналістики обумовлена цілим рядом міжнародних угод, домовленостей, ініціатив і, в першу чергу, рішеннями Вашингтонського (13.04.2010) і Сеульського (27.03.2013) саммітів з ядерної безпеки, Міжнародної конференції «Активізація глобальних зусиль з фізичної ядерної безпеки», проведеної МАГАТЕ 1 — 5 липня 2013 р, в яких, зокрема, констатується, що ядерний тероризм потрібно розглядати як частину більш широкого явища, яке являє собою тероризм і екстремізм [1].

У Комюніке зазначених саммітів підкреслено, що ядерна криміналістика є ефективним інструментом для визначення джерел виявлених ядерних й інших радіоактивних матеріалів, усього ланцюга їх несанкціонованого обігу і як наслідок слугуватиме стримувальним ефектом для тих, хто намагається їх незаконно дістати і зловмисно використати, дозволить зміцнити слабкі ділянки в системах обліку, контролю і фізичного захисту.

У Конвенції про фізичний захист ядерного матеріалу (КФЗЯМ), яка набула чинності 08.02.1987 і підписана 148 державами-учасниками, констатується, що за фізичний захист відповідальність несуть суверенні держави.

Для забезпечення вирішень цих питань Україною її Президентом, який брав участь у роботі Сеульського самміту з ядерної безпеки, видано Указ «Про Національний план з реалізації положень Комюніке Сеульського самміту з ядерної безпеки на 2013-2014 роки» від 11.02.2013 № 73/2013. У ньому, зокрема,

для протидії незаконному обігу ядерних матеріалів і відвертання можливих актів ядерного тероризму затверджується «Концепція державної цільової програми розвитку ядерної криміналістики в Україні», якою передбачається створення при Інституті ядерних досліджень Національної академії наук України національної експертно-криміналістичної лабораторії та при Національному науковому центрі «Харківський фізико-технічний інститут» регіональної експертно-криміналістичної лабораторії. Проте, виходячи з того, що для репрезентативності виконуваних досліджень, згідно з Рішеннями МАГАТЕ [7], доцільно мати не одну, а мережу регіональних лабораторій, в Україні, враховуючи її відповідний науковий і технічний потенціал, з часом створюватиметься ряд таких лабораторій.

Для забезпечення, зокрема, цих трьох завдань Європейське співтовариство з атомної енергії (ЄВРАТОМ) уклало угоди про співпрацю в ядерній галузі з такими країнами: Австралією, Аргентиною, Бразилією, Індією, Казахстаном, Канадою, Китаєм, Республікою Корея, Російською Федерацією, Сполученими Штатами Америки, Узбекистаном, Україною, Швейцарією та Японією. Ці угоди охоплюють різну тематику, включаючи торгівлю ядерними матеріалами і радіоактивними джерелами, дослідницьку діяльність (ядерна безпека, ядерні та термоядерні дослідження), інші види діяльності, спрямовані на підтримку використання ядерної енергії у мирних цілях і, зокрема, на розвиток ядерної криміналістики [1, 8].

Іншою, більш значною установою є ЄС і його держави-члени, які за сукупністю є найбільшим у світі окремим донором із надання допомоги іноземним державам. Так, Програми, які фінансуються в рамках Інструмента ЄС зі співробітництва у сфері ядерної безпеки, забезпечують співпрацю з питань ядерного регулювання, експлуатаційної, конструкційної безпеки, поводження з радіоактивними відходами. У рамках Інструмента на період 2007–2013 років ЄС асигнувало на ці потреби близько 300 млн. євро. Тим самим ЄС допомагає третім країнам створювати механізми і розробляти методологію безпечного, регульованого здійснення мирної ядерної діяльності [9].

ЄС робить це, як правило, забезпечуючи підтримку МАГАТЕ, рідше — в рамках прямої двосторонньої співпраці з третіми країнами. Реалізується така співпраця, починаючи з 1981 року, шляхом спільної Програми Європейської комісії. Її функціонування забезпечує Об'єднаний дослідний центр (ОДЦ) Європейської комісії та його інститути в Іспрі (Італія), Гелі (Бельгія) і Карлсруе (Німеччина).

Наразі Спільна програма Європейської комісії з підтримки гарантій, з точки зору числа поточних завдань, посідає друге місце з 21-ї програми підтримки з боку держав-членів МАГАТЕ. У рамках цієї програми МАГАТЕ надаються технології й експертні знання, а також здійснюється підготовка кадрів у багатьох технічних сферах, пов'язаних з ефективним здійсненням заходів перевірки для цілей гарантій, включаючи виявлення незамовлених матеріалів, видів діяльності й установок. У сфері протидії незаконному обігу ядерних матеріалів ОДЦ МАГАТЕ надає підтримку в сфері ядерної криміналістичної експертизи шляхом надання послуг технічних експертів, організації учбових заходів для співробітників експертних служб і експертів з держав-членів МАГАТЕ. Згідно з рекомендаціями плану дії ЄС з боротьби з хімічними, біологічними, радіологічними і ядерними (ХБРЯ) погрозами ОДЦ працює з МАГАТЕ в напрямі удосконалення її Баз даних щодо незаконного обігу ядерних матеріалів і радіоактивних джерел, координації її діяльності з іншими сторонами, які беруть участь у таких сферах, як криміналістична експертиза та ядерний тероризм [6].

МАГАТЕ надає державам допомогу в сфері ядерної криміналістики, публікуючи технічні настанови з проведення комплексної ядерної криміналістичної експертизи; розробляє відповідні рекомендації та нормативні документи; розглядає заходи щодо забезпечення фізичної ядерної безпеки; готує пропозиції щодо поліпшення і координації зусиль держав-донорів і відповідає на запитання держав, які потребують допомоги; зберігає Міжнародну базу даних з незаконного обігу ядерних матеріалів; організує широкий спектр тренінгів і семінарів; керує Міжнародною консультативною службою з фізичного захисту (IPPAS), яка здійснює оцінку рівня фізичного захисту ядерного матеріалу та ядерних установок на певному об'єкті, визначеному державою, а також Міжнародною консультативною службою з ядерної безпеки (INServ), яка надає більш широкий огляд фізичної ядерної безпеки у державі, виявляючи ті сфери, які потребують удосконалення або більш поглибленого аналізу [10].

Окрім того, МАГАТЕ формує необхідні вимоги до випробувальних регіональних лабораторій з ядерної криміналістики, здійснює загальну підготовку персоналу щодо підвищення інформованості та розширення знань стосовно ядерної криміналістики, а також організує навчання спеціалістів-практиків з питань удосконалення аналізу під час проведення ядерної криміналістичної експертизи; безпосередньо конструктивно співпрацює

з провідними ядерними криміналістичними лабораторіями держав-членів, а також з широкою мережею міжнародних лабораторій-партнерів з ядерної криміналістики. Ця мережа надає своїм членам доступ до провідних експертів-криміналістів і сучасних аналітичної та інструментальної баз, необхідних для розслідування злочинів.

Можна зазначити, що лише останнім часом МАГАТЕ передало в дар державам-членам мережі 237 переносних та інших приладів різних типів, пов'язаних із забезпеченням ядерної безпеки, завдяки чому, разом із відповідним навчанням, ці держави у ряді випадків змогли ефективніше виявити і повернути матеріал, який перебував поза сферою регулювального контролю, тобто запобігти ядерній контрабанді, тероризму [11].

І нарешті, виходячи з реалій сьогодення у сфері ядерної контрабанди і тероризму, МАГАТЕ в рамках Плану з фізичної ядерної безпеки на 2014 — 2017 роки взяло на себе виконання таких обов'язків [5]:

- надавати державам, відкликаючись на їхні прохання, допомогу в їх зусиллях щодо створення ефективних і стійких національних режимів фізичної ядерної безпеки;
- сприяти дослідженням і розробленням із забезпечення ефективної фізичної ядерної безпеки шляхом проектів координаційних досліджень (ПКД), у яких бере участь широке коло експертів і установ з великої кількості держав і які присвячені таким темам, як застосування методів ядерної судової експертизи у боротьбі з незаконним обігом ядерних та інших радіоактивних матеріалів і розроблення методології оцінювання фізичної ядерної безпеки для установок і перевезення;
- виконувати функції координаційного центру для зміцнення міжнародної співпраці, координації виконання ПКД і допомоги у сфері фізичної ядерної безпеки, яка надається на основі регіональних і двосторонніх програм, інших міжнародних ініціатив;

• нарощувати глобальні зусилля щодо підвищення ядерної безпеки, створення міжнародної мережі регіональних випробувальних лабораторій з ядерної криміналістики, формувати необхідні вимоги до них, дотримуючись відповідних міжнародних нормативних документів та керівних матеріалів;

• спиратися на прогрес, досягнутий під час виконання перших трьох планів з фізичної ядерної безпеки, сприяти державам у підтримці та подальшому вдосконаленні їх національних режимів фізичної ядерної безпеки;


• сприяти й допомагати державам у справі приєднання до відповідних міжнародних договірно-правових документів і надавати державам, за їхнім проханням, підтримку в їхніх зусиллях із прийняття національного відповідного законодавства.

Отже, можна констатувати таке:

- на сьогодні проблема незаконного обігу ядерних матеріалів і радіоактивних джерел, які вийшли з-під регулювального нагляду і можуть бути використані у зловмисних цілях, розцінюється як реальна загроза міжнародній безпеці;
- ефективним інструментом у боротьбі з цією загрозою є міжнародна мережа випробувальних регіональних лабораторій з ядерної криміналістики, на створення та забезпечення якої необхідними нормативними і керівними документами та інструментарієм спрямовані конструктивні дії МАГАТЕ, ЄС та їх інституцій;
- створення в Україні випробувальних регіональних лабораторій з ядерної криміналістики, які повинні стати ланцюгом такої міжнародної мережі, достатньо актуальне; стане внеском до боротьби з ядерною контрабандою на всьому ланцюзі несанкціонованого обігу ядерних матеріалів і радіоактивних джерел і як наслідок — з міжнародним ядерним тероризмом та екстремізмом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Доклад Генерального директора МАГАТЭ Юкия Аmano на международной конференции по физической ядерной безопасности: Активизация глобальных усилий // GOV/INF/2013/9-GC(57)/INF/6./ (Report by the Director General IAEA Yukiya Amano in International Conference on Nuclear Security: Enhancing Global Efforts. Vienna, Austria 1–5 July 2013 // GOV/INF/2013/9-GC(57)/INF/6./) — С/Р. 1—9.
2. Рекомендации по физической ядерной безопасности, касающиеся физической защиты ядерных материалов и установок // INFC.IRC/225/Rev.5, серия издания МАГАТЭ по физической ядерной безопасности (Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities (INFCIRC/225/Revision 5) // IAEA Nuclear Security Series. — 2011). — № 13. — 68 с/р.
3. Nuclear Forensics Support // IAEA Nuclear Security Series. — 2006. — №2. — 67 p.
4. Девочкин А.А. Ядерная криминалистика: Современное состояние и перспективы// Актуальные вопросы ядерной безопасности. Томск. Из-во «Иван Федоров» (Devochkin A.A. Nuclear Forensics: Current status and

- prospects // Actual problems of nuclear safety. Tomsk; P.H. «Ivan Fedorov»). — 2010. — с/р. 8—10.
5. Доклад генерального директора МАГАТЭ: План по физической ядерной безопасности на 2014–2017 годы // GOV/2013/42-GC(57)19/ (Report by the Director General IAEA Yukiya Amano: Nuclear Security Plan 2014–2017 // GOV/2013/42-GC(57)/) — 15 с/р.
 6. Рабочий документ, представленный Венской группой десятки 22 апреля — 3 мая 2013: Физическая ядерная безопасность // NPT/conf.2013/pc.II/WP.9./ (Working papers and other documents submitted to the 2013 NPT Preparatory Committee. Nuclear security: Working paper submitted by Australia, Austria, Canada, Denmark, Finland, Hungary, Ireland, the Netherlands, New Zealand, Norway and Sweden (the Vienna Group of Ten) // NPT/conf.2013/pc.II/WP.9./) — с/р. 1—6.
 7. Лотар Кох. Следы-доказательства. Судебная экспертиза и незаконный оборот ядерных материалов // Бюллетень МАГАТЭ 45/1; — июнь (Lothar Koch. Traces of Evidence. Nuclear Forensics & Illicit Trafficking // IAEA Bulletin Vol. 45/1; — June), 2003. — С/Р. 21—23.
 8. Энрикес Саша. Первый взнос не требуется! Укрепление потенциала государств в области ядерной криминалистики при меньших затратах // Бюллетень МАГАТЭ 54—2; — июнь (Henriques Sasha. The first payment is required! Strengthening the capacity in the field of nuclear forensics with less // IAEA Bulletin Vol. 54—2; — June), 2013. — С/Р. 23—24.
 9. Вербальная нота делегации Европейского союза при МАГАТЭ «Международное сотрудничество ЕС в поддержку использования ядерной энергии» // INF/CITC/830.16.11.2011 (Communication dated 16 November 2011 received from the Delegation of the European Union to the International Organizations in Vienna on international cooperation by the European Union in support of peaceful uses of nuclear energy. Note Verbale // INF/CITC/830. 30 November 2011).
 10. Меры по предотвращению ядерного терроризма: рекомендации, основанные на совместной российско-американской оценке угрозы // Проект Belfer Center и института США и Канады РАН; сентябрь 2013 (Steps to Prevent Nuclear Terrorism. Recommendations Based on the U.S.-Russia Joint Threat Assessment // Belfer Center for Science and International Affairs | Institute for U.S. and Canadian Studies . September, 2013). — 29 с/р.
 11. Доклад Генерального директора Агентства в области физической безопасности: Физическая ядерная безопасность — 2012//GOV/2012/4/ — GC(56)/15 (Report by the Director General IAEA Yukiya Amano: Nuclear Security Report 2012 // GOV/2012/41-GC(56)/15. Date: 31 July 2012). — с. 1—21. 

Отримано / received: 17.10.2014.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Є. Т. Володарським (Україна).

Prof. Ye. T. Volodarsky, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.



ТК 1 + ТК 7 + ТК 13 ІМЕКО Спільний симпозіум

«Наука про вимірювання на підтримку безпеки та забезпечення безпеки»

У вересні 2014 р. в м. Фуншал (Португалія) відбувся ТК 1 + ТК 7 + ТК 13 ІМЕКО Спільний симпозіум «Наука про вимірювання на підтримку безпеки та забезпечення безпеки», у якому взяли участь більше 60 учасників з 20-ти країн (Австрії, Бельгії, Бразилії, Великобританії, Іспанії, Італії, Конго, Литви, Німеччини, Польщі, Португалії, Росії, Словаччини, США, України, Фінляндії, Франції, Чехії, Швейцарії, Японії). Зокрема Україну представляли: директор науково-виробничого інституту ДП «Укрметрестандарт» (м. Київ), д. т. н., проф. О. М. Величко та заступник директора цього інституту, к. т. н. С. О. Трофименко. Спів організаторами Симпозіуму були Португальська асоціація акредитованих лабораторій (RELACRE) і Португальське метрологічне товариство (SPMet).

Тематика Симпозіуму охоплювала всі напрями діяльності ТК 1 «Освіта та перепідготовка щодо вимірювань і засобів вимірювань», ТК 7 «Наука про вимірювання» і ТК 13 «Вимірювання у біології та медицині» Міжнародної конфедерації з вимірювань (ІМЕКО): фундаментальні основи та словник науки про вимірювання; невизначеність вимірювань; вимірювання у фізиці та техніці, у соціальних науках, для наук про життя, у повсякденному житті; освіта щодо вимірювань.

Технічну програму складала 64 доповіді фахівців із 20 країн. Від України зокрема, ДП «Укрметр-

тестстандарт» представило доповідь О. М. Величка, Т. Б. Гордієнко «Оцінка результатів вимірювань з використанням статистичних методів».

Робота проходила у пленарному режимі та 9-ти спеціальних секціях: «Оцінка якості»; «Основи вимірювань»; «Вимірювання, пов'язані з людиною»; «Освіта»; «Невизначеність вимірювань»; «Метрологія, пов'язана з охороною здоров'я»; «Процеси із зображеннями»; «Безпека»; «Застосування управління».

Особливу зацікавленість учасників викликали пленарні доповіді: «Стара і нова концепція метрологічної простежуваності за суспільних і соціальних вимірювань» (В. П. Фішер, Університет Берклі, США); «Мікрохвильовий доплерівський радар для моніторингу малопомітних змін здоров'я» (П. Жірао, IST, Португалія); «Наукові уроки 15-річної діяльності з випробування біометричних систем» (Т. Мансфілд, NPL, Великобританія).

За результатами Симпозіуму видано Збірник на електронному носії, який містить матеріали доповідей усіх його учасників. Доповіді також будуть надруковані у журналі «Journal of Physics: Conference Series», який входить до міжнародної наукометричної бази «Scopus».

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

УДК 604:044.3/006.022

РЕЗУЛЬТАТИ 2-го РАУНДУ ПРОГРАМИ МІЖЛАБОРАТОРНИХ ПОРІВНЯНЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ВІМІРЕНЬ

А. Глебов, кандидат технічних наук, заступник директора науково-виробничого інституту метрологічного забезпечення вимірювань складу, властивостей і кількості речовин і матеріалів,
Р. Голубець, кандидат ветеринарних наук, начальник науково-виробничої лабораторії молекулярно-генетичних досліджень,
Р. Облап, кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник лабораторії,
В. Малієнко, кандидат сільськогосподарських наук, науковий співробітник лабораторії,
Н. Новак, кандидат сільськогосподарських наук, науковий співробітник лабораторії,
В. Волошинець, кандидат хімічних наук, начальник науково-дослідного центру випробувань продукції,
М. Чичерін, заступник начальника відділу,
ДП «Укрметртестстандарт», м. Київ

Висвітлено основні етапи та результати 2-го раунду програми міжлабораторних порівнянь результатів вимірювань «ХАРЧОВА ПРОДУКЦІЯ ТА ПРОДОВОЛЬЧА СИРОВИНА. ГЕНЕТИЧНО МОДИФІКОВАНІ ОРГАНІЗМИ». Наведено методику приготування, оцінки однорідності та стабільності зразків, аналіз та інтерпретацію результатів раунду. Встановлено, що більшість випробувальних лабораторій, які брали участь у раунді, мають достатній професійний рівень для проведення випробувань із визначення наявності та вмісту ГМО у харчових продуктах і продовольчій сировині.

The article describes the main stages and the results of the 2nd round of the interlaboratory studies "Food products and food raw materials. Genetically modified organisms", conducted from May to October 2013. The purpose of the round was to verify the ability of testing laboratories of Ukraine to analyze the presence and content of GMOs in food. The program of round was developed and implemented according to [1]. Laboratory-coordinator of round

was accredited by National Accreditation Agency of Ukraine for compliance of [2] for testing of food by standards [3-6]. 21 national testing laboratories have participated in the round. The participant was asked to test two samples of corn flour, one of which is non-GMO, and the second contained the promoter 35s. Test samples were prepared by Ukrmetrteststandart from native and genetically modified corn, and were checked on homogeneity and stability. Checking of the homogeneity was performed according to [8]. The measurements were performed according to [4]. The assigned value for positive sample was adopted a consensus value from participants according to [7]. The coordinator of round did not specify the method of analysis. As a criterion for assessing the laboratory bias was z-score. Z-values for the test samples are shown in Table 1. The test results for negative sample are shown in Table 2, for sample with promoter 35s – in Table 3 and in fig.1. The z-scores histogram for positive sample is in the fig.2. Overall, the results of the round demonstrate the ability of most laboratory-participants to detect and quantitate GMO in food.

Ключові слова: генетично-модифіковані організми, програма міжлабораторних порівнянь результатів вимірювань, зразок, випробувальна лабораторія

Keywords: genetic-modificational organisms, interlaboratory comparisons of measurement results program, sample, testing laboratory.

Генетично модифіковані організми (ГМО) з'явилися на світовому ринку десятиліття тому і поступово почали все більше використовуватися під час виробництва сільськогосподарської продукції. Протягом останніх років ринок ГМО продуктів (мікроорганізмів, рослин, тварин) набуває стрімкого розвитку.

Світова динаміка зростання площ, зайнятих під посівами генетично модифікованих рослин (сої, кукурудзи, картоплі, цукрового буряку, ріпака тощо)

вважає своїми розмірами: з 1996 по 2008 рік кількість посівних площ зросла з 1,7 до 120 млн. га, з яких більше 50 % припадає на долю США. 45 % посівних площ, зайнятих під вирощування ГМО, належать Аргентині, Бразилії, Індії та Китаю. Зацікавленість з боку провідних біотехнологічних компаній у просуванні своєї продукції на ринок нашої країни потребує від України розроблення нормативно-правових актів, створення сучасної лабораторної бази та державного контролю за обігом ГМО.

У 2006 році на базі ДП «Укрметртестстандарт» створено лабораторію молекулярно-генетичних досліджень. Головним завданням лабораторії є проведення випробувань харчових продуктів на наявність ГМО.

Лабораторія акредитована Національним агентством України з акредитації на відповідність вимогам [2]. Лабораторія проводить випробування продукції за стандартами [3–6]. У 2013 році вона брала участь у трьох раундах міжнародної програми професійного тестування «GEMMA» (FAPAS, Великобританія). В усіх раундах отримано задовільні результати.

Згідно з наказом Держспоживстандарту України від 05.06.2009 № 214 ДП «Укрметртестстандарт» призначено науково-методичним центром з контролю харчових продуктів, сільськогосподарської сировини та косметичних виробів, які містять ГМО або вироблені з їх використанням. Науково-дослідний центр, до складу якого входить лабораторія, зареєстровано як координатор програм міжлабораторних порівнянь результатів вимірювань (МПП) показників якості та безпеки харчових продуктів і продовольчої сировини (номер за реєстром — 05.15.2001).

Метою реалізації МПП є перевірка точності вимірювань, що проводять випробувальні лабораторії (ВЛ) України з метою визначення наявності та вмісту ГМО у харчових продуктах.

Програма МПП розроблена та реалізується відповідно до [1].

У раунді №02 програми МПП взяла участь 21 національна ВЛ, що проводить випробування харчових продуктів на наявність ГМО.

Результати вимірень ВЛ надавали координатору у виді протоколів за формою, яка включала такі відомості: код лабораторії, назву ВЛ, результати виявлення та кількісного визначення вмісту ДНК генетично-модифікованої кукурудзи за промотором 35S, дату проведення вимірювань

Учасникам 2-го раунду програми МПП було запропоновано провести випробування двох зразків кукурудзяного борошна:

- зразок 02/13-ГМО-Р — не містив регуляторних послідовностей;
- зразок 02/13-ГМО-Н — містив промотор 35S.

Для приготування зразка 02/13-ГМО-Р використано зерно кукурудзи, що не містить регуляторних послідовностей, а для зразка 02/13-ГМО-Н — зерно кукурудзи, що містить промотор 35S. По 300 грамів кожного зразка гомогенізовували на лабораторному млині Grindomix GM 200. Розмелені зразки просіювали крізь сито з діаметром пор 0,470 мкм для зразка

02/13-ГМО-Р та 0,315 мкм для зразка 02/13-ГМО-Н. Отримане борошно розфасовували по 2 г у поліетиленові флакони об'ємом 25 см³ і промарковували.

Оцінку однорідності зразка 02/13-ГМО-Н виконували згідно з [8]. Для цього відбирали 10 одиниць зразка, розфасованих у поліетиленові флакони. Вимірювання проводили відповідно до [4]. Результати вимірень опрацювали методом дисперсійного аналізу з метою оцінки значимості розбіжності дисперсій, зумовленої неоднорідністю зразка. Для цього застосовували критерії Кохрена, Фішера та χ^2 -критерій. На основі експериментальних досліджень зразок було визнано таким, що відповідає вимогам однорідності для цієї програми МПП.

Стабільність зразка 02/13-ГМО-Н протягом усього раунду програми МПП оцінював координатор із застосуванням двовибіркового t -критерію:

$$t = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_x^2 + (n_2 - 1)S_y^2}{n_1 + n_2 - 2}}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} \leq t_m(1 - \alpha/2; n_1 + n_2 - 2), \quad (1)$$

де \bar{X} та \bar{Y} — середні значення результатів вимірень відповідно на початку дослідження стабільності та в кожній наступній серії вимірювань; S_x та S_y — середні квадратичні відхилення (СКВ) результатів вимірень відповідно на початку дослідження стабільності та в кожній наступній серії вимірювань; n_1 та n_2 — кількість повторних вимірювань відповідно на початку дослідження стабільності та в кожній наступній серії вимірювань; t_m — критичне значення критерію Ст'юдента; α — рівень значимості ($\alpha = 0,05$).

Кожна серія включала 10 повторних вимірювань. Нерівність (1) виконувалася протягом усього раунду програми МПП.

Учасникам раунду було запропоновано визначити в зразках:

- а) наявність ДНК генетично модифікованої кукурудзи за промотором 35S та NOS-термінатором;
- б) кількісний вміст ДНК генетично модифікованої кукурудзи за промотором 35S.

Атестоване значення масової частки ГМО за промотором 35S у зразку 02/13-ГМО-Н розраховували за результатами міжлабораторного експерименту згідно з [7]. Із 21 результату вимірень, які отримав координатор, 1 результат на основі розрахунків отримав нульовий ваговий коефіцієнт і не враховувався під час розрахунків атестованого значення масової частки ГМО у зразку.

Як критерій оцінки точності результатів вимірень координатором обрано z -показник:

$$z = (x - x^*) / s^*, \quad (2)$$

де x — результат вимірення, отриманий ВЛ; x^* —

Таблиця 1. Значення z-показників лабораторій-учасниць раунду

Table 1. Z-indexes of participants of rounds

Код лабораторії	Найменування зразка		Усього z	$ z \leq 2$	$ z \leq 2, \%$
	02/13-ГМО-Р	02/13-ГМО-Н			
01	$ z \leq 2$	-0,57	2	2	100
02	$ z \leq 2$	-1,36	2	2	100
03	$ z \leq 2$	-1,29	2	2	100
04	$ z \leq 2$	0,71	2	2	100
05	$ z \leq 2$	0,43	2	2	100
06	$ z \leq 2$	-1,43	2	2	100
07	$ z \leq 2$	-0,57	2	2	100
08	$ z \leq 2$	0,14	2	2	100
09	$ z \leq 2$	-0,71	2	2	100
11	$ z \leq 2$	-0,29	2	2	100
12	$ z \leq 2$	-1,00	2	2	100
13	$ z \leq 2$	-1,64	2	2	100
14	$ z \leq 2$	1,14	2	2	100
15	$ z \leq 2$	0,14	2	2	100
16	$ z \leq 2$	0,57	2	2	100
17	$ z \leq 2$	4,29	2	1	50
18	$ z \leq 2$	-0,43	2	2	100
19	$ z \leq 2$	-0,29	2	2	100
20	$ z \leq 2$	2,00	2	2	100
21	$ z \leq 2$	1,57	2	2	100
22	$ z \leq 2$	-0,86	2	2	100
Всього z	21	21			
$ z \leq 2$	21	20			
$ z \leq 2, \%$	100	95			

— результат задовільний
— результат незадовільний

атестоване значення масової частки ГМО у зразку;
 s^* — СКВ відтворюваності згідно з [4].

При цьому, якщо:

$|z| \leq 2$ — результат задовільний;

$2 < |z| < 3$ — результат сумнівний;

$|z| \geq 3$ — результат незадовільний.

Z-показники за результатами випробувань ВЛ зразків 02/13-ГМО-Р та 02/13-ГМО-Н наведено в табл. 1.

Результати випробувань зразка 02/13-ГМО-Р наведено в табл. 2, зразка 02/13-ГМО-Н — у табл. 3 та на рис. 1. Z-показники для ВЛ, що визначали вміст ДНК генетично-модифікованої кукурудзи за промотором 35S у зразку 02/13-ГМО-Н, наведено на рис. 2.

За випробувань зразка 02/13-ГМО-Р усі учасники раунду надали результат стосовно відсутності ДНК генетично-модифікованої кукурудзи.

За випробувань зразка 02/13-ГМО-Н усі учасники раунду надали результат щодо наявності у зразку промотору 35S; три ВЛ (14 % від загальної кількості лабораторій — учасниць) виявили термінатор NOS, який у цьому зразку був відсутній; 20 ВЛ (95 %) отримали задовільні результати; 1 лабораторія (5 %) отримала незадовільний результат.

За визначення наявності та вмісту ГМО у зразках учасниками раунду використано тест-системи виробництва ЗАТ «Сінтол» (РФ), ДП «Укрметртестстандарт» (Україна), «Амплісенс» (РФ) та ЗАТ «НПФ ДНК-Технологія» (РФ). Більшість ВЛ (60 %) використовували для кількісного визначення ГМО тест-системи виробництва ЗАТ «Сінтол», 30 % — виробництва ДП «Укрметртестстандарт», по 5 % — виробництва «Амплісенс» та ЗАТ «НПФ ДНК-Технологія».

ВЛ використано 8 моделей ампліфікаторів, а саме: CFX-96 — 5 лабораторій (24 %), Applied Biosystems 7300 та 7500 — 4 лабораторії (19 %), АНК-32 — 3 лабораторії (14 %), IQ-5 — 3 лабораторії (14 %),

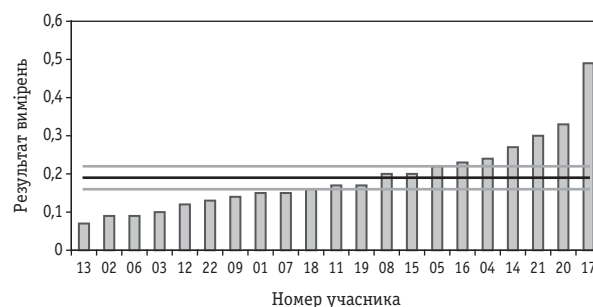


Рис. 1. Результати вимірювань вмісту ДНК генетично-модифікованої кукурудзи у зразку 02/13-ГМО-Н

Fig. 1. Results of measurement of DNA of genetically modified corn in sample 02/13-GMO-N

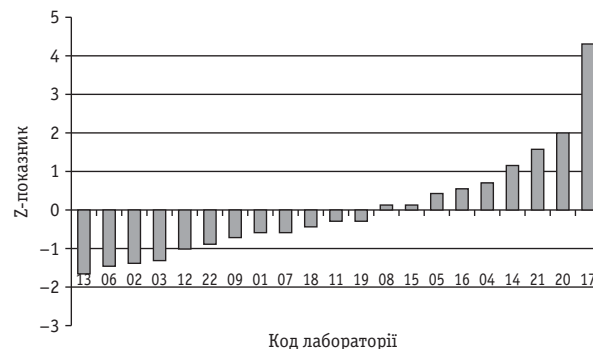


Рис. 2. z-показники учасників раунду за вимірювання ДНК генетично-модифікованої кукурудзи у зразку 02/13-ГМО-Н

Fig. 2. z-indexes of participants of round for sample 02/13-GMO-N

Таблиця 2. Результати випробувань зразка № 02/13-ГМО-Р

Table 2. Results of testing for sample № 02/13-ГМО-Р

Код лабораторії	Результат випробувань (P35S/ tNOS)	НД на метод випробувань	Назва тест-систем	Засіб виміральної техніки (метод)
01	не виявлено/ не виявлено	ДСТУ ISO 21569	Рослина/35S/NOS скринінг ¹	Applied Biosystems 7300 (Real-Time PCR)
02	не виявлено/ не виявлено	ДСТУ ISO 21569	Кукурудза/35S/NOS скринінг ¹	АНК-32 (Real-Time PCR)
03	не виявлено/ не виявлено	ДСТУ ISO 21569	Кукурудза/35S/NOS скринінг ¹	АНК-32 (Real-Time PCR)
04	не виявлено/ не виявлено	ДСТУ ISO 21569	ГМ-кукурудза/35S/NOS скринінг ²	Applied Biosystems 7300 (Real-Time PCR)
05	не виявлено/ не виявлено	ДСТУ ISO 21569	Кукурудза/35S/NOS скринінг ¹	iCycler (Real-Time PCR)
06	не виявлено/ не виявлено	ДСТУ ISO 21569	Рослина/35S/NOS скринінг ¹	АНК-32 (Real-Time PCR)
07	не виявлено/ не виявлено	ДСТУ ISO 21569	Рослина/35S/FMV/NOS скринінг ¹ ГМ-кукурудза/35S/NOS скринінг ²	ДТ-96 (Real-Time PCR)
08	не виявлено/ не виявлено	ДСТУ ISO 21569	Кукурудза/35S/NOS скринінг ¹	IQ-5 (Real-Time PCR)
09	не виявлено/ не виявлено	ДСТУ ISO 21569	ГМ-кукурудза/35S/NOS скринінг ²	Applied Biosystems 7300 (Real-Time PCR)
11	не виявлено/ не виявлено	ДСТУ ISO 21569	Кукурудза/35S/NOS скринінг ¹	CFX-96 (Real-Time PCR)
12	не виявлено/ не виявлено	ДСТУ ISO 21569	Амплісенс ГМ-кукурудза ³	Rotor-Gene-6000 (Real-Time PCR)
13	не виявлено/ не виявлено	ДСТУ ISO 21569	Рослина/35S/NOS скринінг ¹	CFX-96 (Real-Time PCR)
14	не виявлено/ не виявлено	ДСТУ ISO 21569	Рослина/35S/NOS скринінг ²	CFX-96 (Real-Time PCR)
15	не виявлено/ не виявлено	МР 02.028-08	Скан-кукурудза ⁴	ДТ-96 (Real-Time PCR)
16	не виявлено/ не виявлено	ДСТУ ISO 21569	Рослина/35S/NOS скринінг ¹	IQ-5 (Real-Time PCR)
17	не виявлено/ не виявлено	ДСТУ ISO 21569	ГМ-кукурудза/35S/NOS скринінг ²	Applied Biosystems 7300 (Real-Time PCR)
18	не виявлено/ не виявлено	ДСТУ ISO 21569	ГМ-кукурудза/35S/NOS скринінг ²	Stratagene MX 3005P (Real-Time PCR)
19	не виявлено/ не виявлено	ДСТУ ISO 21569	ГМ-кукурудза/35S/NOS скринінг ²	CFX-96 (Real-Time PCR)
20	не виявлено/ не виявлено	ДСТУ ISO 21569	ГМ-кукурудза/35S/NOS скринінг ²	CFX-96 (Real-Time PCR)
21	не виявлено/ не виявлено	ДСТУ ISO 21569	Кукурудза/35S/NOS скринінг ¹	IQ-5 (Real-Time PCR)
22	не виявлено/ не виявлено	ДСТУ ISO 21569	Кукурудза/35S кількість ¹	Rotor-Gene-6000 (Real-Time PCR)

Примітки:

¹ — виробник ЗАТ«Сінтол», РФ;³ — виробник «АмпліСенс®», РФ;² — виробник ДП «Укрметртестстандарт», Україна;⁴ — виробник ЗАО «НВФ ДНК — Технологія», РФ

ДТ-96 — 2 лабораторії (9,5 %), Rotor-Gene 6000 — 2 лабораторії (9,5 %), iCycler та Stratagene MX 3005P — по 1 лабораторії (по 5 %).

У результаті проведеного раунду МПР встановлено, що негативний результат, отриманий однією із ВЛ, не за-

лежить від використаного випробувального обладнання та тест-систем. Фахівцям лабораторії необхідно провести коригувальні дії, а саме, приділити увагу чистоті лабораторного посуду, обладнання, а також приміщень та боксів, що використовуються за проведення пробопідготовки.

Таблиця 3. Результати вимірень вмісту ДНК генетично-модифікованої кукурудзи у зразку 02/13-ГМО-Н

Table 3. Results of measurement of DNA of genetically modified corn in sample 02/13-ГМО-Н

Атестоване значення, %: **0,19 ± 0,03**

Середнє квадратичне відхилення, %: **0,07**

Код лабораторії	Результат випробувань (P35S/ tNOS)	Результат вимірень, %	Межа виявлення, %	Межа кількісного визначення, %	НД на метод випробувань	Назва тест-системи
01	виявлено/ виявлено	0,15	0,01	0,1	ДСТУ ISO 21570	«Кукурудза 35S кількість» ¹
02	виявлено/ не виявлено	0,09	0,1	–	ДСТУ ISO 21570	«Кукурудза 35S кількість» ¹
03	виявлено/ не виявлено	0,10	0,01	0,1	ДСТУ ISO 21570	«Кукурудза 35S кількість» ¹
04	виявлено/ не виявлено	0,24	0,01	0,1	–	«ГМ-кукурудза 35S кількість» ²
05	виявлено/ не виявлено	0,22	0,1	–	ДСТУ ISO 21570	«Кукурудза 35S кількість» ¹
06	виявлено/ не виявлено	0,09	0,01	0,1	ДСТУ ISO 21570	«Кукурудза 35S кількість» ¹
07	виявлено/ не виявлено	0,15	0,1	0,1	ДСТУ ISO 21570	«Кукурудза 35S кількість» ¹ «ГМ-кукурудза 35S кількість» ²
08	виявлено/ не виявлено	0,20	0,01	0,1	ДСТУ ISO 21570	«Кукурудза 35S кількість» ¹
09	виявлено/ не виявлено	0,14	–	0,1	ДСТУ ISO 21570	«ГМ-кукурудза 35S кількість» ²
11	виявлено/ виявлено	0,17	0,01	0,1	ДСТУ ISO 21570	«Кукурудза 35S кількість» ¹
12	виявлено/ виявлено	0,12	0,03	0,1	–	«Амплиценс ГМ кукурудза» ³
13	виявлено/ не виявлено	0,07	0,01	0,01	ДСТУ ISO 21570	«Кукурудза 35S кількість» ¹
14	виявлено/ не виявлено	0,27	0,1	–	ДСТУ ISO 21570	«ГМ-кукурудза 35S кількість» ²
15	виявлено/ –	0,20	0,1	0,1	MP 02.028-08	«Квантум ГМ-кукурудза» ⁴
16	виявлено/ не виявлено	0,23	0,1	0,1	ДСТУ ISO 21570	«Кукурудза 35S кількість» ¹
17	виявлено/ не виявлено	0,49	0,01	0,1	ДСТУ ISO 21570	«ГМ-кукурудза 35S кількість» ²
18	виявлено/ не виявлено	0,16	–	–	ДСТУ ISO 21570	«Кукурудза 35S кількість» ¹
19	виявлено/ не виявлено	0,17	0,05	0,1	ДСТУ ISO 21570	«ГМ-кукурудза 35S кількість» ²
20	виявлено/ не виявлено	0,33	0,1	0,1	ДСТУ ISO 21570	«ГМ-кукурудза 35S кількість» ²
21	виявлено/ не виявлено	0,30	0,01	–	ДСТУ ISO 21570	«Кукурудза 35S кількість» ¹
22	виявлено/ не виявлено	0,13	0,01	0,5	ДСТУ ISO 21570	«Кукурудза 35S кількість» ¹

Примітки:

¹ — виробник ЗАТ «Сінтол», РФ;

² — виробник ДП «Укрметртестстандарт», Україна;


³ — виробник «Амплиценс®», РФ;

⁴ — виробник ЗАО «НВФ ДНК — Технологія», РФ.

У цілому, результати випробувань зразків продемонстрували здатність більшості ВЛ проводити випробування з визначення наявності та вмісту ГМО і отримувати задовільні результати. Порівнюючи результати раунду № 02/13-ГМО із раундом № 01/11-ГМО, слід відзначити, що за визначення ге-

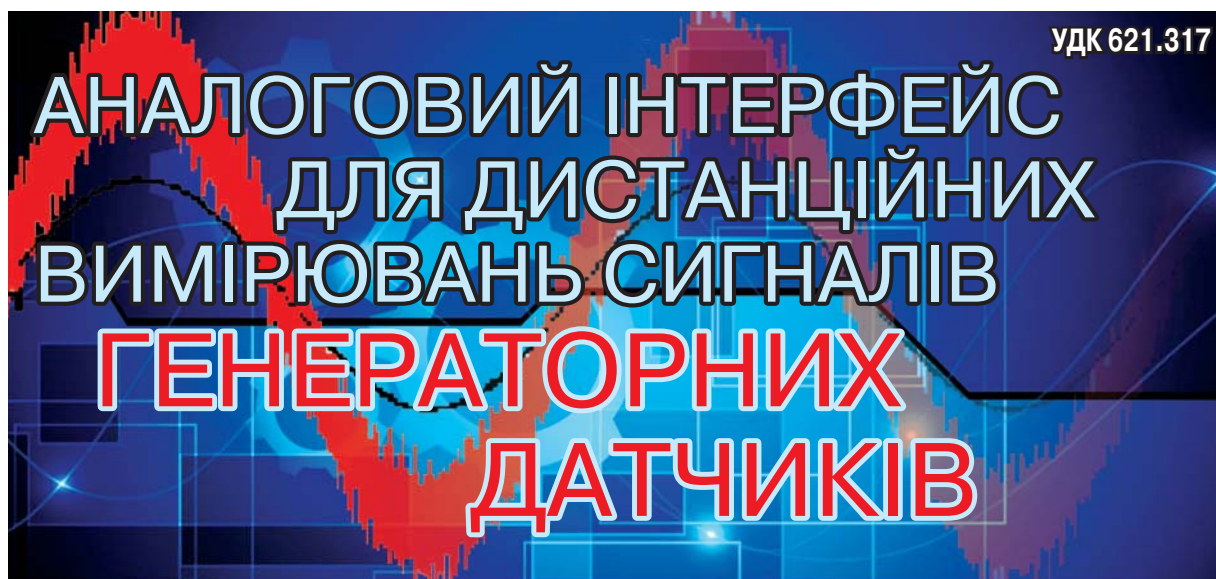
нетично модифікованої сої ВЛ надано більше сумнівних та незадовільних результатів, але при цьому кількість учасників раунду була більшою. Отже, активна участь ВЛ у програмах МПП спонукає фахівців до аналізу отриманих даних, підвищення професійного рівня та удосконалення системи якості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Інструкція «Про порядок проведення перевірки точності результатів вимірювань у вимірювальних лабораторіях», зареєстрована в Міністерстві юстиції України 2 грудня 1999 р. за N 833/4126.
2. ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2005, IDT); увед. 2002-07-01. — Київ: Тех. комітет; К.: Видавництво стандартів, 2006. — 20 с.
3. ДСТУ ISO 21569:2008 Продукти харчові. Методи виявлення генетично модифікованих організмів і продуктів з їхнім вмістом. Якісні методи на основі аналізування нуклеїнової кислоти (ISO 21569:2005, IDT); увед. 2009-12-15. — Київ: Тех.комітет; К.: Видавництво стандартів, 2009. — 48 с.
4. ДСТУ ISO 21570:2008 Продукти харчові. Методи виявлення генетично модифікованих організмів і продуктів з їхнім вмістом. Кількісні методи на основі аналізування нуклеїнової кислоти (ISO 21570:2005, IDT); введ. 2009-12-15. — Київ: Тех.комітет; К.: Видавництво стандартів, 2009. — 82 с.
5. ДСТУ ISO 21571:2008 Продукти харчові. Методи виявлення генетично модифікованих організмів і продуктів з їхнім вмістом. Екстракція нуклеїнової кислоти (ISO 21571:2005, IDT); увед. 2009-12-15. — Київ: Тех. комітет; К.: Видавництво стандартів, 2009. — 31 с.
6. ДСТУ ISO 21572:2006 Продукти харчові. Методи аналізу для визначення генетично модифікованих організмів і похідних продуктів. Методи, які ґрунтуються на аналізі білків (ISO 21572:2004, IDT); увед. 2007-10-01. — Київ: Тех.комітет; К.: Видавництво стандартів, 2007. — 19 с.
7. ДСТУ ГОСТ 8.532-2003 Метрологія. Стандартні зразки складу речовин і матеріалів. Міжлабораторна метрологічна атестація. Зміст і порядок проведення робіт (ГОСТ 8.532-2002, IDT); увед. 2004.
8. Рекомендації. Метрологія. Міжлабораторні порівняння результатів вимірювань. Методика визначення однорідності зразків для контролю точності результатів вимірювань.
9. МР 02.028-08 Качественное и количественное определение генетически модифицированных организмов (ГМО) растительного происхождения в пищевых продуктах и продовольственном сырье с использованием тест-систем и оборудования производства ЗАО «НПФ ДНК-технология»; введ. 15 января 2008г. — Москва: Роспотребнадзор, 2008. — 22 с. 

Отримано / received: 08.07.2014.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Л.А. Назаренком (Україна).
Prof. L.A. Nazarenko, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.



В. Квасніков доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри,

Д. Орнатський кандидат технічних наук, доцент,

Н. Михалко, проректор, старший викладач,
Національний авіаційний університет, м. Київ

Розроблено аналоговий інтерфейс для дистанційних вимірювань інформативних параметрів вихідних сигналів генераторних датчиків, що дозволяє забезпечити високі метрологічні характеристики на відстанях до об'єкта вимірювання до декількох сотень метрів за умов наявності значних промислових завад.

An analog interface for remote measuring of informative parameters for generator sensor signals off allowing to provide high metrological characteristics on distances to the object of measuring of to several hundred meters in the conditions of existence of considerable industrial noises in the frequency range of to a several kilocycles is developed.

Ключові слова: аналоговий інтерфейс, дистанційні вимірювання, генераторні датчики.

Keywords: analog interface, remote measuring, generator sensors.

До генераторних датчиків належать п'єзоелектричні, термоелектричні, електромагнітні, фотоелектричні датчики, для яких характерними є низькі рівні вихідних сигналів, їх біполярність, частотний діапазон до декількох кілогерц, які за дистанційних вимірювань для поліпшення співвідношення сигнал/шум за збереження високої швидкодії використовують або інтенсивнісні сигнали в комбінації з автоматичною корекцією похибок, або кодоімпульсну модуляцію. Однак, і той, й інший підходи призводять до істотного зниження смуги корисного сигналу.

Завдяки своїм особливостям генераторні датчики належать до класу незаземлених (плаваючих) джерел сигналів [1]. Коректне вимірювання таких сигналів у вимірювальних системах можна здійснити приймачами, заземленими лише в одній точці, що сприяє зниженню рівня синфазних завад [2]. Тому такі датчики мають застосування, насамперед, у системах централізованого типу, в яких основна частина встаткування використовується в режимі розподілення часу, що ставить суперечливі вимоги до одночасного забезпечення високої швидкодії й точності вимірювальних каналів.

Дійсно, на більшості сучасних промислових підприємств рівень шумів, що наводяться на кожні 10 м кабелю за дистанційних вимірювань (таких, за яких вимірювана величина передається у виді електричного сигналу від однієї точки до іншої за проводами), досягає 200 мкВ [3]. Специфіка дистанційних вимірювань, насамперед, полягає у виникненні значних завад, що з'являються за рахунок нееквіпотенційності точок заземлення лінії зв'язку на приймальному й передавальному кінцях, а також паразитних зв'язків (ємнісних, індуктивних, резистивних) і високочастотних електромагнітних випромінювань. За передавання цифрових сигналів, окрім зазначених



В. Квасніков



Д. Орнатський



Н. Михалко

вище, виникають завади за рахунок неузгодженості хвильового опору лінії зв'язку з вихідним і вхідним опорами передавача й приймача відповідно. Тому, за безпосереднього передавання сигналів генераторних датчиків за лінією зв'язку співвідношення сигнал/шум на вході АЦП складе не більше 20—40 дБ за довжини кабелю 100 м, що не достатньо для отримання прецизійного результату безпосереднім вимірюванням переданого сигналу.

За дистанційних вимірювань застосовуються лінії зв'язку довжиною до декількох сотень метрів за використання інтенсивнісних сигналів як носіїв вимірювальної інформації й до 1000 м за використання кодо-імпульсної модуляції.

При цьому в першому випадку для поліпшення співвідношення сигнал/шум використовується аналогова або аналого-дискретна фільтрація (заснована на використанні ітераційних інтегровальних перетворювачів). У випадку використання аналогової фільтрації для поліпшення співвідношення сигнал/шум за збереження високої швидкодії необхідно збільшувати порядок фільтра, однак це призводить до зростання коливальності перехідної характеристики й збільшення тривалості перехідних процесів. Окрім цього, характерні для низькочастотної області флікер-шуми, що не піддаються усередненню, змушують використовувати методи ізолювання кожного вимірювального каналу [4] шляхом використання гальванічно ізолюваних блоків живлення й ізолювальних підсилювачів, що суттєво збільшує вартість вимірювальної системи.

У випадку використання кодо-імпульсної модуляції швидкість передавання інформації за дистанційних вимірювань становить близько 300 біт/с, що відповідає швидкодії менше 10 вимірювань за секунду, що забезпечує смугу корисного сигналу (за відновлення поліномами 1-го порядку з похибкою 0,1 %) 0,1–0,2 Гц, чого у багатьох випадках практики не достатньо.

Слід зазначити, що методи перетворення спектрів з метою перенесення інформативної частини спектра до високочастотної області, що передбачають використання різних видів модуляції, отримали поширення сьогодні лише в телеметричних (бездротових) системах. Це обумовлено тим, що в цьому випадку можливе застосування завадозахищених частотних і широтно-імпульсних демодуляторів на основі радіотехнічних (класичних) систем ФАПЧ.

При цьому в [5] показано, що методам аналогової фільтрації властивий такий недолік, як значне збільшення пульсацій вихідного сигналу (до декількох відсотків) у смузі прозорості фільтра за збільшення

його порядку. Ця обставина не дозволяє зменшувати постійну часу фільтра (за збереження рівня подавлення пульсацій за межами смуги пропускання) шляхом збільшення його порядку.

Використання ж в аналого-дискретних фільтрах з УВХ (таких, що мають значно більшу швидкодійу й менші пульсації) для зменшення пульсацій додаткового ФНЧ першого порядку в прямому ланцюзі призводить до можливості втрати стійкості (як системи другого порядку, охопленої негативним зворотним зв'язком), усунення якої сполучено з відповідним збільшенням тривалості перехідного процесу.

Метою статті є розроблення аналогового інтерфейсу для дистанційних вимірювань, вільного від зазначених вище недоліків, шляхом застосування широкосмугової ФАПЧ [6] та ітераційного інтегровального перетворювача (ІПП) і динамічними запам'ятовувальними пристроями (ДЗП) [7], а також розроблення методу корекції адитивної похибки інтегратора у ЧІМ- і ШІМ-модуляторах.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

У вимірювальних системах для поліпшення співвідношення сигнал/шум використовується імпульсна модуляція завдяки своїй більшій завадозахищеності [8] і точності, що досягається використанням як модуляторів імпульсних вимірювальних перетворювачів частотно-часової групи.

Два методи побудови частотно-часових вимірювальних перетворювачів, у яких використовують інтегратори з імпульсним зворотним зв'язком за інформативним параметром [9], отримали сьогодні найбільшого поширення:

- перетворювач напруга-частота з імпульсним зворотним зв'язком (ЧІМ-модулятор);
- перетворювач напруги в індекс широтно-імпульсної модуляції ($\delta = (T_1 - T_2) / (T_1 + T_2)$) з імпульсним зворотним зв'язком (ШІМ-модулятор).

Для першого методу характерні такі позитивні властивості:

- висока швидкодія (один цикл перетворення);
- широкий динамічний діапазон (більший 80 дБ);
- мала похибка нелінійності (менша 0,01 %);
- можливість передавання ЧІМ-сигналу на більшій відстані, оскільки частота не зазнає впливу характеристик каналу зв'язку.

Недоліками цього методу є можливість роботи лише з напругами однієї полярності й залежність вихідної частоти від напруги зсуву нуля інтегратора, що обмежує застосування методу для роботи з малими змінними напругами (< 100 мВ). У [10]

показано, що використання для усунення впливу зазначеної похибки інтегратора адитивної корекції призводить до зниження швидкодії.

Для другого методу є характерним:

- * висока швидкодія (один цикл перетворення);
- * широкий динамічний діапазон (більший 80 дБ);
- * мала похибка нелінійності (менша 0,01 %);
- * біполярний вхідний сигнал;
- * відсутність впливу значної частини інструментальних похибок (гістерезису компаратора, нестабільності амплітуди трикутної напруги, затримки спрацьовування комутаційних елементів) на значення інформативного параметра вихідного сигналу.

Недоліком методу також є вплив напруги зсуву нуля інтегратора, вплив паразитних параметрів і шумів каналу зв'язку (який починає позначатися зі збільшенням «завалу» фронтів імпульсного сигналу) на значення інформативного параметра вихідного сигналу, що знижує його завадозахищеність і тому обмежує застосування методу для побудови аналогових інтерфейсів для дистанційних вимірювань.

Для усунення впливу напруги зсуву нуля інтегратора на похибки ШІМ- і ЧІМ-модуляторів зі зворотним зв'язком за інформативним параметром запропоновано використовувати для побудови інтегратора диференціальний підсилювач із диференційно-струмовими входами [11] з використанням ідентичних операційних підсилювачів. У цьому випадку вираз для збільшення вихідної напруги інтегратора $\Delta U_{\text{инт}}(t_i)$ на i -ому періоді вихідного коливання ШІМ-модулятора матиме вид:

$$\Delta U_{\text{инт}}(t_i) = \frac{1}{C} \int_{t_i}^{t_i+T_{\text{п}}} \left(\frac{U_{\text{вх}}(t) + \Delta e_{\text{см}}}{R_1} + (-1)^j \frac{U_0}{R_2} + \frac{\Delta e_{\text{см}}}{R_2} \right) dt + e_{\text{см}}, \quad (1)$$

де $e_{\text{см}}$, $\Delta e_{\text{см}}$ — напруга зсуву нуля операційних підсилювачів інтегратора й їх різниця відповідно, C — ємність конденсатора в ланцюзі зворотного зв'язку інтегровального підсилювача, $j = 1, 2$ — номер внутрішньоперіодного відрізка часу.

Із виразу (1) випливає, що похибка через напругу зсуву нуля операційних підсилювачів інтегратора зменшиться до значення їх неідентичності ($\Delta e_{\text{см}}$, що входять до підінтегрального виразу), оскільки доданок $e_{\text{см}}$ еквівалентний напрузі зсуву нуля компаратора, яка не має впливу на інформативний параметр вихідного сигналу ШІМ-модулятора.

Використання диференційно-струмових каскадів, описаних у [12], з метою корекції похибок напруги зсуву нуля інтегратора, не є достатньо ефективним внаслідок необхідності використання для цього перетворювача напруга-струм на вході пристрою, не охопленого загальним негативним зворотним зв'язком.

На рис. 1 представлено структурну схему пропонуваного аналогового інтерфейсу, що дозволяє забезпечити поліпшення метрологічних характеристик у частині задоволення ряду суперечливих вимог за точністю, завадозахищеністю, швидкістю. Наприклад, порівняно з аналоговими інтерфейсами, що використовують інтенсивнісні інформаційні сигнали, очевидною перевагою є більш висока точність, обумовлена відсутністю впливу дестабілізуючих факторів на метрологічні характеристики вимірювального каналу. Порівняно зі системами, що використовують кодоімпульсну модуляцію, перевага полягає в забезпеченні більш широкої смуги корисного сигналу (на 1–2 порядки) за інших рівних умов.

Схема складається з генераторного датчика (датчик), що формує вхідний сигнал аналогового інтерфейсу $U_{\text{вх}}(t)$, ШІМ-модулятора (ШІМ), лінії зв'язку (ЛЗ), широкосмугового вимірювального підсилювача (ШВП), ШІМ-демодулятора, згладжувального фільтра нижніх частот (ФНЧ), з виходу якого знімається відновлений сигнал $U_{\text{вх}}^*(t)$. ШІМ-модулятор перетворить вхідний сигнал $U_{\text{вх}}(t)$ на послідовність прямокутних імпульсів з індексом широтно-імпульсної модуляції δ :

$$\delta = (U_x / U_0) \cdot (R_2 / R_1), \quad (2)$$

де U_x — середнє значення вхідного сигналу $U_{\text{вх}}(t)$

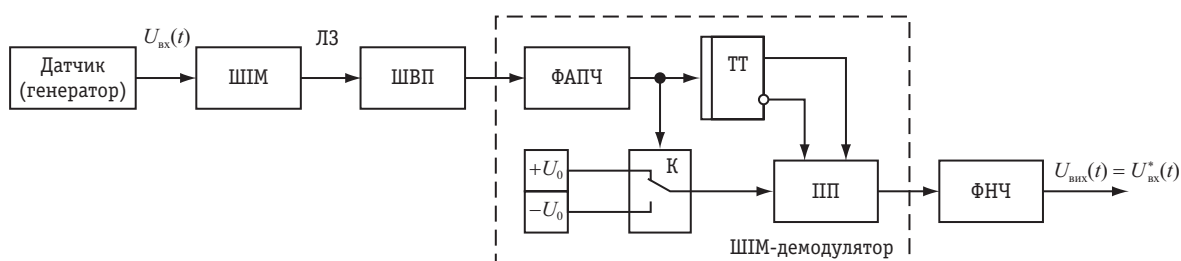


Рис. 1. Структурна схема аналогового інтерфейсу для генераторних датчиків

Fig. 1. Block scheme of analog interface for generator sensors

на інтервалі, рівному періоду несучої частоти ШІМ-модулятора ($T_1 + T_2 \approx \text{const}$). R_1 , R_2 , U_0 — параметри схемних елементів ШІМ-модулятора.

Із (1), (2) випливає, що ШІМ-модулятор з імпульсним зворотним зв'язком може бути виконаний у цьому випадку прецизійним, оскільки результат перетворення не залежить від нелінійності пилоподібної напруги несучого коливання, затримок увімкнення-вимикання ключових елементів, гістерезису компаратора, зсуву нуля інтегратора.

Вихідний сигнал ШІМ-модулятора надходить до трипровідної симетричної узгодженої лінії зв'язку (ЛЗ) типу кручена пара в екрані [13], підімкнену до входів ШВП з диференційно-струмовими входами, запропонованого у [14] синфазного сигналу, що забезпечує подавлення, у смузі до декількох сотень кілогерц, не менше 80 дБ. Це досягається завдяки роботі каскадів підсилювача в інвертувальному увімкненні й рівності петлевих посиленнь каналних підсилювачів, що дозволяє використовувати несучу частоту ШІМ-модулятора порядку декількох десятків кілогерц, що, у свою чергу, дає можливість розширити смугу корисного сигналу до декількох кілогерц.

Подавлення шумів нормального виду здійснюється за допомогою широкосмугової системи фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ), запропонованої у [15] і одмінної високою швидкістю (1–2 періоди вхідного сигналу), широкою смугою захвату (практично рівною діапазону перебудови керованого генератора), високою заводо захищеністю. Це досягається тим, що, на відміну від класичних (радіотехнічних) ФАПЧ, у структурі широкосмугової ФАПЧ замість генератора, керованого миттєвими значеннями напруги, використовується вимірювальний перетворювач «напруга-частота» з імпульсним зворотним зв'язком інтегровального типу, що виконує також роль ФНЧ. При цьому вихідний сигнал ФАПЧ, що знімається з виходу дільника частоти в ланцюзі зворотного зв'язку, є послідовністю прямокутних імпульсів, δ -індекс ШІМ яких прямо пропорційний δ -індексу ШІМ вихідного сигналу модулятора.

Далі ШІМ-сигнал, очищений у ШВП й ФАПЧ від впливу завад, надходить до швидкодіючого усереднювального пристрою, де відновлюється форма вихідного вхідного сигналу. Основним елементом відновлювального фільтра є ітераційний інтегровальний перетворювач із динамічними запам'ятовувальними пристроями, що забезпечує затримку формування поточного середнього значення вхідного сигналу всього на один період несучого коливання ШІМ-модулятора. А використання його для побудови від-

новлювальних фільтрів більш високих порядків [16] дає можливість скоротити кількість точок апроксимації практично на порядок і у такий спосіб розширити смугу корисного сигналу.

Здійснено моделювання аналогового інтерфейсу в програмному середовищі Electronics Workbench, яке підтвердило високі метрологічні характеристики аналогового інтерфейсу й їх нечутливість до змін параметрів компонентів. На рис. 2 наведено часові діаграми вхідного й вихідного сигналів аналогового інтерфейсу на частоті 20 Гц за несучої частоти ШІМ-модулятора, рівної 10 кГц, без вихідного згладжувального фільтра ФНЧ. При цьому використовувався відновлювальний фільтр нульового порядку.

Моделювання проводилося за співвідношення сигнал/шум приблизно 15 дБ, спектр шуму відповідав білому шуму в смузі до 20 кГц. При цьому затримка відновленого сигналу не перевищила 100 мкс, а час установлення перехідної функції з похибкою 0,1 % склав близько 500 мкс (за коефіцієнта підсилення ШІМ-модулятора $R_2/R_1 = 1$). За використання підсилювальних властивостей модулятора ($R_2/R_1 = 10$) отримані затримки збільшилися у 4 рази.

Для порівняння виконано моделювання фільтрації тієї ж суміші вхідного сигналу із шумом за допомогою аналогового фільтра. Для досягнення тієї ж якості очищення знадобилося застосувати ФНЧ 4-го порядку з апроксимацією АЧХ поліномами Баттерворта із частотою зрізу порядку 300 Гц. У цьому випадку затримка формування вихідного сигналу склала 1300 мкс, а час установлення з похибкою 1 % склав близько 10 мс. При цьому також спостерігаються незгасаючі коливання амплітудою 0,5 % у смузі прозорості фільтра. Отримані шляхом моделювання результати збіглися з теоретичним аналізом характеристик аналогового ФНЧ, що підтверджує адекватність розглянутих моделей.

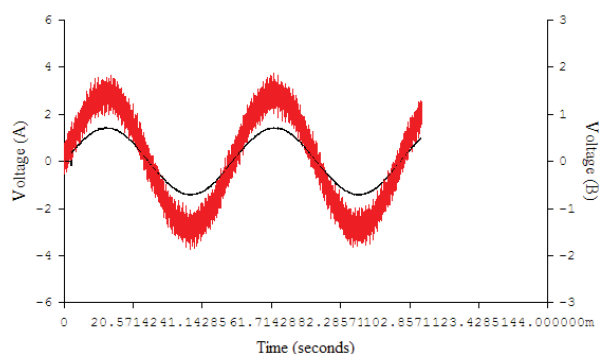


Рис. 2. Часова діаграма вхідного й вихідного сигналів аналогового інтерфейсу

Fig. 2. Timing sheet of analog interface IN/OUT signals

ВИСНОВКИ

У роботі запропоновано оригінальні технічні рішення щодо створення аналогового інтерфейсу з метрологічними характеристиками швидкодії й точності, які у десятки разів перевищують аналогічні характеристики наявних систем, за рахунок:

► застосування симетричної узгодженої трипроводної лінії зв'язку із широкосмуговим вимірювальним підсилювачем з диференціальними струмовими входами, що відрізняється застосуванням інвертувальних каскадів із рівністю петлевих посиленнь канальних підсилювачів;

► застосування широкосмугової ФАПЧ, що відрізняється використанням вимірювального перетворювача напруга-частота з імпульсним зворотним зв'язком як керованого генератора й одночасно фільтра синхронних завад;

► застосування ітераційного інтегровального перетворювача з динамічними запам'ятовувальними пристроями як відновлювального фільтра, що дозволяє мінімізувати динамічні похибки, оскільки

за ШІМ-модуляції частота сигналу залишається практично постійною;

► компенсації зсуву нуля операційного підсилювача ШІМ-модулятора шляхом використання підсилювача з диференціальними струмовими входами. Основною перевагою такого виду корекції (адитивної) є відсутність часових витрат.

Отже, запропонований інтерфейс дозволив вирішити проблему проведення дистанційних вимірювань інформативних параметрів сигналів генераторних датчиків у системах централізованого типу на відстанях до декількох сотень метрів з високою точністю (похибка порядку 0,1 %) у частотному діапазоні до декількох кілогерц за швидкодії, що в десятки разів перевищує швидкодію наявних систем (за інших рівних умов) за впливу значних промислових завад (зі співвідношенням сигнал/шум до 10—15 дБ). Високі метрологічні характеристики вимірювальних перетворювачів на основі запропонованих технічних рішень підтверджено результатами фізичного й математичного моделювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

- Field Wiring and Noise Considerations for Analog Signals [Electronic resource] / Publish Date: Mar 11, 2014. — Available at: <http://www.ni.com/white-paper/3344/en/>
- Тиль Р. Электрические измерения неэлектрических величин: Пер. з нім. — М.: Энергоатомиздат (Til R. Electrical measurements non-electrical values: Translation from german. — M. Energoatomizdat), 1987. — 192 с/р.
- Signal Conditioning Fundamentals for Pc-based Data Acquisition Systems / National Instruments // Application Note 048, November, 1997.
- R. Mark Stitt, David Kunst. IC Building Blocks Form Complete Isolated 4-20ma Current-loop Systems / Conversion Burr-Brown Corporation // Application Bulletin AB-032A, Printed in U.S.A. June, 1992.
- R. Mark Stitt, Rod Burt. Frequency-to-Voltage / Conversion Burr-Brown Corporation // Application Bulletin. AB-040A, Printed in U.S.A. June, 1993.
- Квасніков В.П., Орнатський Д.П., Осмоловський О.І. Частотний демодулятор з покращеними динамічними властивостями та завадозахищеністю на основі широкосмугової ФАПЧ. Вісник інженерної академії України (Kvasnikov V.P., Ornatskyi D.P., Osmolovskiy O.I. Frequency demodoulyator with the improved dynamic properties and zsvsdozahishenistyo on the basic of shirocosmougovoi FAPCh. Bulletin of engineering academy of Ukraine). — 2012. — № 2. — С/Р. 69–72.
- Орнатський Д.П., Тучин Р.Д. Цифровий вимірник параметрів комплексних опорів. А.С. 1615637 (СРСР) за ШІМ-модуляції частота сигналу залишається практично постійною;
- Опубл. у Б.І. (Ornatskyi D.P., Tuchin R.D. Digital measuring device of parameters of complex resistances. A.S. 1615637 (USSR) Publ. in B.I.) 1990, № 47.
- Куликовский К.Л., Купер В.Я. Методы и способы измерений: Учеб. пособие для вузов. — М.: Энергоатомиздат. (Kulikovskiy K.L., Kuper V. Ya. Methods and means of measurements. — M.: Energoatomizdat) — 1986. — 448 с/р.
- Feedback pulse width modulation counting method. U.S. Patent 3,500,109. Integrating analog-to-digital converter usable in digital voltmeters.
- Мартьяшин А.И., Шахов Е.К., Шляндин В.М. Преобразователи электрических параметров для систем контроля и измерения. — М.: Энергия (Martyashin A.I., Shahov Ye.K., Shlyandin V.M. Transformers of electric parameters for the checking systems and measuring. — M.: Energy), 1976. — 392 с/р.
- Патент № 74738, Україна. Трипровідний аналоговий інтерфейс / В.П. Бабак, Д.П. Орнатський. — Опубл (Patent №74738, Ukraine. Three-wire analog interface / V.P. Babak, D.P. Ornatskyi. — Published). 16.01.2006, Бюл. №1.
- Bruce W. G. Newby. Electronic Signal Conditioning / Butterworth-Heinemann Ltd. First published 1994. — 304 p.
- Электронное конструирование: Методы борьбы с помехами: Пер. с англ. / [Барнс Дж.] — М.: Мир (Electronic designing: Methods of struggle with hindrances:

- Translation from English. / [Barns G.] — M.: World, 1990. — 238 с/р.
14. Девін Л.М., Орнатський Д.П., Німченко Т.В., Вологдіна О.С. Вимірювальні засоби акустичної емісії при дослідженні процесу чистого точіння алюмінієвих сплавів. Східно-європейський журнал передових технологій (Devin L.M., Ornatskyi D.P., Nimchenko T.V., Vologdina O.S. Measuring facilities of acoustic emission at research of process of the clean sharpening of aluminium alloys. Vostochno-evropeyskyi magazine peredovuh tehnologiy). — 2005. — № 6/2(18). — С/Р. 127–131.
 15. Орнатський Д.П. Аналоговий інтерфейс для сполучення первинних перетворювачів з мікро-ЕОМ, вимірювальний перетворювач і двотактний підсилювач для використання в інтерфейсі. Патент № 68451 (UA) Опубл. (Ornatskyi D.P. Analog interface for connection of primary transformers with micro-EOM, measuring transformer and push-pull strengthener for the use in an interface. Patent № 68451 (UA) Published). 16.08.2004, бюл. № 8.
 16. Борошенко І.А., Куций Ю.В., Орнатський Д.П. Відновлювальний фільтр для аналогових інтерфейсів промислових інформаційно-вимірювальних систем. Вісник Національного авіаційного університету (Borodenko I.A., Kouts Yu.V., Ornatskyi D.P. Recovery filter for the analogue interfaces of the industrial informative-measuring systems. Announcer of the National aviation university). — 2005. — №3. — С/Р. 27–33. ■

Отримано / received: 14.08.2014.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Є. Т. Володарським (Україна).
Prof. Ye. T. Volodarskiy, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.

Ювілейна 20-та Міжнародна науково-технічна конференція «ГЕОФОРУМ 2015», присвячена 20-й річниці професійного свята працівників геології, геодезії і картографії України м. Львів та його околиці, 22–24 квітня 2015 року

Тематичні напрями роботи конференції:

- освіта в геодезії, картографії та землеустрої, Болонський процес;
- вивчення фігури та зовнішнього гравітаційного поля Землі з використанням наземних та супутникових методів;
- упровадження в Україні нової системи координат УСК-2000 та питання створення висотної складової системи координат;
- розвиток і використання GNSS технологій;
- створення та впровадження мережі активних перманентних GNSS-станцій;
- проблеми створення сучасних геодезичних мереж великих міст;
- сучасні тенденції розвитку картографії та картографічного виробництва;
- стан і перспективи розвитку цифрової фотограмметрії;
- проблеми впровадження національної інфраструктури геопросторових даних;
- геодезичне забезпечення АЕС, ТЕЦ, мостів, тунелів, автодоріг, залізниць, промбудівництва, геодезичний моніторинг у будівництві;
- напрями автоматизації інженерно-геодезичних і маркшейдерських робіт;
- тенденції розвитку сучасного геодезичного та фотограмметричного приладобудування;
- стан і проблеми геодезичної метрології;
- гідрологія та морська геодезія;
- сучасний землеустрій, кадастр та проблеми оцінки землі й майна в Україні та світі;
- військові навігаційні та ГІС- технології;
- діяльність громадських галузевих товариств і організацій.

Загальна інформація:

- на МНТК «Геофорум» будуть виголошені доповіді на замовлення провідних науковців, керівників та громадських діячів геодезичної галузі світу;
 - передбачається проведення виставки геодезичних приладів та технологій українських підприємств та провідних фірм світу;
 - мови конференції – українська, російська, англійська, польська, німецька;
 - планується видання чергового фахового збірника наукових праць Західного геодезичного товариства (2015, вип.1);
 - термін надсилання матеріалів для опублікування у Збірнику наукових праць — до 18. 01. 2015 р.
- Тексти статей до чергового Збірника (разом з анотаціями українською, російською та англійською мовами) подаються до оргкомітету в одному друкованому примірнику і комп'ютерному варіанті. Обов'язково надіслати також англійськомовний комп'ютерний варіант статті. Для авторів з України обов'язкова наявність акту експертизи про можливість публікації та однієї місцевої фахової рецензії. Автори мають повідомляти адресу, тел., факс, ел. адресу та оформляти тексти за вимогами редколегії Збірника.

КОНТАКТНІ РЕКВІЗИТИ: вул. Степана Бандери, 12, Львів-13, 79013, Україна, Національний університет «Львівська політехніка», Інститут геодезії, Оргкомітет конференції
тел. +38032-2582719 або +38050-3706402 (І.С.Тревого).
e-mail: itrevoho@gmail.com
Web.: <http://www.lp.edu.ua/geoforum/>,
<http://www.zgt.com.ua>

УДК 681.121:006.91

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ЗАСТОСУВАННЯ НАПІРНОГО ВИТРАТОМІРА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЦІННОСТІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

О. Середюк, доктор технічних наук, професор кафедри «Методи та прилади контролю якості та сертифікації продукції»,

В. Малісевич, аспірант кафедри,

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Обґрунтована можливість визначення енергетичної цінності природного газу на базі нової композиції первинних перетворювачів — напірної трубки Піто і термоанемометричного давача. Наведено математичну модель і алгоритм функціонування патентозахищеного напірного витратоміра за визначення енергетичної цінності природного газу. Змодельовано вплив компонентного складу природного газу, конструктивних параметрів і робочих умов функціонування напірного витратоміра на коефіцієнт тепловіддачі термоанемометричного давача. Установлено кореляційний зв'язок між коефіцієнтом тепловіддачі термоанемометричного давача та нижчою теплотою згорання природного газу за визначення його енергетичної цінності за допомогою напірного витратоміра.

The expediency of account of natural gas is grounded by the way of determination of energy value at measuring of volume or flow rate, which is regulated by the new standard of Ukraine [1], finds practical application in new scientific domestic [4, 5] and oversea [3] researches. Absence of this approach to the accounting of natural gas in functioning gas-measuring stations is shown [6, 7]. The essence

of design (Fig. 1) and the operation algorithm of the new technical solution of the head flowmeter based on the composition of primary converters — pressure Pitot tube and hot-wire sensor which is protected by the patent of Ukraine are expounded. The mathematical model of the pressure flowmeter for determining the energy value of natural gas is given. Effect of composition of natural gas (Fig. 2, 3), design parameters (Fig. 5 b) and functioning conditions (Fig. 5 a, 6 a, 6 b) of the pressure flowmeter on the heat transfer coefficient of hot-wire sensor is simulated which justifies the correctness of the proposed new technical solutions. The correlation (Fig. 4) between the heat transfer coefficient of hot-wire sensor and lower calorific value of natural gas is determined on the basis of actual data of the chemical composition of natural gas and the experimentally determined regression dependence is given. Numerical values of the variability of the heat transfer coefficient of hot-wire sensor from the absolute pressure and temperature of natural gas (table. 1) and the rate of flow through the sensor are recorded by the corresponding regression mathematical models. The research results prove the possibility of using head flowmeter to determine the energy value of flowing streams of natural gas.

Ключові слова: витратомір, трубка Піто, термоанемометричний давач, коефіцієнт тепловіддачі, природний газ, енергетична цінність.

Keywords: flowmeter, Pitot tube, hot-wire probe, heat transfer coefficient, natural gas, calorific value

Останнім часом все більш актуальним стає завдання визначення не лише об'єму чи витрати природного газу, але і його енергетичної цінності [1, 2]. Це підтверджується також результатами нових експериментальних досліджень [3-5]. Такий підхід до обліку природного газу дає змогу здійснювати розрахунок не лише за спожитий об'єм газу, а й за кількістю енергії, що в ньому акумульована. Це сприятиме більш економному і раціональному використанню запасів енергоносіїв в Україні.

Як відомо [1], енергетична цінність природного газу характеризує кількість енергії, яка транспортується газом у трубопроводі за одиницю часу. Інтегрування цієї характеристики впродовж інтервалу часу дає змогу отримати кількісне значення енергії природного газу, яка визначається добутком його теплоти згорання і виміряного при цьому об'єму газу.

Облік газу на вимірювальних станціях для природного газу згідно з міжнародним стандартом [6] можна здійснювати за допомогою роторних чи турбінних лічильників або із застосуванням засобів вимірювання, які реалізують метод змінного



О. Середюк



В. Малісевич

перепаду тиску. В Україні найбільшого поширення за практичної реалізації цього нормативного документа набули замірні вузли та дільниці для обліку газу, які забезпечують подання кінцевого результату вимірювання в одиницях об'єму, зведеного до стандартних умов, тобто до визначення параметрів комерційної вартості газу як товарної продукції [7]. Теплота згорання виміреного об'єму природного газу при цьому визначається як допоміжний контрольований параметр переважно методом газової хроматографії, яка повинна міститися в певних межах і на сьогодні практично не є визначальною за формування ціни газу.

Один із нових методів експрес-контролю енергетичної цінності природного газу [8] стосується лише визначення якісних характеристик природного газу як окремого інформативного параметра в інформаційно-вимірювальних системах обліку природного газу.

Із аналізу актуальності вибраного методу дослідження і літературних джерел випливає необхідність розроблення нових методів обліку газу, які би поєднували вимірювання об'єму чи витрати природного газу з урахуванням його енергетичної цінності.

Для визначення енергетичної цінності природного газу, на думку авторів, можна використати новий вид напірного витратоміра, який реалізовано на базі композиції первинних перетворювачів — трубки Піто і термоанемометричного давача [9]. У його основу покладено методику вимірювань шляхом визначення швидкості потоку в одній точці трубопроводу із застосуванням трубки Піто [10].

Відомі сфери застосування трубки Піто стосуються лише вимірювання витрати [11], а термоанемометричні перетворювачі знайшли застосування як для вимірювання якісних характеристик газів у складі термокодуктометричних газоаналізаторів [12], так і у складі термоанемометрів для вимірювання витрати.

Одні з нових досліджень стосуються поглибленого вивчення застосування термоанемометра [13, 14] за вимірювання витрати природного газу, що теоретично дозволяє вимірювати швидкість потоку з урахуванням теплофізичних параметрів робочого середовища. Однак на сьогодні практичне застосування цього методу стосується виключно визначення витрати. Також відомими є застосування термоанемометра для дослідження профілю швидкості потоків газу в трубопроводах [15], а не їх енергетичної цінності.

Метою роботи є теоретичне обґрунтування можливості застосування напірних витратомірів для

визначення енергетичної цінності плинних потоків природного газу.

НАПІРНИЙ ВИТРАТОМІР

Для вирішення завдання визначення енергетичної цінності плинних потоків природного газу під час його обліку лічильниками і витратомірами авторами запропоновано використовувати напірний витратомір [9], який дає змогу за вимірювання об'єму або витрати природного газу одночасно опосередковано визначати його теплоту згорання.

Напірний витратомір (рис. 1) містить розміщену в трубопроводі 2 з робочим середовищем 1 гідродинамічну трубку Піто 3 з приймачами повного 11 та статичного 12 тисків, закріплену в стакані 10 для монтажу напірного витратоміра. У трубопроводі 2 міститься термоанемометричний давач 13, під'єднаний до блока 8 вимірювання температури давача 13 і блока 9 визначення теплопровідності робочого середовища. Розрахунок витрати газу здійснюється обчислювальним блоком 7 за інформацією стосовно локальної швидкості газу (визначається блоком 6 за перепадом тиску на трубці Піто), його абсолютного тиску (блок 4) і абсолютної температури (блок 5 з давачем температури 14). При цьому вимірювання енергетичної цінності природного газу здійснюється блоком 7 з урахуванням теплоти згорання газу за інформацією з блока визначення теплопровідності, який розраховує її з урахуванням локальної швидкості природного газу. Завдяки такому конструктивному рішення напірний витратомір може здійснювати облік природного газу з урахуванням його теплоти згорання, використовуючи як інформативний параметр теплофізичні властивості природного газу, зокрема, його теплопровідність.

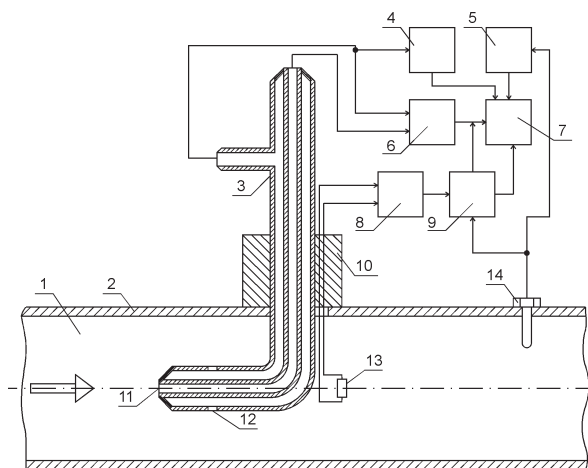


Рис. 1. Схема напірного витратоміра
Fig. 1. The scheme of the head flowmeter

Алгоритм функціонування напірного витратоміра за визначення енергетичної цінності E плинних потоків природного газу описується виразом [1]:

$$E = q \cdot H, \quad (1)$$

де q — об'ємна витрата природного газу; H — нижча теплота згорання природного газу.

Об'ємну витрату природного газу q обчислимо за формулою [10]:

$$q = K_v \cdot v \cdot S, \quad (2)$$

де K_v — відношення середньої швидкості потоку в певному перетині трубопроводу до швидкості потоку в точці вимірювання; v — локальна швидкість потоку; S — площа поперечного перетину трубопроводу.

Швидкість потоку робочого середовища v із застосуванням трубки Піто становить [11]:

$$v = \sqrt{2g\Delta p K_t / \rho}, \quad (3)$$

де g — прискорення вільного падіння; Δp — перепад тиску на трубці Піто; K_t — коефіцієнт трубки Піто, який визначається її конструктивним виконанням; ρ — густина газу за робочих умов.

Густину газу ρ обчислюють за формулою:

$$\rho = \rho_c (p T_c / p_c T), \quad (4)$$

де ρ_c — густина газу за стандартних умов; p , T — абсолютний тиск і абсолютна температура газу в трубопроводі відповідно; p_c , T_c — значення стандартних умов тиску і температури газу відповідно; K — коефіцієнт стисливості природного газу.

Для визначення нижчої теплоти згорання H природного газу скористаємося алгоритмом функціонування термоанемометричного перетворювача, який можна подати за допомогою рівняння теплового балансу між термоанемометричним перетворювачем (давачем) і робочим середовищем [11]:

$$I_d^2 R_d = \pi \alpha d_d l_d (T_d - T), \quad (5)$$

де I_d — електричний струм, що проходить через термоанемометричний давач; R_d — електричний опір термоанемометричного давача за функціонування напірного витратоміра; α — коефіцієнт тепловіддачі термоанемометричного давача; I_d , d_d , T_d — довжина, діаметр і температура робочого елемента термоанемометричного давача (платинової дротинки) за робочих умов напірного витратоміра.

Далі, використовуючи критерій подібності Нуссельта Nu , запишемо таку формулу для визначення коефіцієнта тепловіддачі α [11]:

$$\alpha = Nu \cdot \lambda / d_d, \quad (6)$$

де λ — коефіцієнт теплопровідності природного газу.

Ураховуючи, що процес теплообміну між металевою дротинкою і газовим середовищем відбува-

ється шляхом вимушеної конвекції, критерій подібності Nu можна подати через критерії подібності Прандтля Pr і Рейнольдса Re [16]:

$$Nu = 0,42 Pr^{0,2} + 0,57 Pr^{0,33} Re^{0,5}, \quad (7)$$

$$Pr = c_p \mu / \lambda; Re = \rho v d_d / \mu. \quad (8)$$

У (7)—(8) позначено: c_p , μ — теплоємність і динамічна в'язкість природного газу за робочих умов витратоміра відповідно.

Проаналізувавши (7)—(8), є очевидним, що теплофізичні параметри c_p , λ , μ , ρ є змінними та залежать від компонентного складу природного газу та робочих умов функціонування витратоміра (тиску і температури). Тому в процесі функціонування напірного витратоміра непостійність зазначених теплофізичних характеристик робочого середовища впливатиме на результати вимірювання, що потребує проведення кількісного дослідження їх впливу на функціонування напірного витратоміра.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

З цією метою проводилися теоретичні дослідження зміни теплофізичних параметрів природного газу для робочих тисків від 0,1 до 2,0 МПа за фіксованих температур 283,15; 293,15 і 303,15 К. За базові значення за моделювання взято газ, який за компонентним складом містить за об'ємом 93 % метану, 3,3 % етану, 1,8 % пропану, 1,5 % азоту, 0,4 % вуглекислого газу. В процесі моделювання змінювали вміст метану в діапазоні 89—97 %, етану — 0—6,6 %, пропану — 0—3 %, азоту — 0—3 %, вуглекислого газу — 0—0,8 %. При цьому зміна концентрації кожної із компонент аналітичним методом впливала на вміст інших складових природного газу пропорційним збільшенням або зменшенням до досягнення ними загального об'єму 100 %.

Для кожного складу природного газу за алгоритмом композиційного аналізу [17] розраховувався коефіцієнт теплопровідності λ . Числові значення коефіцієнтів теплопровідності компонентів природного газу визначалися на базі [18] із застосуванням методу інтерполяції.

Коефіцієнт теплоємності c_p для кожного складу газу розраховувався методом адитивності. Числові значення коефіцієнтів теплоємності для кожної з компонент взято з [18, 19].

Теплота згорання природного газу розраховувалася стосовно стандартних умов [20] (абсолютний тиск 101,325 кПа, абсолютна температура 293,15 К) шляхом сумування добутків об'ємних долей кожної з компонент та їх теплоти згорання.

На рис. 2 і 3 наведено результати моделювання впливу зміни концентрації у природному газі метану, етану, пропану, азоту і вуглекислого газу на його теплопровідність, теплоємність і нижчу теплоту згорання за різних тисків за температури 293,15 К.

Із аналізу результатів моделювання видно, що зміна компонентного складу природного газу неоднаково впливає на його теплофізичні та енергетичні характеристики за різних робочих тисків. Так, наприклад, за тиску 0,1 МПа збільшення концентрації метану на 1 % призводить до зменшення теплоти згорання природного газу на 0,47 % за одночасно-

го зростання теплопровідності на 0,27 % (рис. 2, а) і зростання теплоємності на 0,32 % (рис. 3, а). Разом із тим, за зростання робочого тиску до 1,0 МПа збільшення концентрації метану на 1 % зменшує теплопровідність на 0,05 % (рис. 2, а) і збільшує теплоємність на 0,19 % (рис. 3, а).

Зростання концентрації етану призводить до зворотних за якісним впливом явищ. Так, збільшення концентрації етану на 1 % сприяє зростанню теплоти згорання на 0,74 %. При цьому як за низьких, так і за високих тисків зростання концентрації етану на 1 % зменшує теплопровідність на 0,28 % (рис. 2, б) і зменшує теплоємність на 0,19 % (рис. 3, б).

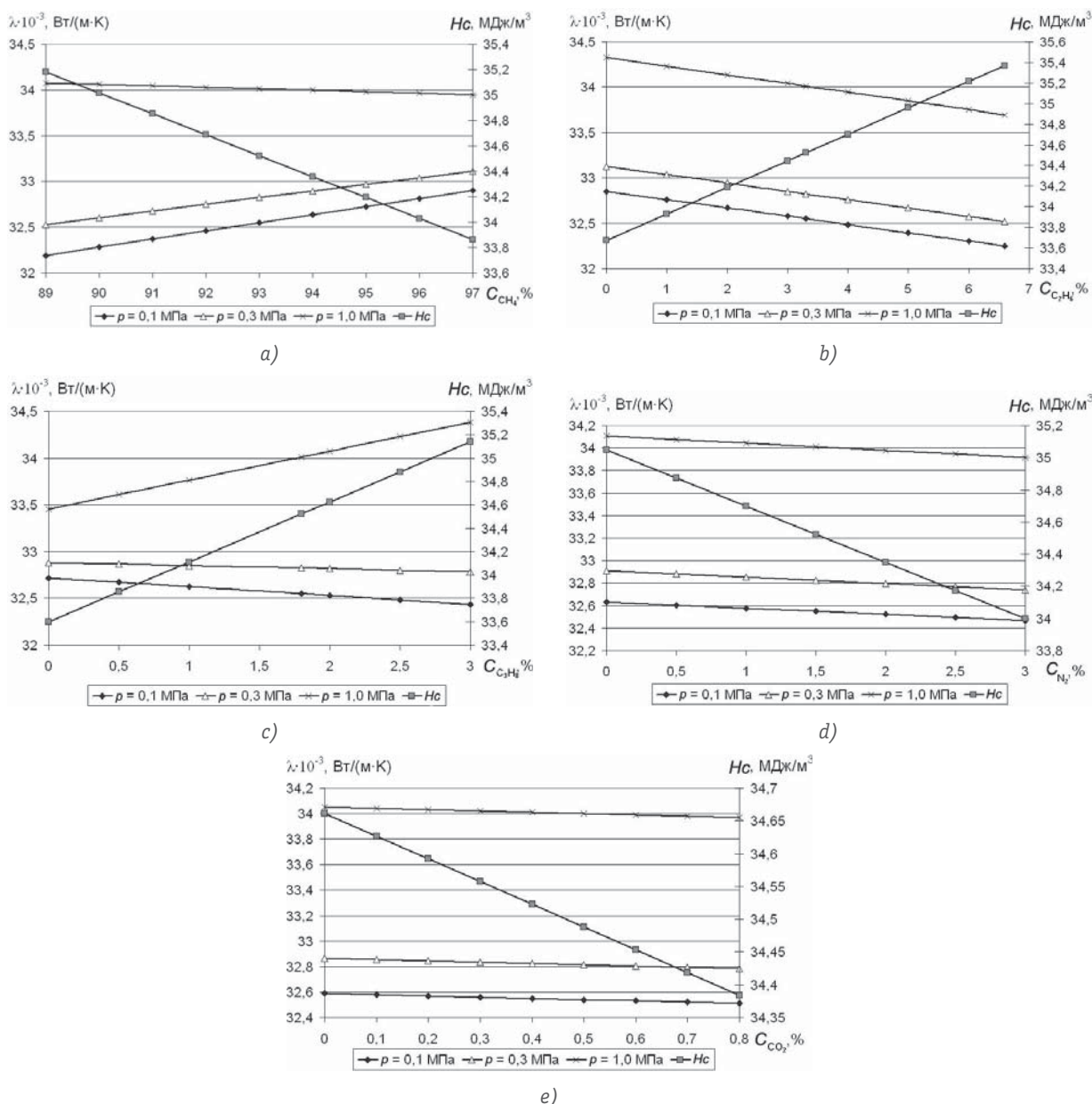


Рис. 2. Залежність теплопровідності λ для різних значень абсолютного тиску p природного газу і його нижчої теплоти згорання H_c за зміни концентрації метану (а), етану (б), пропану (с), азоту (д), вуглекислого газу (е)

Fig. 2. The dependence between the thermal conductivity λ for different values of absolute pressure p and the lower calorific value of natural gas H_c with changing concentration of methane а), ethane б), propane в), nitrogen д), dioxide е)

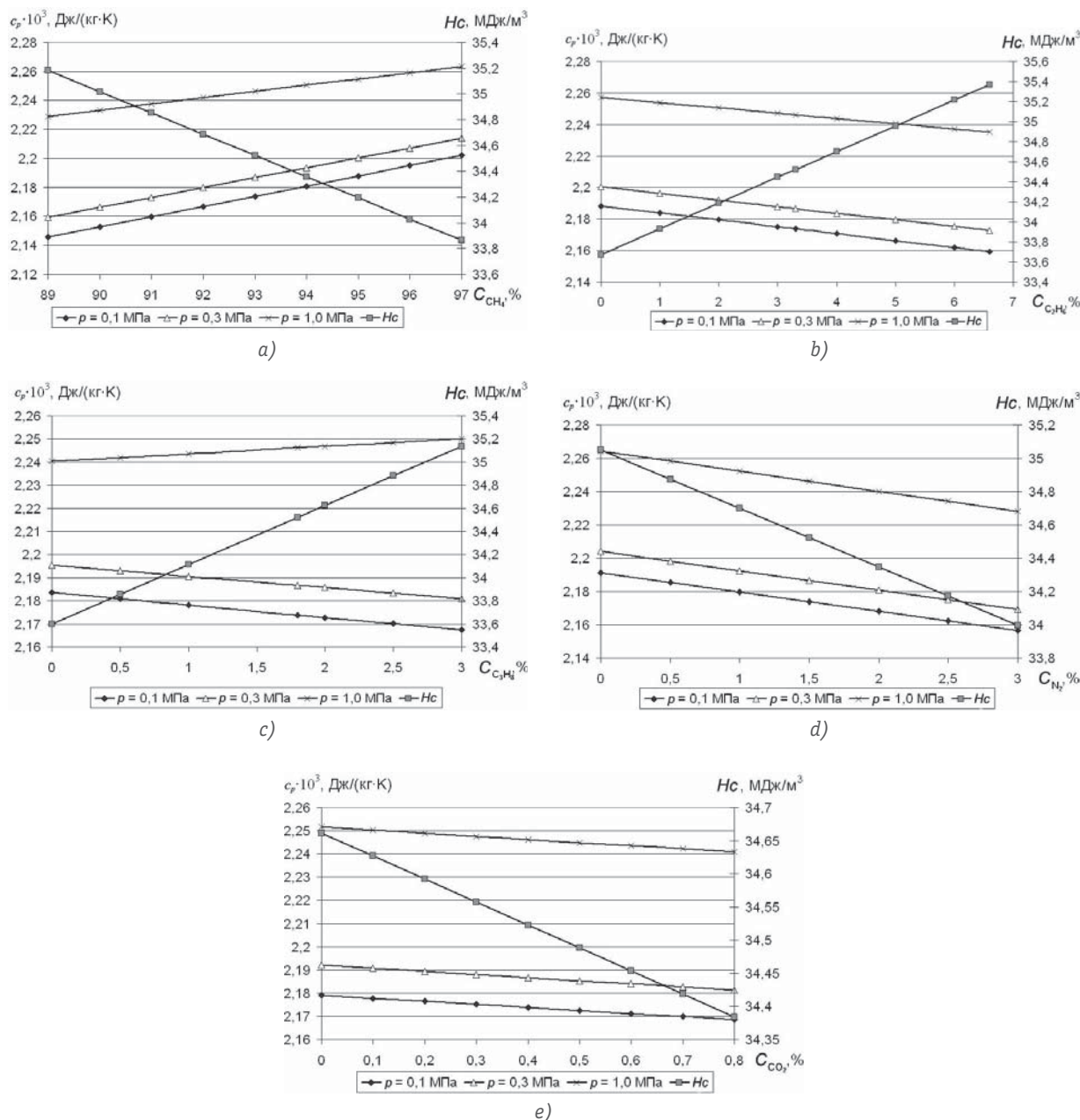


Рис. 3. Залежність теплоємності c_p для різних значень абсолютного тиску p природного газу і його нижчої теплоти згорання H_c за зміни концентрації метану (а), етану (б), пропану (с), азоту (д), вуглекислого газу (е)

Fig. 3. The dependence between the thermal capacity c_p for different values of absolute pressure p and the lower calorific value H_c of natural gas with changing concentration of methane а), ethane б), propane с), nitrogen д), dioxide е)

Зростання концентрації пропану також сприяє зростанню теплоти згорання, а зміна теплофізичних властивостей природного газу при цьому, за низьких тисків за якісним впливом, співпадає з впливом кількості етану (зменшуються значення λ , c_p), а за високих тисків λ зростає, а c_p зменшується (рис. 2, с і рис. 3, с).

Вплив концентрації негорючих компонентів (азоту, вуглекислого газу) якісно між собою є аналогічним. Зі зростанням концентрації як азоту, так і вуглекислого газу теплота згорання зменшується

і одночасно зменшуються значення параметрів λ і c_p за різних робочих тисків.

За аналізу зауважимо також, що теплота згорання розраховувалася лише за стандартних умов, що відображено однією лінією зміни параметра H_c на кожному із графіків.

Проведені теоретичні дослідження і неоднаковий вплив компонент природного газу і робочих умов функціонування напірного витратоміра вказують на доцільність використання в його алгоритмі функціонування комплексного параметра, який би

функціонально об'єднав вміст горючих і негорючих компонентів природного газу з його теплофізичними та енергетичними характеристиками. Таким параметром, на думку авторів, може бути коефіцієнт тепловіддачі α (6). Однак, урахувавши те, що для аналітичного визначення цього коефіцієнта необхідна інформація стосовно значень усіх складових, які входять до критерію Нуссельта, практична реалізація алгоритму (5) напірного витратоміра є неможливою без відомого компонентного складу. Тому доцільним є застосування статистичних методів регресійного і кореляційного аналізу для формування нових методологічних аспектів функціонування досліджуваного витратоміра.

Для встановлення емпіричним шляхом кореляційного зв'язку між коефіцієнтом тепловіддачі за стандартних умов роботи витратоміра α_C і теплою згорання H_C природного газу використовуємо методологію статистичного аналізу відомої бази даних компонентного складу природного газу.

На основі реальних даних, отриманих хімічною лабораторією ПАТ «Івано-франківськгаз» упродовж 2008—2010 років під час проведення хроматографії природного газу, сформовано базу даних, яка містить відомості щодо компонентного складу, нижчої теплоти згорання, густини кожного із 97 різних складів природного газу за стандартних умов. До бази даних відібрані гази, що у своєму складі містили метан з об'ємною концентрацією (92,5—98,1) %, етан — (0,6—3,3) %, пропан — (0,2—1,5) %, азот — (0,5—1,2) %, вуглекислий газ — (0—0,9) %.

Для кожного складу природного газу за викладеною вище методикою композиційного аналізу розраховувалися коефіцієнти теплопровідності та теплоємності. Крім того, визначався коефіцієнт динамічної в'язкості згідно з відомим алгоритмом [20].

Далі, використовуючи формули (6)—(8), для кожного складу природного газу розраховувався коефіцієнт тепловіддачі α_C . Оскільки у (8) входить швидкість робочого середовища і діаметр дротинки перетворювача, швидкість потоку приймалася рівною 1 м/с, а діаметр металеві дротинки — 30 мкм. Для кожного складу газу також розраховувалася нижча теплота згорання [20]. Отримані значення коефіцієнта α_C у функціональній залежності від значення нижчої теплоти згорання для різного компонентного складу природного газу графічно ілюстровано на рис. 4.

Із аналізу цього рисунка можна зробити висновки стосовно однозначної регресійної залежності нижчої теплоти згорання H_C за стандартних умов від коефіцієнта тепловіддачі α_C , що обґрунто-

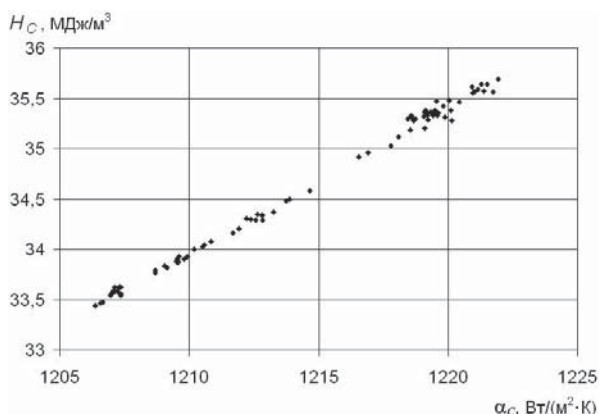


Рис. 4. Графічна залежність нижчої теплоти згорання H_C природного газу від коефіцієнта тепловіддачі α_C термоанемометричного давача за $v = 1$ м/с, $d = 30$ мкм

Fig. 4. The graphical dependence between the lower calorific value H_C of natural gas and the heat transfer coefficient α_C of the hot-wire probe at $v = 1$ м/s, $d = 30$ μ m

вує можливість використання останнього як інформативного параметра за функціонування напірного витратоміра.

Здійснивши апроксимацію експериментальних даних, наведених на рис. 4, можна записати таку функціональну залежність нижчої теплоти згорання природного газу від коефіцієнта тепловіддачі:

$$H_C(\alpha) = 145205 \cdot \alpha_C - 141,732 \cdot 10^6, \text{ Дж/м}^3. \quad (9)$$

У процесі функціонування напірного витратоміра коефіцієнт тепловіддачі α за робочих умов можна визначати експериментальним шляхом на базі алгоритму (5) у такий спосіб:

$$\alpha = I_D^2 R_D / \pi d_D l_D (T_D - T). \quad (10)$$

Температуру T_D металеві дротинки термоперетворювача можна розрахувати на підставі відомої зміни її фізичних властивостей:

$$T_D = (R_D + R_C (kT_C - 1)) / kR_C, \quad (11)$$

де R_C — електричний опір дротинки за стандартних умов; k — температурний коефіцієнт електричного опору дротинки.

Значення електричного опору R_C визначимо за відомою формулою:

$$R_C = r \cdot l_D / S_D, \quad (12)$$

де r — питомий електричний опір матеріалу дротинки.

Очевидно, що за функціонування витратоміра на коефіцієнт α впливатимуть конструктивні особливості напірного витратоміра, а також тиск, температура, швидкість потоку робочого середовища.

Використовуючи формули (6)—(8), змодельовано вплив конструктивних параметрів напірного

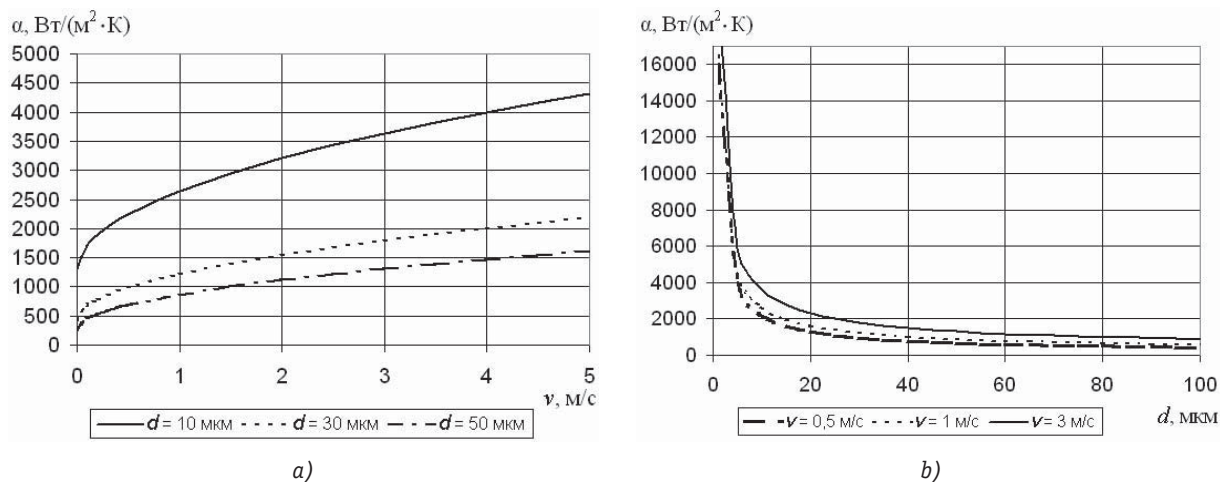


Рис. 5. Графічна залежність коефіцієнта тепловіддачі термочутливого давача від швидкості потоку робочого середовища (а) і від діаметра металеві дротинки (б)

Fig. 5. The graphical dependence between the heat transfer coefficient of heat-sensitive sensor and the flow velocity of the working environment (a) and the diameter of metal wire (b)

виротоміра та швидкості потоку робочого середовища на коефіцієнт тепловіддачі α . Для моделювання умовно вибрано природний газ постійного складу, який за об'ємом містить 95 % метану, 2,3 % етану, 0,8 % пропану, 0,5 % вуглекислого газу та 1 % азоту (середні значення з бази даних для регресійного аналізу коефіцієнта α_C). На рис. 5 а, б наведено графічні залежності коефіцієнта тепловіддачі α від швидкості потоку робочого середовища і діаметра металеві дротинки за стандартних умов відповідно. Значення коефіцієнта тепловіддачі за різних швидкостей розраховувалися за умови використання металеві дротинки фіксованого діаметра 30 $\mu\text{м}$. Водночас для мо-

делювання залежності коефіцієнта α від діаметра металеві дротинки обчислювалися за умови швидкості потоку 1 $\text{м}/\text{с}$. Із графіків є очевидним суттєвий вплив діаметра дротинки і швидкості потоку на коефіцієнт тепловіддачі, що підкреслює необхідність оптимального вибору діаметра металеві дротинки.

Разом із цим із (6)–(8) видно, що на коефіцієнт тепловіддачі α також впливають теплофізичні параметри робочого середовища: теплопровідність, теплоємність, динамічна в'язкість та густина. Вони, у свою чергу, визначаються не лише компонентним складом природного газу, але і його тиском та температурою. На рис. 6 наведено графічні залежності

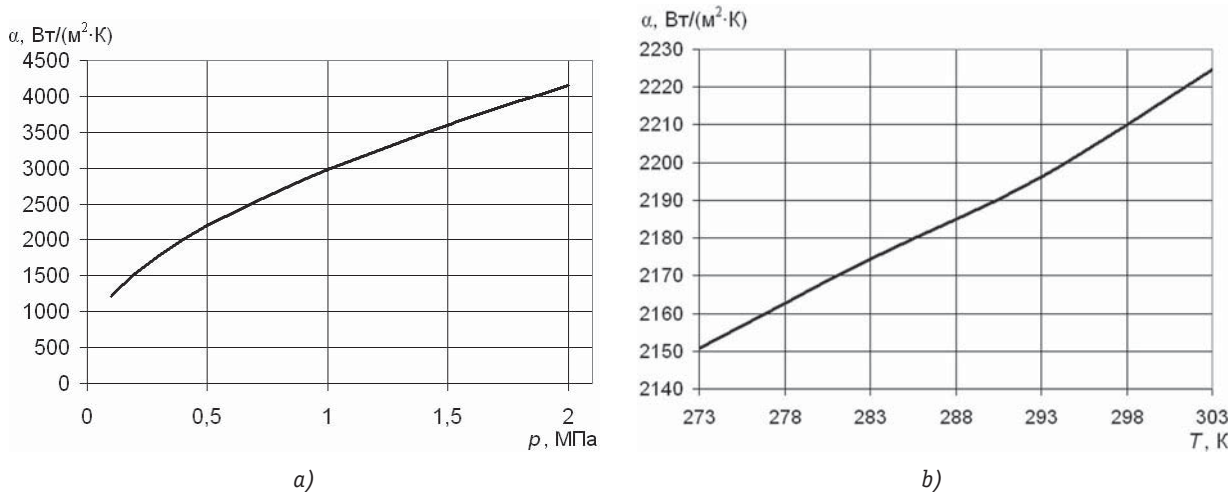


Рис. 6. Графічна залежність коефіцієнта тепловіддачі термочутливого давача від тиску робочого середовища за температури 293,15 К (а); від температури робочого середовища за тиску 0,5 МПа (б)

Fig. 6. The graphical dependence between the heat transfer coefficient of heat-sensitive sensor and the pressure of the working environment at the temperature 293.15 K (a) and the temperature of the working environment at the pressure 0.5 MPa (b)

коефіцієнта тепловіддачі α термочутливого давача за температури й тиску природного газу в трубопроводі за температури 293,15 К і тисків 0,1; 0,5; 1,0 МПа (рис. 6, а); за тиску 0,5 МПа і температурах 283,15; 293,15 і 303,15 К (рис. 6, б).

Ураховуючи, що регресійна залежність (9) для визначення теплоти згорання природного газу справедлива лише для коефіцієнта тепловіддачі α_C , визначеного за стандартних умов і швидкості потоку 1 м/с, за реалізації алгоритму функціонування напірного витратоміра за будь-яких робочих умов необхідно:

1) здійснити перерахунок коефіцієнта тепловіддачі за робочої швидкості потоку робочого середовища $\alpha(v)$ на коефіцієнт тепловіддачі за швидкості потоку 1 м/с $\alpha(v_1)$;

2) отримане значення коефіцієнта $\alpha(v_1)$ за робочих умов (тиску і температури) перерахувати на коефіцієнт тепловіддачі за стандартних умов α_C ;

3) обчислити значення нижчої теплоти згорання природного газу за стандартних умов шляхом підстановки отриманого значення α_C у формулу (9).

Для здійснення перерахунку коефіцієнта тепловіддачі з робочої швидкості до швидкості 1 м/с

використовується апроксимаційна функція виду рис. 5 а моделювання залежності коефіцієнта тепловіддачі від швидкості потоку робочого середовища для $d = 30$ мкм. Наприклад, для вибраного для моделювання природного газу з усередненими значеннями компонентів вона записується:

$$\alpha(v) = \sqrt{612500 \cdot v + 430}. \quad (13)$$

Для перерахунку коефіцієнта тепловіддачі за швидкістю запишемо відношення $\alpha(v)/\alpha(v_1)$. Підставивши $v_1 = 1$ м/с, отримуємо таку формулу для визначення $\alpha(v_1)$:

$$\alpha(v_1) = \frac{1212,6 \cdot \alpha(v)}{\sqrt{612500 \cdot v + 430}}, \quad (14)$$

Для перерахунку $\alpha(v_1)$ до α_C додатково необхідно встановити залежність цього коефіцієнта від тиску та температури. Для цього на основі розрахованого набору значень коефіцієнта тепловіддачі за робочих тисків 0,1...2,0 МПа і температур 273,15...303,15 К (таблиця) виведено апроксимаційну залежність, яка дозволила математично пов'язати коефіцієнт тепловіддачі з тиском і температурою робочого середовища за швидкості потоку

Табл. Числові значення коефіцієнта тепловіддачі за робочих тисків (0,1—2,0) МПа і температурах (273,15—303,15) К

Table. The numerical value of the heat transfer coefficient at an operating pressure (0.1—2.0) MPa and temperature (273.15—303.15) K

Температура, К	Тиск, МПа				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
273,15	1159,461	1483,127	1736,307	1954,297	2150,83
283,15	1182,79	1508,169	1761,777	1979,378	2174,26
293,15	1207,449	1534,143	1787,573	2003,642	2196,189
303,15	1232,419	1561,24	1815,833	2032,235	2224,567
	Тиск, МПа				
	0,6	0,7	0,8	0,9	1
273,15	2331,494	2500,798	2661,406	2815,296	2963,501
283,15	2354,112	2521,588	2680,382	2831,556	2976,909
293,15	2372,316	2536,049	2691,122	2837,429	2977,323
303,15	2400,04	2562,468	2715,479	2860,43	2998,457
	Тиск, МПа				
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
273,15	3098,359	3228,488	3354,58	3477,079	3596,564
283,15	3111,002	3240,305	3365,638	3487,331	3605,802
293,15	3110,412	3238,692	3362,872	3483,386	3600,652
303,15	3131,094	3258,86	3382,423	3502,265	3618,806
	Тиск, МПа				
	1,6	1,7	1,8	1,9	2
273,15	3687,459	3800,252	3910,742	4019,503	4126,372
283,15	3721,57	3834,763	3945,628	4054,641	4161,733
293,15	3715,116	3826,975	3936,476	4044,097	4149,769
303,15	3732,311	3843,154	3951,589	4058,053	4162,522

1 м/с та за умови використання металевої дротинки діаметром 30 мкм у термоанемометричному давачі:

$$\alpha(p, T) = 1,54 \cdot T + 0,00146 \cdot p + 947,48, \quad (15)$$

де температура T у К, а тиск p у Па.

Далі, знову використовуючи відношення α_1/α_C , запишемо відношення $\alpha(v_1)/\alpha_C$.

Після підстановки до останнього значень $p_C = 101325$ Па і $T_C = 293,15$ К отримаємо формулу для визначення α_C :

$$\alpha_C = \frac{1544,68 \cdot \alpha(v_1)}{1,54 \cdot T + 0,00146 \cdot p + 947,48}. \quad (16)$$

Отже за розрахованим значенням коефіцієнта α_C і знайденим за рівнянням (9) значенням нижчої теплоти згорання H_C стає можливим визначення за (1) енергетичної цінності природного газу для його виміреної витрати.

ВИСНОВКИ

Розроблено математичну модель і алгоритм визначення нижчої теплоти згорання природного газу напірного витратоміром, які виключають необхідність визначення компонентного складу природного газу за його функціонування, що значно спрощує і здешевлює процес вимірювання. За результатами статистичного оцінювання компонентного складу і теплофізичних властивостей встановлено зв'язок між коефіцієнтом тепловіддачі термоанемометричного перетворювача і нижчою теплою згорання природного газу. Проведені дослідження підтверджують можливість використання напірного витратоміра для визначення енергетичної цінності плинних потоків природного газу.

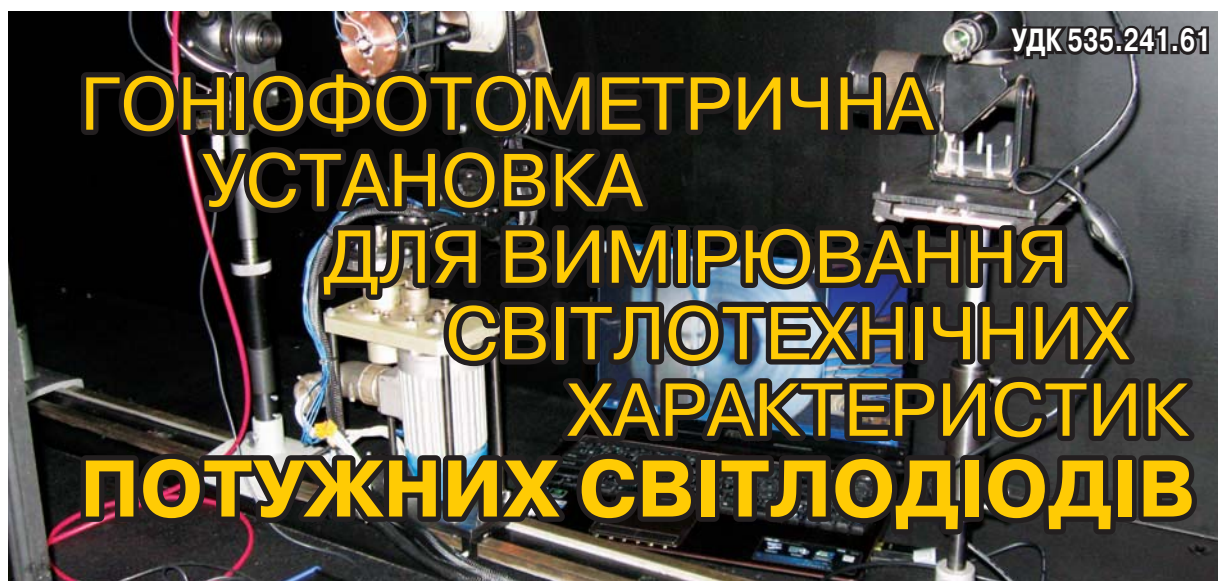
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Природний газ. Визначення енергії. ДСТУ ISO 15112:2009. — К.: Держспоживстандарт України (Natural gas. Energy determination. ДСТУ ISO 15112:2009. — Kyiv: State Committee of Ukraine), 2010. — 48 с/р.
2. Крук І.С. Облік природних газів за їх енергетичною цінністю / І.С. Крук // Приладобудування: стан і перспективи: XIII Міжнар. наук.-техн. конф., 23-24 квітня 2014 р., Київ: зб. тез доповідей. — К.: ПБФ, НТУУ «КПІ» (Krook I.S. Accounting of natural gas for its energy value / I.S. Krook // Instrument engineering: Status and prospects: XIII International Scientific and Technical Conference, 23-24 april 2014 y., Kyiv: book of abstracts. — Kyiv: Faculty instrument making, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»), 2014. — с/р. 220-221.
3. Roslonek G. Uwarunkowania wdrozenia rozliczen paliw gazowych w jednostkach energii w krajowym systemie gazowniczym / G. Roslonek // Techniki i technologie dla gazownictwa — pomiary, badania, eksploatacja: Konf. Nauk.-Techn. FORGAZ 2014, 15—17 stycznia 2014 r., Muszyna: Prace naukowe Instytutu Nafty i Gazu, Nr 194. — Krakow: Instytut Nafty i Gazu, 2014. — S. 139—143.
4. Романів В.М. Дослідження експериментального зразка системи контролю енерговмісту природного газу / В.М. Романів, С.А. Чеховський // Метрологія та прилади (Romaniv V.M. Investigation of the experimental design of control system of natural gas energy yield / V.M. Romaniv, S.A. Chehovskiy // Metrology and instruments). — 2014. — № 1. — с/р. 192—196.
5. Мотало А.В. Комплексне оцінювання якості природного газу як енергоносія / А.В. Мотало // Вісник НУ «Львівська політехніка» (Motalo A.V. Comprehensive evaluation of quality of natural gas as an energy source / A.V. Motalo // Herald of National University «Lviv Polytechnic»). — 2008. — Вип. 608. — с/р. 137—142.
6. Gas supply. Natural gas measuring stations. Functional requirements. EN 1776:1999. — 36 p.
7. Облік природного газу: довідник / М.П. Андрієшин, О.М. Карпаш, О.Є. Середюк [та ін.]; за ред. С.А. Чеховського. — Івано-Франківськ: ПП «Сімік» (Accounting for natural gas: guide / M.P. Andriishyn, O.M. Karpash, O.E. Serediuk [and others]; as reworded by S.A. Chehovskiy. — Ivano-Frankivsk: Private Enterprise «Simyk»), 2008. — 180 с/р.
8. Пат. 92846 С2 Україна, МПК (2009) G 01 N 25/20. Спосіб експрес-визначення теплоти згорання природного газу / Карпаш О.М., Дарвай І.Я., Карпаш М.О. [та ін.]; заявник і патентовласник — Івано-Франківський нац. техн. ун-т нафти і газу (Pat. 92846 C2 Ukraine, IPC (2009) G 01 N 25/20. The method of express determination of calorific value of natural gas / Karpash O.M., Darvay I.Ya., Karpash M.O. [and others]; applicant and owner of a patent — Ivano-Frankivsk National Technical University of oil and gas). — № a200905201; заявл. 25.05.2009; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 23.
9. Пат. 99887 С2 Україна, МПК (2012.01) G 01 F 1/00. Парціальний витратомір / Середюк О.Є., Малісевич В.В.; заявники і патентовласники — Середюк О.Є., Малісевич В.В. (Pat. 99887 C2 Ukraine, IPC (2012.01) G 01 F 1/00. The partial flowmeter / Serediuk O.E., Malisevych V.V.; applicant and owner of a patent — Serediuk O.E., Malisevych V.V.). — № a201114278; заявл. 02.12.11; опубл. 10.10.12, Бюл. № 19.
10. Расход жидкости и газа. Методика выполнения измерений по скорости в одной точке сечения трубы. ГОСТ 8.361-79. — М.: Госуд. комитет СССР по стандартам

- (Flow rate of liquid and gas. Method of measuring the speed at one point pipe section. ГОСТ 8.361-79. — Moscow: Gov't. Committee of the USSR on Standards), 1979. — 14 с/р.
11. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник: Кн. 1 / П.П. Кремлевский. — СПб.: Политехника (Kremlevskiy P.P. Meters and counters the quantity of substances: guide: Book 1 / P.P. Kremlevskiy. — St. petersburg.: Politehnic), 2002. — 409 с/р.
 12. Метрологія і технологічні вимірювання у нафтовій та газовій промисловості: навч. посіб. / С.А. Чеховський, Н.М. Піндус, О.Є.Середюк [та ін.]; за ред. С.А.Чеховського. — Івано-Франківськ: ІФНТУНГ (Metrology and measurement technology in the oil and gas industry: study guide / S.A. Chehovskiy, N.M. Pindus, O.E. Serediuk [and others]; as reworded by S.A. Chehovskiy. — Ivano-Frankivsk: Ivano-Frankivsk National Technical University of oil an gas), 2010. — 534 с/р.
 13. Łętowski S. Pomiarы strumienia gazu ziemnego przepływomierzem termoanemometrycznym, część 1 — analiza teoretyczna / S. Łętowski, P. Słomiński, W. Słomiński // Pomiarы Automatyka Kontrola. — 2005. — № 7/8. — S. 29-32.
 14. Łętowski S. Pomiarы strumienia gazu ziemnego przepływomierzem termoanemometrycznym — część 2: badania na obiekcie rzeczywistym / S. Łętowski, P. Słomiński, W. Słomiński // Pomiarы Automatyka Kontrola. — 2005. — № 10. — S. 8—11.
 15. Szufłenski P. Zastosowanie przepływomierzy typu clampon nie tylko do pomiarów strumienia objętości gazu / P. Szufłenski, D. Wysokinski // Techniki i technologie dla gazownictwa — pomiary, badania, eksploatacja: Konf. Nauk.-Techn. FORGAZ 2014, 15—17 stycznia 2014r., Muszyna: Prace naukowe Instytutu Nafty i Gazu, Nr 194. — Krakow: Instytut Nafty i Gazu, 2014. — S. 81—87.
 16. Крейт Ф. Основы теплопередачи: пер. с англ. / Ф. Крейт, У. Блек. — М.:Мир (Kreyt F. Fundamentals of heat transfer / F. Kreyt, U. Black. — Moscow: Mir), 1983. — 512 с/р.
 17. Рид Р. Свойства газов и жидкостей: справочное пособие / Р. Рид, Дж. Праусниц, Т. Шервуд; пер. с англ. — Л.: Химия (Reid R. The properties of gases and liquids / R. Reid, J. Prausnitz, T. Shervood. — Lviv: Chemistry), 1982. — 592 с/р.
 18. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н.Б. Варгафтик. — М.: Наука (Vargaftik N.B. Handbook of thermophysical properties of gases and liquids / N.B. Vargaftik. — Moscow: Science), 1972. — 720 с/р.
 19. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов / В.С. Чиркин. — М.: Госуд. изд-во физико-матем. литературы (Chirkin V.S. Thermophysical properties of materials / V.S. Chirkin. — Moscow: Gov't. Publishing of physics and mathematics literature), 1959. — 356 с/р.
 20. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств природного газа, его компонентов и продуктов его переработки: ГОСТ 30319.1-96. — М.: Изд-во стандартов (Natural Gas. Methods of calculating the physical properties. Determination the physical properties of natural gas, its components and its refined products: ГОСТ 30319.1-96. — Moscow: Publishing House of standards), 1997. — 14 с/р. ■

Отримано / received: 31.07.2014.

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



Д. Зубков, асистент кафедри світлотехніки і джерел світла,
Л. Назаренко, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри,
Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова

Розроблено гніофотометричну установку для вимірювання світлових та спектральних характеристик випромінювання потужних світлодіодів за заданої температури р-п переходу. Розглянуто особливості розробленої конструкції обертального блока та фотометра. Обґрунтована необхідність використання фотометричної кулі малого діаметра як дифузора та вхідної оптики спектрометра.

The goniophotometer facility is constructed for characterizing photometric and spectral properties of high-power light

emitting diodes (LEDs) in accordance with recommendations of the International Commission on Illumination. Considered in detail the design features of each part and expediency of the selected options; described design features of the rotational block and photometer; the process of LED characteristics measuring at the desired junction temperature; showed the necessity of using small photometric sphere as diffuser and as input optics for spectrometer. The basic characteristics and sources of error when using a photometer are presented.

Ключові слова: вимірювання потоку світлодіодів, потужний світлодіод, гоніофотометр.
Keywords: measurements of LEDs luminous flux, high-power LED, goniophotometer.

Останніми роками світловипромінювальні діоди (СВД) надзвичайно швидкими темпами ввійшли до нашого повсякденного життя. Вже ні для кого не є новою бачити лампи зі СВД для прямої заміни традиційних джерел світла (так звані «ретрофіти») чи повноцінні освітлювальні прилади (ОП) зі СВД на прилавках будівельних супермаркетів та магазинів, що спеціалізуються на освітленні.

У загальному бюджеті світових енергетичних витрат значна складова належить до освітлення, тому особливу увагу серед переваг СВД привертає висока енергоефективність. Завдяки цьому створюються сприятливі умови для інтенсивного розроблення та впровадження СВД освітлення в усіх галузях життєдіяльності людини, яке забезпечить не лише високу якість освітлення, але й заощадження енергії, зменшення викидів CO₂.

На українському ринку світлотехніки з'явилася велика кількість фірм-виробників ОП зі СВД. Очевидно, що такі фірми використовують СВД як компоненти, щодо яких необхідно виконувати вхідний контроль на відповідність заявленим характеристикам виробника, оскільки це є запорукою якості кінцевого продукту на одному рівні з вихідним контролем.

СВД дуже відрізняються від традиційних джерел світла своїми розмірами, температурним режимом, спектром та просторовим розподілом випромінювання. Ці відмінності відчутно впливають на результати вимірювання, що за використання традиційних підходів веде до значних відмінностей у результатах вимірювань світлових величин. Тому, для створення загальної методики визначення фотометричних і радіометричних характеристик СВД, Міжнародною комісією з освітлення (МКО)



Д. Зубков



Л. Назаренко

розроблено рекомендації щодо їх вимірювання МКО 127-2007 [1].

Згідно з ними вводиться нове поняття усередненої сили світла СВД та дві геометричні умови вимірювання — А та В. Обидві умови передбачають використання приймача з круглою апертурою, яка має площу 100 мм². Під час вимірювань СВД має встановлюватися перед приймачем і вирівнюватися у такий спосіб, щоб механічна вісь СВД проходила через центр апертури приймача. Умови А і В відрізняються дистанціями від верхівки СВД до площини вхідної апертури фотометра, які становлять для МКО стандартної умови А 316 мм; для МКО стандартної умови В 100 мм.

Стосовно методу вимірювання усередненої сили світла рекомендовано два можливих варіанти — метод заміщення еталонним СВД та метод еталонного фотоприймача.

Для вимірювання характеристик СВД методом заміщення пропонується застосовувати еталонні, калібровані у національному метрологічному інституті (НМІ) СВД того ж типу, що й вимірювані. Позитивним аспектом цього методу є відсутність необхідності застосування спектральної корекції. Однак, зважаючи на величезну кількість різноманітних типів СВД, виникають ускладнення у придбанні та обслуговуванні такої кількості еталонів.

Більш практичним є застосування другого методу — еталонного приймача. При цьому одиниця вимірюваної величини зберігається на фотометрі, який є більш стабільним у часі, має тривалий термін експлуатації та потребує менших витрат на обслуговування. Однак, у цьому випадку коригування за допомогою спектрального коефіцієнта необхідне за кожного вимірювання.

На жаль, в Україні наразі відсутня верхня еталонна ланка у сфері вимірювань СВД, тому постає гостра необхідність у створенні еталонної бази засобів вимірювання фотометричних характеристик СВД, які відповідатимуть рекомендаціям МКО, а також у розробленні відповідних методик проведення калібрування засобів вимірювання та їх прив'язки до державного первинного еталона, що забезпечить єдність і необхідну точність вимірювань. Залишається відкритим і питання, які характеристики повинні мати еталонні засоби вимірювання СВД. У світовій практиці вимірювань найбільших успіхів з цього питан-

ня досягли Національний інститут стандартів і технологій (NIST) (США) і фізико-технічний інститут (PTB) (Німеччина).

У NIST як еталонний засіб вимірювання усередненої сили світла СВД використовують еталонні фотометри з площею отвору апертури 100 мм². Вимірювання світлового потоку СВД виконується за допомогою інтегрувальної фотометричної кулі діаметром 2,5 м, заснованої на абсолютному методі вимірювання [2].

У PTB вимірювання СВД здійснюються на спеціально сконструйованому гоніофотометрі, який використовується також і для вимірювання їх світлового потоку [3].

Для вимірювання світлового потоку СВД — найбільш важливого світлотехнічного параметра для джерел світла (ДС) метод інтегрувальної фотометричної кулі достатньо привабливий з огляду на швидкість. Однак, для виконання прецизійних вимірювань необхідно використовувати еталонне джерело випромінювання. Окрім того, використання гоніофотометра також не виключається, оскільки вимірювання світлорозподілу вимірюваного зразка на гоніофотометрі необхідне для розрахунку поправки на нерівномірність відбивальної характеристики стінок кулі. Тому створення засобу вимірювання світлового потоку СВД одразу на основі гоніометричного методу виглядає найбільш доцільним.

1. ВИБІР ТИПУ ГОНІОМЕТРА

Серед різних типів гоніофотометрів для виконання поставленого завдання найбільш привабливим з економічної, технічної й ергономічної точок зору представляється пристрій з обертовим ДС та фіксованим приймачем, який виконує вимірювання у системі площин C, γ (рис. 1) [4].

Гоніометри такої системи добре зарекомендували себе та знайшли застосування як державні еталонні

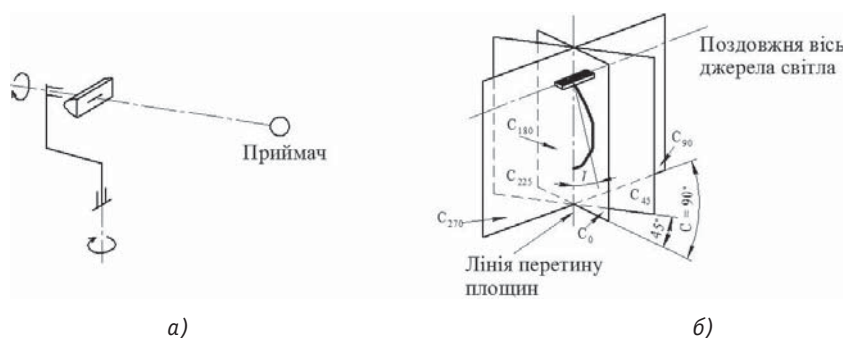


Рис. 1 Характеристики обраного типу гоніометра
а) принципова кінематична схема; б) система площин вимірювання

Fig. 1 Characteristics of chosen goniophotometer type
a) kinematic scheme; b) system of measurement planes

засоби вимірювання світлового потоку СВД у НМІ таких країн, як Німеччина (PTB), Японія (NMIJ), Франція (LNE), Нідерланди (VSL) [5].

Методика вимірювання потоку гоніофотометром полягає у вимірюванні сили світла точково-го ДС у великій кількості заздалегідь обраних напрямків. Для цього простір, що оточує ДС, ділиться на певну кількість площин, і вимірюється інтенсивність випромінювання у всіх напрямках, що лежать у межах кожної площини [6]. Уважається, що у межах достатньо малих тілесних кутів $d\omega$, побудованих навколо кожного з цих напрямків вимірювання, сила світла джерела I_i практично однакова, а світловий потік $d\Phi_i$, котрий заповнює кожний із тілесних кутів $d\omega$, дорівнює добутку $I_i d\omega$. Отже, повний світловий потік джерела можливо отримати за формулою [7, 8]:

$$\Phi = \int_{\omega} I_i d\omega. \quad (1)$$

За застосування методу еталонного приймача для калібрування фотометричної голівки гоніофотометра останній виконує вимірювання в одиницях освітленості — люксах, що є звичайною практикою [9].

За визначенням, освітленість — це щільність світлового потоку в межах освітлюваної поверхні, тобто $E = d\Phi_v / dA$, звідки світловий потік $\Phi_v = \int E(A) dA$. Тут вважається, що dA — елементарна ділянка сфери, яка освітлюється ДС на відстані r , тобто вираз (1) приймає вид:

$$\Phi_v = r^2 \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} E(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta d\varphi. \quad (2)$$

На практиці інтеграл замінюється сумою:

$$\Phi_v = 2\pi r^2 \sum_{\theta=0}^{\pi} E(\theta, \varphi) (\cos \theta_1 - \cos \theta_2). \quad (3)$$

Отже, вираз (3) є робочою формулою для визначення світлового потоку за просторовим розподілом сил світла.

2. РОЗРОБЛЕННЯ ГОНІОФОТОМЕТРА

Згідно з наведеними вище вимогами проведено роботу із розроблення та конструювання гоніофотометра та супутніх систем. Результатом стала гоніофотометрична установка для вимірювання СВД — LGF-C-42 (LED Goniophotometer Facility) для проведення вимірювань у системі С-площин (максимальний розмір досліджуваного зразка (монтажної плати) — 42 мм).

Структурну схему розробленої установки та її загальний вид наведено на рис. 2, 3.

Обертовий блок гоніометра створено на основі крокових двигунів з редукторами, які забезпечу-

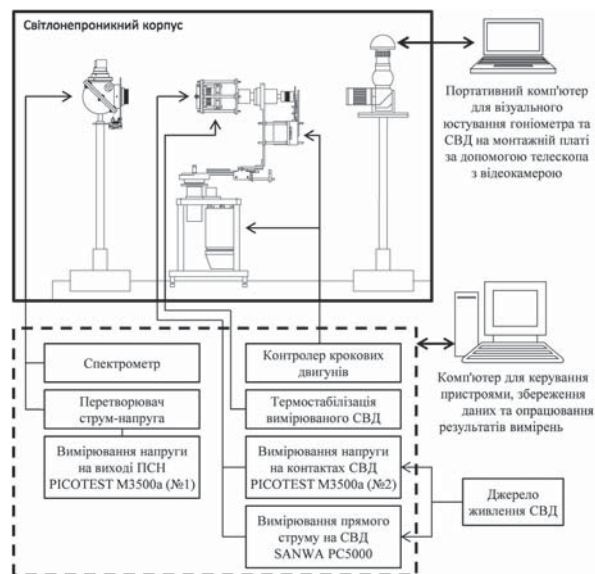


Рис. 2 Структурна схема установки LGF-C-42

Fig. 2 Block diagram of the facility LGF-C-42

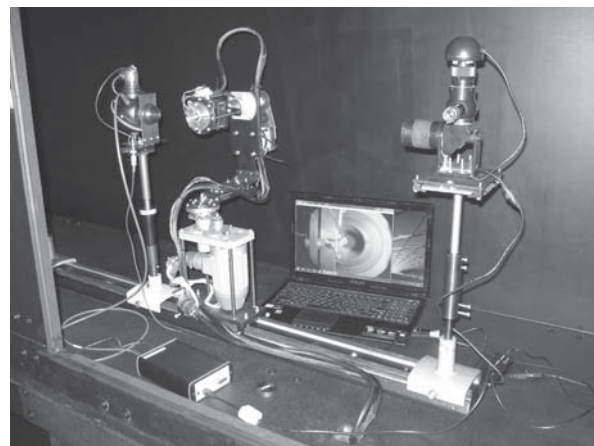


Рис. 3 Загальний вид гоніофотометричної установки в захисному корпусі

Fig. 3 A general look of goniophotometer facility in a protective enclosure

ють вимірювання просторового розподілу випромінювання у межах діапазону кутів $\gamma = \pm 180^\circ$ та площин $C = 360^\circ$. Роздільна здатність зміни кута не перевищує $0,08^\circ$, що дозволяє вимірювати дуже щільну сітку величин просторового розподілу сили світла з високим рівнем точності й повторюваності вимірювань.

Гоніофотометр розміщується в світлопроникному корпусі, внутрішні поверхні якого мають мінімальний коефіцієнт відбиття для зменшення розсіяного світла. Для встановлення та вирівнювання досліджуваного зразка СВД використовується оптичний метод юстування за допомогою цифрового телескопа.

Досліджуваний зразок під час вимірювань закріплюється на термостаті, за допомогою якого

можливо встановити та підтримувати необхідну робочу температуру р-п переходу СВД у межах від +12 до +85°C за навколишньої температури 30°C. Термостат розроблено на елементі Пельтьє, який «переносить» температуру від монтажної плати з СВД до радіатора. У бічну площину монтажної плати встановлено температурний датчик, за допомогою якого реалізується зворотний зв'язок з блоком керування термостатом. Сам блок керування через порт USB з'єднується з комп'ютером, на якому встановлено програму керування та моніторингу температури.

Використання такого термостата дозволяє виконувати вимірювання потужних СВД (зі споживаною потужністю понад 1 Вт) за методом NIST [10], тобто визначати характеристики СВД, які він матиме у кінцевому світловому приладі за реальних температурних умов. Загальна послідовність дій для проведення такого вимірювання така:

1) на термостат установлюється досліджуванний зразок;

2) за допомогою блока керування термостатом з комп'ютера встановлюється температура термостата, еквівалентна необхідній температурі р-п переходу СВД; термостат витримується за такої температури до досягнення температурної рівноваги;

3) на СВД подається живлення та одночасно вимірюється падіння напруги в діапазоні часу від моменту увімкнення до встановлення робочої температури СВД;

4) оскільки температура СВД зростає вище заданої у п. 2, необхідно знизити температуру термостата до такої, коли падіння напруги на СВД дорівнюватиме виміреному за п. 3. Для цього використовується швидкодіючий цифровий вольтметр Picotest M3500a.

У такий спосіб стає можливим встановлення і підтримання температури р-п переходу вимірюваного СВД на заданому рівні під час вимірювання світлових характеристик.

3. ФОТОМЕТР

Як детектор для вимірювань випромінення у видимому діапазоні найчастіше застосовують кремнієві фотодіоди. У точних приладах зазвичай використовують фотодіоди Hamamatsu S1337 або їх еквіваленти. Для застосування у блоці фотометра обрано модель фотодіода Hamamatsu S1337-1010BQ.

Згідно з рекомендаціями МКО [1] фотометри для вимірювання СВД повинні мати спектральну чутливість, максимально близьку до функції $V(\lambda)$. Відповідність до цієї вимоги оцінюється за числом f_1'

використовуваного фотометра, яке у разі вимірювання СВД має не перевищувати 3 %. Оскільки фотодіоди серії S1337 не скориговані під функцію $V(\lambda)$, розраховано та виготовлено світлофільтр на базі набору кольорового оптичного скла. Розрахунок виконувався за допомогою програми для підбору фільтрів [11], при цьому показник f_1' розрахованого комплексу дорівнює 2,7 %.

Досягти відповідності спектральній світловій ефективності $f_1' = 0$ практично неможливо, тому застосовують коефіцієнт спектральної корекції F^* [1]. Цей коефіцієнт розраховують індивідуально для кожного вимірюваного джерела випромінювання за виразом (4):

$$F^* = \frac{\int S(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int S(\lambda) s_{\text{відн.}}(\lambda) d\lambda} \cdot \frac{\int S_A(\lambda) s_{\text{відн.}}(\lambda) d\lambda}{\int S_A(\lambda) V(\lambda) d\lambda}, \quad (4)$$

де $S(\lambda)$ — відносний спектральний розподіл випромінювання досліджуваного СВД;

$S_A(\lambda)$ — відносний спектральний розподіл стандартного джерела МКО типу А;

$V(\lambda)$ — відносна спектральна світлова ефективність;

$s_{\text{відн.}}(\lambda)$ — відносна спектральна чутливість фотометра.

Виходячи із виразу (4), видно, що для визначення коефіцієнта спектральної корекції F^* необхідно мати відносний спектральний розподіл випромінювання вимірюваного СВД. Для цього найкраще підходять спектрометри з ПЗС-матрицею, які дозволяють вимірювати спектр випромінювання практично миттєво. До того ж, використання програмного забезпечення для роботи зі спектрометром дозволяє значно прискорити розрахунок коефіцієнта F^* . Спектрометри такого типу здебільшого мають оптоволоконний ввід, який потребує застосування дифузора. Згідно з рекомендаціями [1] для вимірювання спектральних характеристик СВД як дифузор можна використати молочне скло або фотометричну кулю з діаметром близько 50 мм.

До фотометрів, для вимірювання усередненої сили світла СВД, існує вимога рівномірності чутливості у межах отвору апертури [1]. Вона зумовлена наявністю в СВД певних типів вузького пучка випромінювання або нерівномірного просторового розподілу інтенсивності, що створює нерівномірний розподіл освітленості за поверхнею вхідного отвору апертури. Зазвичай нерівномірність чутливості за чутливою поверхнею фотометрів з фотометричною кулею як дифузор дорівнює 0,1 % і менше, що у 3–5 разів краще за рівномірність чутливості кремнієвих фотодіодів найвищої якості [12].

З огляду на зазначене вище, переваги використання фотометричної кулі як дифузора стають очевидними, тому для створення фотометра розроблено та виготовлено таку фотометричну кулю (рис. 4, 5).

Для наочності фотометр представлено нижче у загальному (рис. 5, а) та рознесеному (рис. 5, б) видах.

Корпус фотометра виготовлено з двох роз'ємних половинок пустотілої пластикової кулі діаметром 85 мм, внутрішню поверхню якої пофарбовано фарбою на основі сірчанокислого барію (BaSO_4) згідно з методикою, викладеною в [13].

Випромінення, яке пройшло через апертуру та вхідний отвір кулі, внаслідок багаторазового відбиття рівномірно розподіляється за чутливою поверхнею фотодіода. Плаский дифузор, через який випромінення з фотометричної кулі надходить

до фотодіода, є частиною стінки кулі, поза якої безпосередньо розміщується набір фільтрів, тобто між дифузором та фотодіодом.

Вхідна прецизійна апертура встановлюється поза екранувальними апертурами, які обмежують поле зору фотометра до 30° , що, у свою чергу, знижує вплив розсіяного світла від елементів установки. Діаметр вхідної апертури дорівнює 10,859 мм, що забезпечує площу чутливої поверхні фотометра, рівну $92,603 \text{ мм}^2$.

Як спектрометр використовується AvaSpec-ULS2048L-BB-50 з оптиволоконним уводом. Для під'єднання спектрометра використовується порт на бічній стінці кулі. Розташування порта розраховано у такий спосіб, щоби до нього потрапляло лише відбите від стінок випромінення. Таке оптимальне положення дозволило обійтися без використання екранів усередині кулі.

Вимірювання фотоструму фотометра та його підсилення виконується за допомогою перетворювача струм-напруга (ПЧН) [14], розробленого на основі операційного підсилювача AD549JHZ. Як опір зворотного зв'язку використовується прецизійний резистор С2-29В-1 з опором $8,25 \text{ МОм}$ (точність номінального значення $0,5 \%$).

Основні характеристики та джерела похибок за застосування розробленого фотометра визначалися відповідно до технічного звіту МКО 69-1987 [15] та зведено у таблицю.

4. ВИМІРЮВАННЯ СВД

Процес вимірювання просторового розподілу є нетривіальним завданням з точки зору позиціонування досліджуваного СВД. Використання комп'ютера для проведення вимірювань та опрацювання отриманих даних безперечно є однією з найважливіших умов для досягнення високої точності результатів та їх підготовки до подальшого використання.

Тому для автоматизації керування процесом вимірювання розроблено відповідне програмне забезпечення. Процес вимірювання СВД виконується автоматично. За закінченням вимірювання результати можна зберегти у виді протоколу вимірювання або електронної таблиці у форматі *.csv, де містяться значення сили світла у відповідних напрямках. Також є можливість зберегти результати вимірювання у форматі IESNA 2002, які у подальшому можна використовувати в таких програмах для моделювання освітлювальних приладів, як, наприклад, Photopia, Zemax чи TracePro.

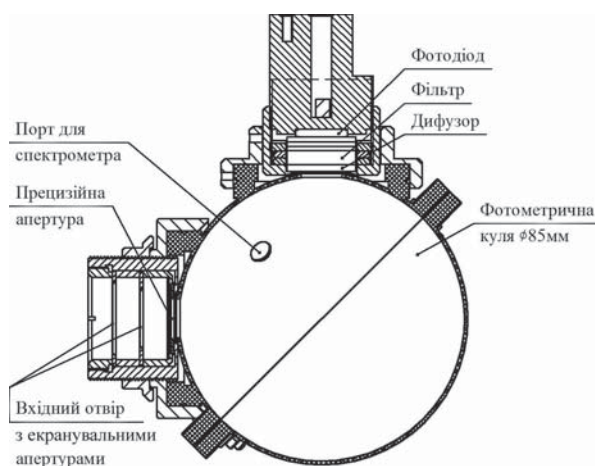


Рис. 4. Перетин фотометра з фотометричною кулею як дифузор

Fig. 4 Cross-section of sphere-input photometer

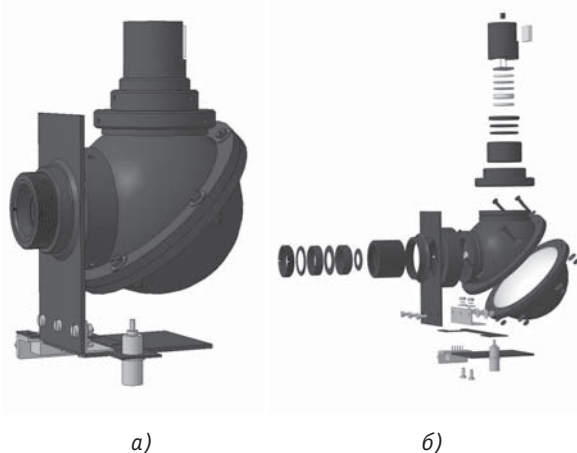


Рис. 5. Фотометр з фотометричною кулею як дифузор

а) загальний вид; б) рознесений вид

Fig. 5 Sphere-input photometer

а) overall view; б) exploded view

Таблиця. Характеристики розробленого фотометра

Table. Specifications of designed photometer.

№	Характеристика	Символ	Значення
1	Невідповідність спектральній світловій ефективності	f_1'	2,7 %
2	Реакція на ультрафіолетове випромінювання	u	0,2 %
3	Реакція на інфрачервоне випромінювання	r	0,2 %
4	Кутова чутливість фотометра	f_2	1,5 %
5	Нелінійність фотометра	f_3	0,2 %
6	Температурний коефіцієнт (залежність результатів вимірювання від температури)	α	0,012 %/°C
7	Вплив втомлюваності приймача	f_5	0,146 %
8	Вплив модульованого світла	f_7	0,1 %
9	Вплив поляризації	f_8	2 %
10	Нерівномірність чутливості за поверхнею вхідного отвору з апертурою	f_9	0,1 %
11	Невизначеність калібрування фотометра за освітленістю	$U(k=2)$	1,4 %

Окрім програми керування установкою LGF-C-42, в процесі вимірювання також застосовується окремо розроблена програма для керування температурою термостата, тобто програма, необхідна для встановлення та підтримання необхідної температури р-п переходу СВД.

Для визначення спектральних характеристик досліджуваного СВД використовується програмне забезпечення спектрометра AvaSpec-ULS2048L-BB-50, яке дозволяє визначати спектральний розподіл випромінювання, його координати колірності (з відображенням координат на діаграмі колірності), колірну температуру випромінювання та індекс кольоропередавання. Вимірені спектрометром характеристики можна зберегти у виді таблиць для подальшого опрацювання та використання у розрахунках.

ВИСНОВКИ

У результаті виконаних теоретично-експериментальних та конструкторських робіт створено гоніофотометричну установку LGF-C-42, яка

відповідає як рекомендаціям МКО 127-2007, так і світовому рівню цього виду вимірювання і характеризується таким:

1. Вимірює характеристики СВД:

- силу світла у встановленому напрямку;
- усереднену силу світла СВД;
- просторовий розподіл випромінювання;
- повний світловий потік;
- спектральний склад випромінювання в обраному напрямку;

• просторовий розподіл спектрального складу випромінювання;

- координати колірності x, y ;
- колірну температуру випромінювання;
- індекс кольоропередавання;
- падіння напруги на СВД;
- споживану потужність СВД.


2. Вимірювання СВД високої потужності має складності через значну чутливість до теплових умов функціонування. Тому використано ідею температурно-контрольованої монтажної плати для проведення вимірювань потужних СВД за визначеної температури їх р-п переходу.

Досліджуваний зразок під час вимірювання закріплюється на термостаті, який забезпечує встановлення та підтримання необхідної робочої температури р-п переходу СВД. Термостат має зворотний зв'язок з блоком керування, який через порт USB з'єднується з комп'ютером для реалізації моніторингу та контролю встановленої температури.

3. Комп'ютер і розроблене програмне забезпечення є головною системою керування. Весь процес вимірювання керується програмою в автоматичному режимі. Також за допомогою програмного забезпечення результати вимірювання можна представити у вигляді таблиць, графіків або фотометричних файлів формату IESNA.

4. Як приймач випромінювання розроблено та виготовлено фотометр на основі фотометричної кулі діаметром 85 мм, яка виступає у ролі дифузора. Такий підхід дозволяє отримати найкраще значення рівномірності випромінювання за чутливою поверхнею приймача, а також приєднати оптоволоконний кабель спектрометра Avantes ULS2048L-USB2 через спеціальний порт на стінці кулі. Поєднання в одному приладі фотометра і спектрометра дозволило проводити одночасне вимірювання як фотометричних, так і спектральних характеристик у виді функцій від кута. Для вимірювання фотоструму фотодіода та для його підсилення розроблено перетворювач струм-напруга на основі операційного підсилювача AD549JHZ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Measurement of LEDs: CIE 127-2007. — [2nd edition]. — s.l.: s.n., 2007. — 38 с. — ISBN 978 3 901 906 58 9.
2. Y. Ohno Integrating sphere simulation: application to total flux scale realization / Yoshi Ohno // Applied Optics. — №33, 13. — 1994. — С. 2637-2647 — <http://dx.doi.org/10.1364/AO.33.002637>.
3. Заутер Г. Фотометрия светодиодов / Г. Заутер, М. Линдемман, Й. Оно, А. Шперлинг; пер. с нем. Л.П. Варфоломеева // Светотехника. (Zauter H. Photometry of LEDs / H. Zauter, M. Lyndemann, Y. Ono, A. Shperlynh ; per. s nem. L.P. Varfolomeeva // Svetotekhnika.) — №3. — 2004. — С/Р. 5-11.
4. Зубков Д.П. Гониометрический метод измерения излучения светодиодов / Зубков Д. П. // Світлотехніка та електроенергетика. (Zubkov D.P. Goniophotometrical method for measurement of LEDs / Zubkov D. P. // Svitlotekhnika ta elektroenerhetyka.) — №4. — 2011. — С/Р. 30—37.
5. Dong-Hoon Lee. Final report of international comparison on total luminous flux of LEDs: APMP. PR-S3b / Dong-Hoon Lee, Seongchong Park, Seung-Nam Park // Metrologia. — №49. — 2012. — С. 141 — doi:10.1088/0026-1394/49/1A/02003.
6. The Measurement of Absolute Luminous Intensity Distributions : CIE 70-1987. — s.l.: s.n., 1987. — 44 с. — ISBN 978 3 900734 05 3.
7. The measurement of luminous flux: CIE 84-1989. — [1st edition]. — s.l.: s.n., 1989. — 57 с. — ISBN 978 3 900734 21 3.
8. Светильники. Общие технические условия: ГОСТ 17677-82. — [Действует с 01.01.83] (Luminaires. General specifications : GOST 17677-82. — [Valid from 01/01/83]) — М: Издательство стандартов, 1982.— 59 с/р.
9. Matthias Lindemann. Photometry and colorimetry of reference LEDs by using a compact goniophotometer / Matthias Lindemann, Robert Maass // MAPAN. — Volume 24, Issue 3. — September 2009. — С. 143-152.
10. Y. Zong, Y. Ohno. New practical method for measurement of high-power LEDs : CIE Expert Symposium 2008 on Advances in Photometry and Colorimetry / CIE x033:2008. — Turin, 2008.
11. Назаренко Л.А. Програмне забезпечення для розрахунку світлофільтрів / Л.А. Назаренко, С.А. Рева, М. В. Гур'єв // Світлотехніка та електроенергетика. (Nazarenko L.A. Software for calculation of optical filters / L.A. Nazarenko, S.A. Reva, M.V. Hur'yev // Svitlotekhnika ta elektroenerhetyka.) — №3. — 2012. — С/Р. 12—15.
12. Optical Radiometry. Experimental Methods in the Physical Sciences / Edited by Albert C. Parr, Raju U. Datla and James L. Gardner — 1 edition — San Diego: Academic Press, 2005. — Volume 41 — 586 с. — ISBN: 978-0-12-475988-6.
13. Лампы электрические. Методы измерения электрических и световых параметров: ГОСТ 17616-82. — [Действует с 01.01.83] (Electric lamps. Methods of measurement of electrical and optical parameters: GOST 17616-82. — [Valid from 01/01/83]) — М: Издательство стандартов, 1983. — 50 с/р.
14. G. Eppeldauer. Optical Radiation Measurement with Selected Detectors and Matched Electronic Circuits Between 200 nm and 20 μm / G. Eppeldauer // NIST Technical Note 1438, NIST. — 2001.
15. Methods of Characterising Illuminance Meters and Luminance Meters. Performance, characteristics and specifications: CIE 69-1987. — s.l.: s.n., 1987. — 43 с. — ISBN 978 3 900734 04 6. 

Отримано / received: 18.03.2014.

Стаття рекомендована до публікації д.ф.-м.н., проф. В.І. Карасем (Україна).
Prof. V.I. Karas, D. Sc. (Phys.-Math.), Ukraine, recommended this article to be published.



В. Козубовський, доктор технічних наук, провідний науковий співробітник,
Ужгородський національний університет

Хімічні датчики використовуються для аналізу навколишнього середовища. Вони відповідають на стимули, вироблені різними хімікатами або хімічними реакціями. Ці датчики призначені для ідентифікації та визначення кількості хімічної речовини (включаючи рідинні та газові фази). Оскільки хімічні датчики використовуються і для ідентифікації, і для визначення кількості речовини, вони повинні бути селективними і чутливими до досліджуваного зразка в суміші хімічних речовин.

Прямі хімічні датчики, засновані на впливі на електричні параметри чутливого елемента, можна розділити на категорії за характером цього впливу. Наприклад, кондуктометричні датчики впливають на опір або опір чутливого елемента амперометричного датчика впливає на вимірювану величину іонного або електронного струму, що проходить через чутливий елемент, а потенціометричні датчики впливають на електричний потенціал або напругу на певній парі електродів. Ці характеристики легко перетворюються одні в інші за допомогою певної схеми, необхідної для спрощення інтерфейсу. Є широкий клас хімічних явищ, які використовуються для прямого детектування.

Прямі датчики, які безпосередньо вимірюють електричні властивості певної речовини або вплив аналізованої речовини на електричні властивості іншої речовини, часто є недорогими, комерційно доступними детекторами. У них виявлення може бути оборотним або необоротним процесом, що призводить до розкладання аналізованої речовини, у першому випадку тимчасового. Ці датчики та допоміжна електроніка, як правило, прості за конструкцію, і в результаті прилади на їх основі ймовірно можуть бути використані в жорстких умовах. Датчики цього класу включають метал-оксидні напівпровідники, електрохімічні, потенціометричні, кондукто-

метричні й амперометричні датчики, еластомірні хеморезистори, хемоконденсатори, хімічні польові транзистори. Нижче детально розглядаються ці типи датчиків.

Chemical sensors are used to analyze the environment for a long time. They respond to stimuli produced by various chemicals or chemical reactions. Since chemical sensors are intended for the identification and quantification of chemical species (including both liquid and gaseous phases), they need to be both selective and sensitive to a desired target species in a mixture of chemical species.

Direct chemical sensors that affect the electrical characteristics of a sensing element can be separated into categories by the characteristic that they affect. Conductometric devices affect the resistance or impedance of the sensing element, amperometric devices affect the measurable electrical or electronic current passing through the sensing element, and potentiometric devices affect the electrical potential or voltage across some pair of electrodes. Through circuitry, these characteristics can be readily converted from one characteristic to another to simplify interfacing. There are a wide variety of chemical-sensing phenomena that employ direct sensing.

Direct sensors that directly measure the electrical properties of a target analyte or the effect of the analyte on the electrical properties of another material are often the least expensive commercially available detectors. With these sensors, detection can be a reversible or a destructive irreversible process resulting in analyte decomposition. These devices and supporting electronics are often simple in design and resulting products can often be used in harsh applications. Sensors in this class include metaloxide semiconductors, electrochemical sensors, potentiometric sensors, conductometric sensors, amperometric sensors, elastomeric chemiresistors, chemicapacitors, and chemFETs. Below there are considered in detail these types of sensors.

Ключові слова: хімічні датчики, хімічні речовини, електричні параметри, чутливий елемент.
Keywords: chemical sensors, chemical species, electrical characteristics, sensing element.

Мета цієї статті — ознайомити читача з останніми досягненнями у сфері розроблення та застосування електрохімічних датчиків для контролю оточуючого нас середовища. З огляду на те, що ці датчики є відносно дешевими порівняно з іншими типами датчиків і мають хороші метрологічні параметри, останніми роками вони все більше витісняють з ринку інші типи датчиків. Тому стаття може зацікавити виробників аналітичних приладів.

Хімічні датчики використовуються для аналізу довкілля дуже давно. Вони базуються на стандартних хімічних реакціях, у результаті яких змінюється колір розчину,



його прозорість, виділяється тепло тощо. Однак з розвитком науки чисто хімічні датчики замінюються датчиками, які працюють на фізико-хімічних, біохімічних, оптико-хімічних методах аналізу. Такі сучасні датчики на виході видають електричний сигнал, який легко опрацьовується за допомогою сучасної електроніки. Вони знаходять широкого застосування для більш ефективної роботи автомобілів, розшуку злочинців, контролю довкілля і здоров'я людей, нашої безпеки. Прикладом їх використання є моніторинг кисню, CO, CO₂ у відпрацьованих газах автомобілів, рівня глюкози у зразках крові хворих на цукровий діабет, визначення рівня двоокису вуглецю в повітрі, що видихає людина, CO в житлових приміщеннях до вибухонебезпечних концентрацій паливних газів тощо. Хімічні датчики реагують на впливи, спричинені різними хімічними речовинами або хімічними реакціями. Ці датчики призначені для ідентифікації та кількісного визначення хімічних речовин (у тому числі в рідкій і газоподібній фазах).

У промисловості хімічні датчики використовуються для контролю технологічних процесів та якості продукції за виробництва пластмас і ливарних металів, де кількість газів, присутніх у металі, впливає на його властивості, наприклад, на його крихкість. Вони використовуються для екологічного моніторингу робочих місць, контролю небезпечного впливу токсичних речовин і обмеження їх впливу на здоров'я і безпеку життєдіяльності. Хімічні датчики можуть знайти багато нових застосувань як електронні носи, електронні язички. Електронний ніс зазвичай використовує різні типи сенсорних технологій [1] для імітації можливості нюху ссавців [2]. У медицині хімічні датчики використовуються для визначення здоров'я пацієнтів шляхом моніторингу вмісту кисню, інших газів у легенях, зразках крові. Ці датчики часто використовуються для тестування рівнів вмісту алкоголю в крові, як індикатори проблем травлення у пацієнтів. У військовій техніці хімічні датчики використовуються для виявлення складів пального, попередження солдат стосовно наявності у повітрі отруйних речовин. Хімічні датчики слугують для виявлення мікродомішок у рідинах, і, наприклад, вони застосовуються для пошуку і контролю забруднення ґрунтових вод поблизу військових, цивільних і промислових об'єктів, де зберігаються значні кількості хімічних речовин, що використовуються або скидаються [3]. Комбінації датчиків для рідини і газу використовуються для експериментальних військових застосувань за контролю речовин, отриманих на заводах і атомних станціях з метою їх перевірки відповідно до договорів про зброю.

Історія людських потреб у зондуванні хімічних речовин є багатоманітною. Одним із перших прикладів розумного використання тваринного світу для моніторингу якості повітря є використання шахтарської канарки [4]. Раніше шахтарі часто працювали в небезпечних умовах без сучасних систем вентиляції. Сотні років шахтарі працювали пліч-о-пліч з канаркою в клітці, щоб вона попереджала їх щодо небезпечних умов навколишнього середовища. Канарки є більш чутливими, ніж люди до низьких рівнів метану, окису вуглецю, низьких рівнів кисню, які можуть виникати за руйнування тунелю і звільнення захоплених у кармани газів. У сучасних шахтах канарки замінені різними типами індивідуальних портативних систем газового моніторингу [5]. З доісторичних часів собаки використовувалися для пошуку і вистежування за полювання. Сьогодні навчені собаки використовуються для пошуку вибухових речовин та наркотиків в аеропортах, інших громадських місцях. Непропорційно велика частина мозку собаки порівняно з людським мозком регулює нюх. У результаті собаки демонстрували здатність розрізняти деякі запахи за концентрацій на 8 порядків нижчих, ніж люди. Тому собаки одомашнені 30000 років тому [6], і людина часто використовує собачий нюх для своїх потреб.

Не існує загальноприйнятого методу класифікації всіх хімічних датчиків. Для цього ми розділили їх на дві основні групи: одна група — це метод здійснення перетворення (трансдукції), інша — метод реалізації. Далі ми розділили метод трансдукції на два класи, в тому числі (1) — датчики, що вимірюють електричні або електрохімічні властивості, (2) — ті, які вимірюють зміну фізичних властивостей.

Датчики, які безпосередньо вимірюють електричні властивості певної речовини або вплив аналізованої речовини на електричні властивості іншої речовини, часто є недорогими комерційно доступними детекторами. У них виявлення може бути оборотним або необоротним процесом, що призводить до розкладання аналізованої речовини, в першому випадку тимчасового. Ці датчики та допоміжна електроніка, як правило, прості за конструкцією, і в результаті прилади на їх основі ймовірно можуть бути використані в жорстких умовах. Датчики цього класу включають метал-оксидні напівпровідники, електрохімічні, потенціометричні, кондуктометричні й амперометричні датчики, еластомірні хеморезистори, хемо конденсатори, хімічні польові транзистори.

МЕТАЛ-ОКСИДНІ НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПРИСТРОЇ

У найбільш поширених типах датчиків на метал-оксидних напівпровідниках (МОН) відбувається

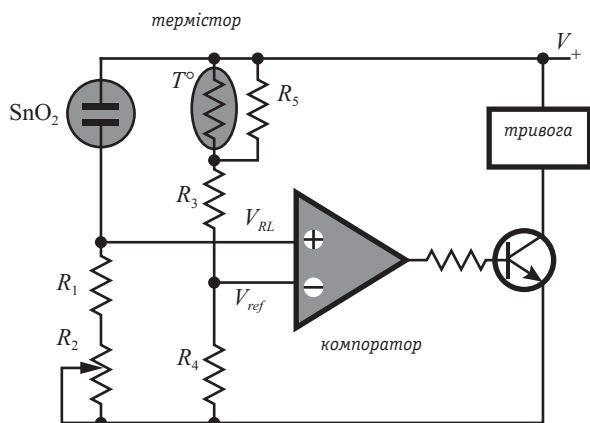


Рис. 1. Міст Вістона для метал-оксидного SnO_2 датчика

Fig.1. SnO_2 Wheatstone bridge circuit used for metal-oxide sensors

перетворення зміни концентрації активних частинок у зміну опору. Розроблення цих датчиків почалося більше 50 років тому, коли вчені виявили, що питомий опір напівпровідника змінюється зі зміною навколишнього хімічного середовища [7]. Сьогодні метал-оксидні датчики є комерційно доступними, недорогими, надійними і використовуються в різних прикладних задачах. Датчик на основі метал-оксиду, як правило, складається з напівпровідникового чутливого шару, електричних контактів для вимірювання опору цього шару, і нагрівача для регулювання температури датчика [7]. Після хемосорбції хімічно активних молекул на поверхні оксиду металу відбувається перенесення заряду. Коли метал-оксидні кристали, такі як SnO_2 , нагрівають на повітрі до певної, достатньо високої температури, кисень адсорбу-

ється на поверхні кристала, і формується поверхневий потенціал, який перешкоджає потоку електронів. Коли поверхня піддається впливу газів, що окислюються, таких як водень, метан, окис вуглецю, поверхневий потенціал зменшується, і провідність помітно збільшується [8]. У міру збільшення концентрації аналізованого компонента, змінюється величина опору.

Співвідношення між електричним опором плівки і заданою концентрацією газу описується таким емпіричним рівнянням:

$$R_s = AC^{-\alpha}, \quad (1)$$

де R_s — електричний опір датчика, A — специфічна постійна для певного складу плівки, C — концентрація газу, α — характеристичний нахил кривої R_s для цього матеріалу і аналізованого газу [9].

Метал-оксидні пристрої змінюють свій опір залежно від присутності газу, що окислює, і як такі, вимагають додаткової електронної схеми для своєї роботи. Типова схема полягає у включенні датчика до одного з плечей мостової схеми Вістона, так що зміну опору можна виміряти як різницю потенціалів у діагоналі мостової схеми (рис. 1). Для настроювання точки рівноваги моста залежно від температури датчика необхідний NTC терморезистор R_5 . Оскільки датчик поводить себе як змінний резистор, опір якого змінюється залежно від виду та концентрації газу, падіння напруги на ньому пропорційне його опору. Отже реєструється падіння напруги в мостовій схемі залежно від концентрації газу. Сигнал відгуку від датчиків лінійний, коли він

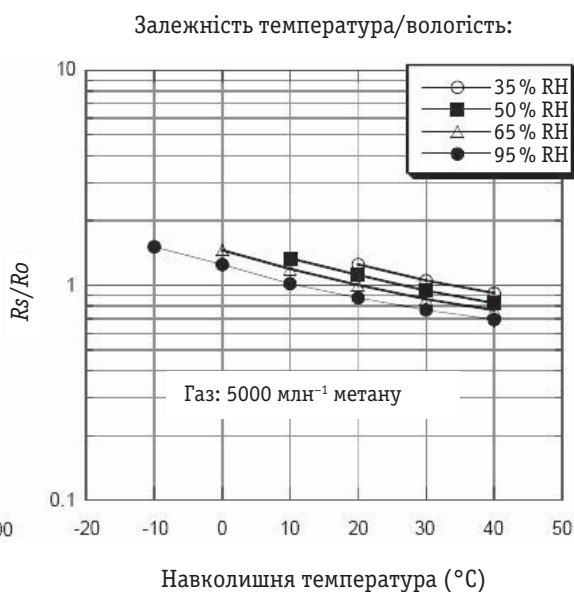
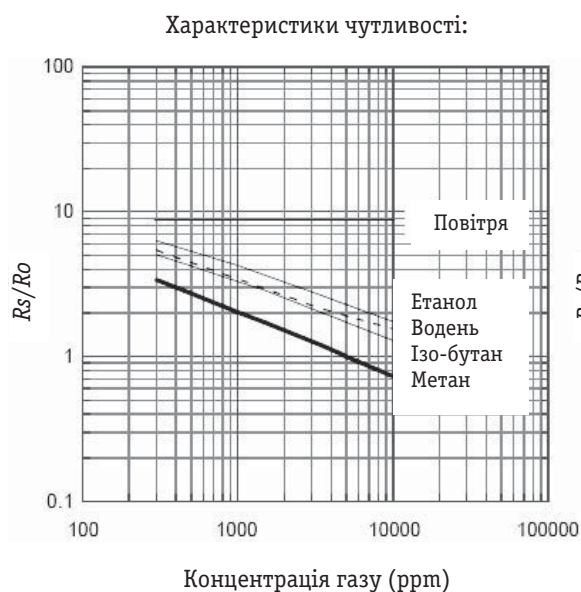


Рис. 2. Відгуки датчика TGS 2611 на різні гази і зміна його чутливості залежно від температури і вологості

Fig.2. Responses of TGS 2611 to different gases and change the sensitivity of the sensor depending on temperature and humidity.

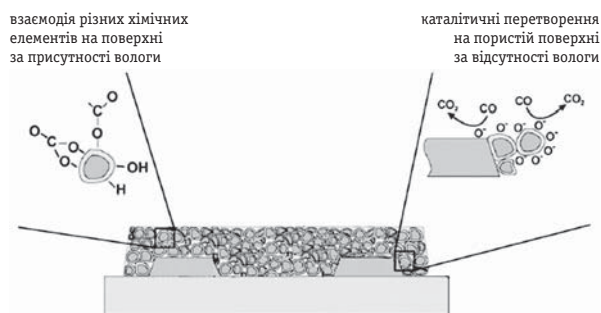


Рис. 3. Взаємодія і перетворення хімічних елементів на поверхні сенсора

Fig. 3. Interaction and transformation of chemical elements on the surface of the sensor

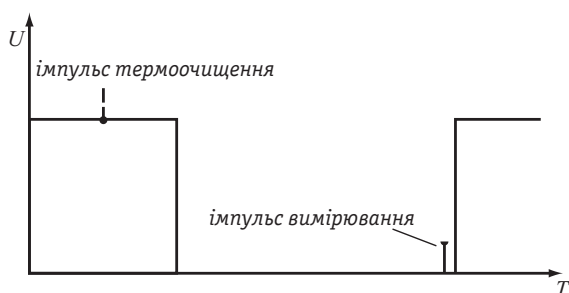


Рис. 4. Імпульсне зчитування корисного сигналу

Fig. 4. Pulse reading of the desired signal

дається в логарифмічному масштабі (рис. 2). Нахили і зміщення робочих кривих, зумовлені впливом різних окислюваних газів, дозволяють відрізнати їх один від одного і визначати їх кількість у певних діапазонах концентрацій, де криві не перетинаються [10]. Величина впливу залежить також від температури газу і його вологості. Така поведінка опору сенсора від вмісту води в газовій суміші може бути зумовлена, наприклад, різною поведінкою елементів сенсора (підкладки, проводів, нагрівача, чутливого шару, газового фільтра) під впливом води. На таку поведінку сенсора також може впливати зміна роботи виходу у сухому і вологому повітрі

під впливом конкуруючої взаємодії гідроксильної групи OH і кисню (рис. 3).

Додатково можна використовувати швидкість зміни провідності для розрізнення газів і концентрацій [11]. Об'ємна провідність може дрейфувати для цих пристроїв, але швидкість зміни провідності, коли вона управляється вхідними імпульсами, є більш стабільною і відтворююю. Для цього використовують імпульсне подання сигналу зчитування в кінці кожного циклу вимірювання (рис. 4). Це значно підвищує стабільність вихідного сигналу датчика.

Крім того, для підвищення селективності аналізу використовується імпульсний режим роботи нагрівача сенсора. За зміни температури чутливого шару до 450 °C він стає чутливим до метану, а за його охолодження до 100 °C і нижче — чутливим до CO. На рис. 5 показано цю зміну чутливості до метану і CO у періоди охолодження і нагрівання. Видно, що за рахунок цього можна досягти хорошої селективності аналізу.

Метал-оксидні твердотільні датчики мають ту перевагу, що вони невеликі, мають низьку споживану потужність, низьку вартість і можуть бути легко виготовлені методом групової технології. Схему контролю і вимірювання можна реалізувати на кремнієвій мікросхемі, що також забезпечує можливості для створення модульних датчиків, які містять монолітно інтегровану матрицю чутливих елементів разом із системою збору даних і управлінням, розташованою на тому ж кристалі. З'явилися кілька посилок на тонко і товсто плівкові датчики на кремнієвій підкладці на основі різних матеріалів для вимірювання різних газів [12, 13]. Оксид олова є найбільш вивченим і поширеним бездомішковим плівковим матеріалом [14, 15, 16, 17, 18]. Крім того, плівки оксиду олова, леговані Pt [19, 20] і Pd [21, 22], використані для вимірювання окису вуглецю, вод-

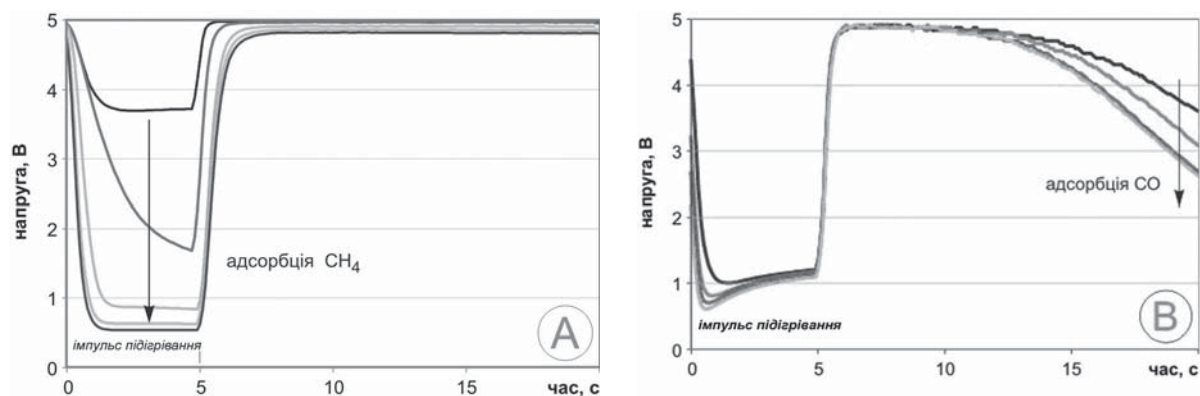


Рис. 5. Почергове накладання циклів вихідного сигналу сенсора TGS 3870 у процесі адсорбції метану (А) та CO (В). Стрілкою показано напрямок збільшення концентрації аналізованого газу

Fig. 5. Alternating cycles overlay output sensor TGS 3870 in the adsorption of methane (A) and CO adsorption (B). The arrow shows the direction of increasing the concentration of the test gas.

ню, вуглеводнів. Титан, в різних формах і середовищах, використано для вимірювання кисню [23]; родій, легований TiO_2 , — для визначення водню [24]; оксид цинку — для детектування водню, чадного газу та вуглеводнів [25]. Електричні властивості цих матеріалів змінюються з адсорбцією, абсорбцією, десорбцією, перегрупуванням і реакціями газів на поверхні або в об'ємі. Багато з цих матеріалів мають каталітичні властивості, також адсорбція і/або поверхневі реакції газів сприяють зміні електричної провідності.

ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ДАТЧИКИ

Електрохімічні датчики є комерційно доступними й універсальними. Залежно від режиму роботи вони поділяються на датчики, що генерують напругу (потенціометричні), такі, що змінюють свій електричний струм (амперметричні), і такі, що ґрунтуються на вимірюванні провідності або опору (кондуктометричні). У всіх цих методах використовуються спеціальні електроди, де або відбувається хімічна реакція, або перенесення заряду модулюється реакцією.

Фундаментальним правилом електрохімічного датчика є те, що він завжди вимагає замкнутого контуру, тобто електричний струм (постійний або змінний) повинен мати можливість протікати для проведення вимірювань. Оскільки для протікання електричного струму необхідний замкнутий контур, датчику необхідно мати щонайменше два електроди, один із яких називається відновлюваним електродом.

Слід зазначити, однак, що навіть, якщо в потенціометричному датчику не потрібне протікання струму, ланцюг все ж повинен бути замкненим за вимірювання напруги.

Електроди в цих сенсорних системах часто виготовляються з каталітичних металів, таких як платина або паладій, або вони можуть бути металопокритими вуглецем. Електроди, сконструйовані у такий спосіб, щоб мати велику площу поверхні, для реагування з такою кількістю аналізованої речовини, з якою лише можливо, виробляючи достатню величину вимірюваного сигналу. Електроди можна видозмінювати, щоб поліпшити швидкість реакції та подовжити їх тривалість життя. Цільові хімічні реакції відбуваються на робочому (індикаторному) електроді (WE) (рис. 6). Електричний сигнал вимірюється відносно до вимірювального або допоміжного (лічильного) електрода (AE), який не є каталітичним, а у випадку трьох електродних систем третій електрод порівняння (RE) використовується для вимірювання та корекції електрохімічних потенціалів, що генеруються

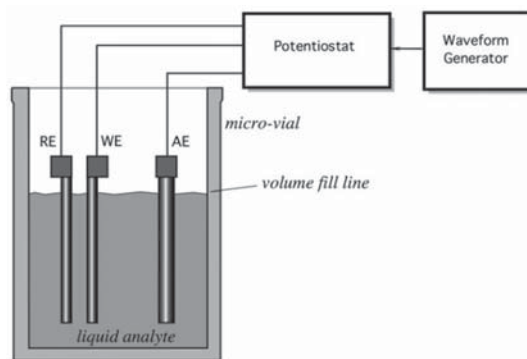


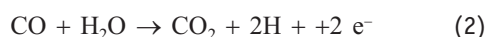
Рис. 6. Комплект електродів електрохімічного датчика

Fig. 6 Electrochemical-sensor electrode set

кожним електродом і електролітом. Третій електрод покращує функціонування шляхом корекції помилок, що вносяться поляризацією робочого електрода. Нові електрохімічні датчики використовують товстоплівковий трафаретний друк набору електродів, щоб зробити виробництво більш простим і надійним.

Електроліт є середовищем, яке переносить заряд з використанням іонів замість електронів. Це безпосередньо обмежує реакції, які можуть мати місце, і є першим етапом підвищення селективності електрохімічного датчика. Датчик, утворений таким набором електродів і електролітів, називається електрохімічною коміркою і може працювати залежно від його електричних параметрів (зміни його опору, потенціалу, струму, ємності тощо). Більш достовірні результати вимірень можна отримати за допомогою різних типів вольтамперометрії, які ми обговоримо далі.

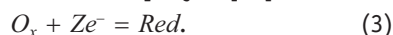
Простий рідинний електрохімічний сенсор використовує два електроди, занурені у розчин електроліту. Аналізовані гази, такі як CO, реагують на робочому електроді та виробляють CO_2 і вільні електрони. Заряди і заряджені частинки мігрують на інший (лічильний) електрод, де виділяється вода, якщо присутній кисень. Ця реакція перетворює CO у CO_2 . Якщо електроди з'єднано послідовно з резистором і вимірюється падіння потенціалу на резисторі, воно буде пропорційним струму, що протікає, і концентрації аналізованого газу.



ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНІ ДАТЧИКИ

Такі датчики використовують ефект рівноважної концентрації у випадку окислювально-відновлювальних реакцій, що протікають на межі розділу електрод — електроліт в електрохімічному середовищі. Електричний потенціал може виникати на цій межі через окислювально-відновлювальну

реакцію, яка відбувається на поверхні електрода, де O_x позначає окислювач, Ze^- — кількість електронів, залучених до окислювально-відновлювальної реакції, Red — відновлений продукт [26]:



Така реакція відбувається на одному з електродів (катодна реакція в цьому випадку) і називається напівеліментною реакцією. За термодинамічних квазірівноважних умов можна скористатися рівнянням Нернста, яке можна записано як

$$E = E_0 + RT/nF \cdot \ln C_0^*/C_R^*, \quad (4)$$

де C_0^* і C_R^* — концентрації O_x і Red , відповідно, n — число перенесених електронів, F — постійна Фарадея, R — газова постійна, T — абсолютна температура, E_0 — електродний потенціал у стандартному стані. У потенціометричних датчиках дві реакції протікатимуть одночасно на кожному електроді. Однак лише одна з реакцій повинна включати аналізовану речовину, що нас цікавить; інша, напівеліментна реакція, переважно оборотна, неінтерферувальна й відома.

Вимірювання потенціалу комірки потенціометричного датчика повинно проводитися за нульового струму або квазірівноважних умов; отже потрібен, як правило, дуже високий вхідний імпеданс підсилювача (який називають електрометром). Існують два види електрохімічного інтерфейсу з точки зору переносу заряду: повністю поляризований (чисто ємнісний) і неполяризований. Деякі метали (наприклад, Hg, Au, Pt) за контакту з розчинами, що містять лише інертний електроліт (наприклад, H_2SO_4), наближаються до поведінки ідеально поляризованого інтерфейсу. Проте, навіть у цих випадках в такому інтерфейсі існує опір обмеженому переносу заряду і надлишок витоку заряду з постійною часу τ , яка задається двошаровою ємністю і опором переносу заряду ($\tau = R_{el}C_{dl}$).

Іоноселективні мембрани є ключовим компонентом усіх іонних потенціометричних датчиків. Вони встановлюють опорний сигнал, з яким датчик відгукується на цікаві для нас іони за присутності інших різних іонних компонентів у зразку. Іоноселективні мембрани утворюють неполяризований інтерфейс з розчинами. Добре зарекомендували себе мембрани (як стабільні, відтворювані, що мають імунітет до адсорбції і вихрових ефектів, а також селективні), що мають високі як абсолютні, так і відносні обмінні щільності струму.

КОНДУКТОМЕТРИЧНІ ДАТЧИКИ

Електрохімічний сенсор провідності вимірює зміну провідності електроліту в електрохімічній комір-

ці. Електрохімічний сенсор може мати ємнісний імпеданс у результаті поляризації електродів, фарадичного процесу або переносу заряду.

У гомогенному розчині електроліту провідність електроліту G (в Ω), обернено пропорційна L , яка є довжиною розчину вздовж електричного поля, і прямо пропорційна A , яка є площею поперечного перерізу перпендикулярно електричному полю [27]:

$$G = \rho A/L, \quad (5)$$

де ρ (в $\Omega/\text{см}$) — питома провідність електроліту, пов'язана кількісно з концентрацією і величиною заряду іонних частинок. Згідно з Kohlrausch [28] еквівалентна провідність розчину за будь-якої концентрації C в моль/л, або у будь-яких інших зручних одиницях, дається як

$$\Lambda = \Lambda_0 \beta \sqrt{C}, \quad (6)$$

де β — характеристика електроліту, Λ_0 — еквівалентна провідність електроліту за нескінченного розведення.

Методи вимірювання електролітичної провідності за електрохімічною питомою провідністю датчика залишаються практично незмінними протягом багатьох років. Зазвичай використовується міст Уітстона (аналогічний наведеному на рис. 1) разом із електрохімічною коміркою (датчиком), яка формує один із опорів плеча моста. Однак, на відміну від вимірювання провідності твердої речовини, вимірювання провідності електроліту часто ускладнюється поляризацією електродів за робочої напруги. Фарадичний процес або процес переносу заряду відбувається на поверхні електродів. Тому провідність датчика повинна вимірюватися за напруги, коли фарадичний процес не може відбутися. Іншим важливим фактором є утворення подвійного шару, прилеглого до кожного з електродів, коли потенціал прикладається до комірки. Це описується так званим імпедансом Варбурга. Отже, навіть за відсутності фарадичного процесу, важливо брати до уваги ефект подвійного шару під час вимірювання провідності. Вплив фарадичного процесу можна звести до мінімуму шляхом підтримки високої постійної комірки датчика L/A , так щоб опір комірки містився в межах від 1 до 50 $k\Omega$. Це передбачає використання невеликої площі поверхні електрода і великої міжелектродної відстані, однак, знижує чутливість моста Уітстона. Часто вирішенням питання є використання комбінації конфігурацій електродів. Ефекти подвійних шарів і фарадичних процесів можна звести до мінімуму за допомогою використання високо-частотного змінного струму малої амплітуди. Іншим хорошим рішенням може стати балансування ємності й опору комірки за з'єднання змінного конденса-

тора паралельно опору моста, приєднаного до комірки.

АМПЕРМЕТРИЧНІ ДАТЧИКИ

Прикладом амперметричного датчика може стати хімічний датчик кисню Кларка, який запропоновано в 1956 р. [29]. Принцип його роботи базується на основі використання розчину електроліту, розміщеного в електродній збірці, для перенесення кисню з кисневмісної мембрани до металевого катода. Катодний струм виникає в результаті двоступеневого, киснево-відновлювального процесу, який можна представити як

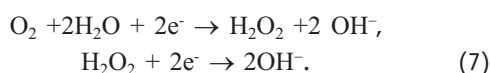


Рис. 7 а показує мембрану, яка натягується паралельно сферичному електроду, що дозволяє кисню дифундувати через тонкий шар електроліту до катода. Анод і катод розміщені всередині збірки датчика, і електричний контакт із зовнішньою речовиною відсутній. Рис. 7 б ілюструє дифузійну модель електрода Кларка першого порядку [30]. Система мембрана — електроліт — електрод діє як одномірний дифузійний канал з парціальним тиском на поверхні мембрани, рівним рівноважному парціальному тиску p_{O_2} , ось чому тиск на катоді дорівнює нулю.

Можна показати, що стаціонарний струм електрода задається як

$$I \approx AFa_m D_m p_{\text{O}_2} / x_m, \quad (8)$$

де A — площа електрода, a_m — розчинність кисню в мембрані, F — постійна Фарадея, D_m — константа дифузії, x_m — товщина мембрани. Слід зазначити, що струм не залежить від товщини електроліту і властивостей дифузії. Мембрана з Teflon® використовується як киснево-проникна плівка. Можна визначити чутливість датчика як відношення струму до парціального тиску кисню:

$$S = I/p_{\text{O}_2}. \quad (9)$$

Наприклад, якщо товщина мембрани 25 мкм, а площа катода $2 \times 10^{-6} \text{ см}^2$, тоді чутливість — $10^{-12} \text{ А/мм рт.ст.}$

Для ензимного амперметричного типу датчика можна створити датчик, здатний вимірювати відносну нестачу кисню, зумовлену ферментною реакцією за використання двохелектродного датчика кисню Кларка. Принцип роботи датчика показано на рис. 8. Він складається з двох однакових електродів кисню, де один (А) покрито активним шаром

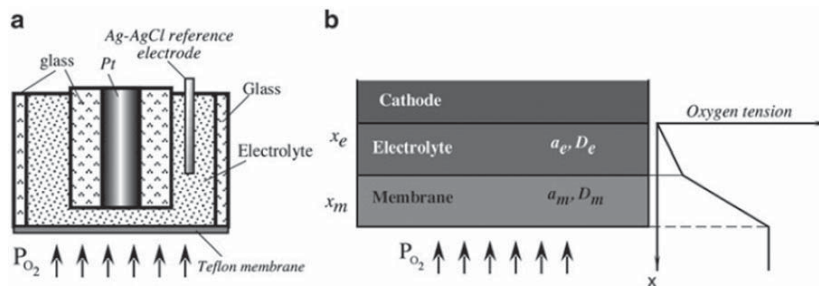


Рис. 7. Електрод Кларка (а) й одномірна модель першого порядку (б) розподілу тиску кисню за всією системою (запозичено із [30]).
Fig. 7. Clark electrode (a); and the first-order one-dimensional model (b) of the oxygen tension distribution throughout the system (adapted from Clark [30])

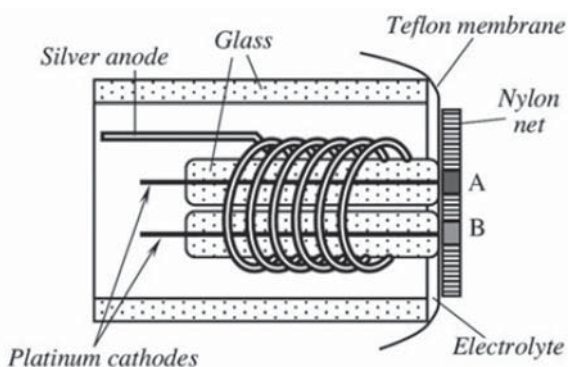


Рис. 8. Спрощена схема амперметричного кисневого датчика Кларка, адаптованого для виявлення глюкози
Fig. 8 Simplified schematic of an amperometric Clark oxygen sensor adapted for detecting glucose

окислювача, а інший (В) — неактивним шаром ферменту.

Прикладом застосування є сенсор глюкози, де придавлення активності можна здійснити хімічним, термічним шляхом або опроміненням. Датчик розміщено в пластиковій оболонці зі скляними коаксіальними трубками для підтримки двох Pt катодів і одного Ag анода. За відсутності ферментної реакції потік кисню до цих електродів і, отже, дифузійно-граничні струми приблизно рівні один одному. Коли глюкоза присутня у розчині й відбувається ферментативна реакція, кількість кисню досягає поверхні активного електрода і зменшується на величину, споживану ферментативною реакцією, що призводить до дисбалансу струму.

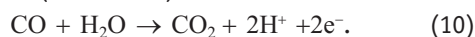
СУЧАСНІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ДАТЧИКИ

На рис. 9 наведено конструкцію газового сенсора окису вуглецю NAP-508 фірми Nemoto, Японія (www.nemoto.eu).

NAP-508 складається із 3-х пористих електродів з використанням благородних металів, розділених кислим водним електролітом, який міститься в ме-

жах пластикового корпусу. Газ надходить до електролітичної комірки через газо-фазовий дифузійний бар'єр (капіляр) і вугільний фільтр, що видаляє небажані гази, які можуть заважати роботі датчиків або призводити до видачі помилкового сигналу. Резервуар з електролітом забезпечує надлишок останнього, доступний у будь-який час, і датчик вентилюють, щоб забезпечити рівновагу внутрішнього і зовнішнього тисків датчика.

У процесі роботи (рис. 10) газ проникає в комірку через капіляр і фільтр та вступає в контакт із «робочим» електродом. Присутній окис вуглецю зазнає такої реакції (окислення):



CO_2 , що генерується, відводиться зовні від комірки через капіляр, у той час як іони водню (H^+) мігрують в електроліт усередину комірки. Електрони (e^-), що генеруються на робочому електроді, надходять до зовнішнього кола через металеву контактну полосу у виді невеликого (μA) електричного струму.

Реакція на робочому електроді врівноважується взаємною (відновлювальною) реакцією на протилежному (вимірювальному електроді) за допомогою кисню з навколишньої атмосфери:



Електрони, що використовуються в цій реакції, подають за зовнішнім ланцюгом через металеву контактну полосу лічильного електрода.

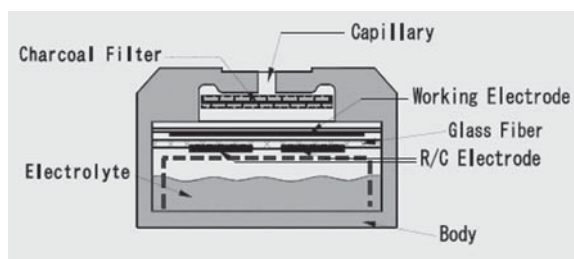


Рис. 9. Конструкція газового сенсора вуглецю NAP-508
Fig. 9. Principles of Operation Electrochemical Carbon Monoxide Gas Sensors NAP-508.

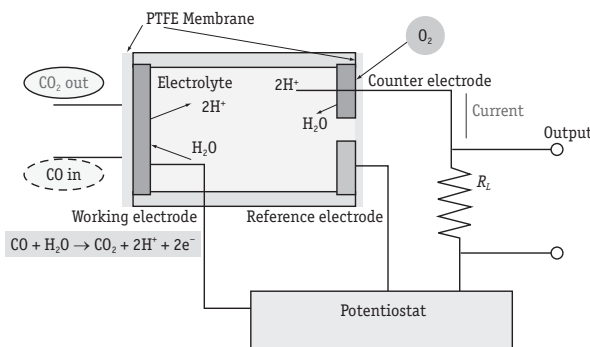


Рис. 10. Схематичне зображення датчика CO NAP-508 і схеми вимірювання
Fig. 10. Schematic representation of the CO sensor NAP 508 and meter-current circuit.

У такий спосіб за поглинання води на робочому електроді генеруються іони водню, і в той же час, як іони водню споживаються вимірювальним електродом, вода створюється заново. Водночас, реакція на робочому електроді генерує електрони, в той же час реакція на вимірювальному електроді споживає електрони. З'єднавши робочий і вимірювальний електроди разом за допомогою спеціального контура, потік електронів між двома електродами вимірюється як рівень струмового сигналу в μA , пропорційний концентрації монооксиду вуглецю.

Електрод порівняння зберігає працездатність комірки. Він оточений електролітом, не контактує з газом, і струм не проходить через нього. Відтак, його електрохімічний потенціал завжди залишається постійним на рівні, відомому як «потенціал спокою повітря», і він використовується для регулювання потенціалу робочого електрода, незалежно від струму, який генерується під час роботи. Отже, використання електрода порівняння (трьохелектродне функціонування) допомагає розширити робочий діапазон датчика, покращити лінійність і дає ряд переваг порівняно зі схожими датчиками, що працюють лише з двома електродами.

ПОРІВНЯННЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ СЕНСОРІВ З ІНШИМИ ТИПАМИ ДАТЧИКІВ

Електрохімічні датчики газу мають такі переваги над метал-оксидними газовими датчиками звичайного типу і біодатчиками (таблиця):

- лінійний вихід, пропорційний концентрації газу;
- висока відтворюваність;
- висока селективність;
- незалежність від вологості;
- стабільний вихід протягом тривалого часу;
- низьке енергоспоживання, оскільки не використовується нагрівач (може працювати від батареї);
- маленький і легкий (може використовуватися у портативних пристроях);
- висока стійкість до ударів і вібрацій.

ПОЛІМЕРНІ ХЕМОРЕЗИСТОРИ

Полімерні хеморезистори або полімерні провідні композити (а також струмопровідні полімери або просто СП) є полімерними плівками, які адсорбують хімічні сполуки і стають товщими, збільшуючи опір як фізичний відгук на присутність хімічних речовин. Вони можуть використовуватися як хімічні детектори, хоча насправді не використовують хімічні реакції. Полімери розроблено і/або доопрацьовано,

Порівняння характеристик електрохімічних датчиків з іншими типами датчиків

Comparison of Electrochemical Sensors with other sensor types

Принцип детектування	Електрохімічного впливу	Напівпровідникового типу	Біохімічного типу
Параметр			
Лінійність	лінійний	логарифмічна	нелінійний
Час відгуку і відновлення	швидкий	дуже швидкий	дуже повільний
Селективність	хороша	слабка	хороша
Вплив вологи	не впливає	достатньо значний	дуже великий (часто дає помилкове спрацювання)
Механічна стійкість	хороша	слабка (за рахунок внутрішніх компонентів)	хороша
Споживана потужність	не споживає	достатньо значна (порядку 15-200 мВт одного датчика)	незначна

щоб, використовуючи певну кількість хімікатів, забезпечити високий ступінь специфічності або селективності [31]. СП датчики можуть реагувати всього за пару секунд на наявність простих вуглеводнів, таких як ізопропіловий спирт, у той час як на більш складні масла відгук може зайняти 10—15 с. Не слід очікувати, що СП елемент буде стійким до агресивних речовин, але за відсутності таких, він може експлуатуватися за нормальних умов протягом декількох місяців. Стратегія вимірювань з використанням СП дещо інша: СП розглядається як матриця елементів, а потім здійснюється опитування матриці для ідентифікації. Комерційні пристрої на основі цієї технології можуть легко розрізняти такі речовини, як ацетон і оцтову кислоту, але вони не призначені для кількісних вимірювань. Ці комерційні пристрої є доповненням до метал-оксидних датчиків, оскільки вони майже нечутливі до пов'язувальних газів, таких як O_2 , Cl_2 , H_2 , які зазвичай детектуються за допомогою метал-оксидних датчиків. На відміну від метал-оксидних датчиків СП не вимагають високих робочих температур і споживають значно менше енергії.

Щоб виявити присутність рідини, датчик, як правило, повинен бути селективним до цієї конкретної речовини в певному діапазоні концентрацій, тобто селективним до речовини відносно її фізичних та/або хімічних властивостей. Прикладом може бути резистивний датчик витоку вуглеводневого палива. Детектор виконано з композиту силікону (неполярний полімер) і сажі. Полімерна матриця слугує як чутливий елемент за використання наповнювача, що проводить, для досягнення відносно низького об'ємного опору, порядку $10 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, у початковому вартівному стані. Композит вибірково чутливий до присутності розчинника з великим фактором взаємодії розчинник — полімер [32]. Оскільки дат-

чик не сприйнятливий до полярних розчинників, таких як вода або спирт, він може застосовуватися для аналізу ґрунту. Датчик виготовляється у виді тонкої плівки з дуже великим відношенням поверхня/товщина. Всякий раз, коли розчинник наносить на плівку датчика, полімерна матриця розбухає, в результаті чого відстань між провідними частинками збільшується. Це викликає перехід композитної плівки від стану, що проводить, до ізоляційного з питомим опором порядку $10^9 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ або навіть вищим. Час відгуку для плівкового датчика менший 1 с. Датчик повертається до свого нормально-провідного стану, коли він більше не контактує з вуглеводневим паливом, внаслідок чого пристрій готовий для повторного використання.

ХЕМОЄМНІСНІ ДАТЧИКИ

«Хемоемнісний» датчик (або «хімічний конденсатор») є конденсатором, який має як діелектрик вибірково поглинальний матеріал, наприклад, полімер або інший ізолятор. Коли відбувається хімічна абсорбція в діелектрику, його проникність змінюється, відповідно змінюється і ємність датчика [33]. Найбільш поширений, комерційно доступний тип хімічного конденсатора складається з чутливих до води полімерів і використовується для визначення вологості. Проте, хімічні конденсатори не обмежуються полімерними діелектриками. Можна використовувати інші матеріали для розширення діапазону виявлення хімічних речовин, наприклад, золь-гелієвий хімічний конденсатор може виявити діоксид вуглецю [34], хоча часто такі матеріали мають бути нагріті до досягнення оптимальної чутливості. Зовсім недавно полімери використано для створення датчиків з низьким енергоспоживанням для аналізу летких органічних сполук (ЛОС) [35]. Хімічні конденсатори

можна побудувати на основі звичайної тонкоплівкової технології, де провідні електроди розміщено з використанням або паралельної компоновки або зустрічно-штирової. Як правило, зустрічно-штирові електроди складаються з одного шару металу, нанесеного на субстрат з утворенням двох зустрічних гребінок. Полімерні або інші матеріали розташовані зверху на гребінці. Площинно-паралельні датчики зазвичай складаються з шару металу, нанесеного на підкладку, з наступним шаром діелектрика і, нарешті, другого пористого шару металу на верхній частині ізолятора [36].

Розроблено надійний MEMS-датчик на основі конденсаторів з мікрообробкою і освоєно цю технологію [37]. Приклад плоского конденсатора квадратної форми наведено на рис. 11 а. Він має розмір 285×285 мкм, із 0,75 мкм вертикальним зазором між пластинами (рис. 12). Верхня пластина з перфоруванням, сформованим вафельним візерунком, з 2,5 мкм кремнієвої сіткою і з отворами 5 мкм. Більше 16 квадратних опорних стовпчиків, які разом із зовнішньою кромкою конструкції (також перфорованою) утримують верхню пластину від згинання. Структури виконано з провідного полікристалічного кремнію, нанесеного на ізолювальний шар нітриду кремнію з використанням серійного методу виробництва напівпровідників [38]. Чіпи мають стандартну товщину пластины, близько 300 мкм.

Крупним планом вид зверху плоского конденсатора (рис. 11б)

Ці чіпи датчиків можна виготовити різної геометрії та з різною кількістю датчиків, і кожний датчик

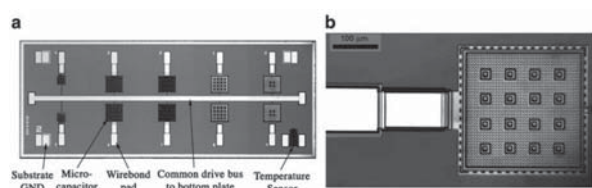


Рис. 11. MEMS чіп (2×5 мм), що містить ряд конденсаторів плоскої конструкції (а).

Fig 11. MEMS chip (2×5 mm) containing a variety of parallel-plate capacitor designs (a).

Close-up top-view of a parallel-plate capacitor (b)

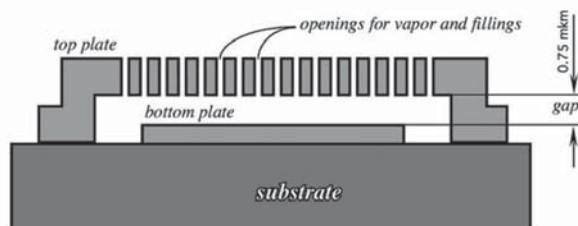


Рис. 12. Схема плоского конденсатора в розрізі, що показує 0,75 мм зазор

Fig. 12. Cross-section diagram of the parallel-plate capacitor showing the 0.75 mm gap.

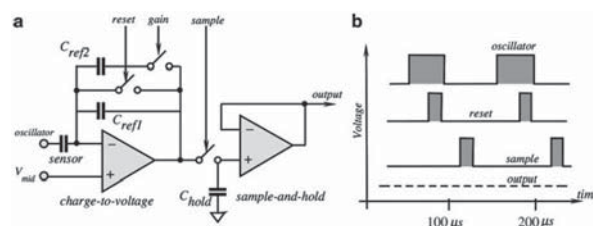


Рис. 13. Схема вимірювання ємності (а) і часові діаграми (б)

Fig. 13. Capacitance measurement circuit (a) and timing diagrams (b).

може отримати різні покриття, чутливі до аналізованої речовини. Кожний конденсатор заповнено полімером із використанням струменевого пристрою [35].

Під впливом аналізованої речовини полімер змінює свої діелектричні властивості, що призводить до зміни ємності. Можна використати будь-яку схему вимірювання ємності для роботи цих типів пристроїв. Ці детекторні матриці MEMS добре працюють на відкритому повітрі за оточуючих температур і тисків і, отже, не вимагають ніякої примусової подачі газу-носія, що дозволяє їх використання для систем із незначними розмірами і мобільними. На сьогодні вони комерційно використовуються як детектори для газових хроматографів і можуть використовуватися для навчального процесу в академічних лабораторіях. Для вимірювання ємності вимірювальною схемою використовується прямокутний сигнал, який прикладається до нижньої пластини. Схему зчитування заряд/розряд показано на рис. 13 [39, 40]. Вона вимірює ємність кожного сенсорного масиву, використовуючи коливання заряду/розряду керувальної напруги і формуючи відповідну вихідну напругу, V_{out} :

$$C_{Sensor} = (V_{out} - V_{mid}) / \Delta V_{osc} \times (\Sigma C_{ref}), \quad (12)$$

де V_{mid} — віртуальна напруга землі або опорна, ΔV_{osc} — амплітуда коливань керувальної напруги, C_{Sensor} — ємність ємнісного датчика, C_{ref} — еталонна ємність. У цьому прикладі значення еталонної ємності приймаються як 1 або 0,5 пФ і визначаються положенням перемикача підсилення. У схемі еталонні конденсатори заряджаються, тоді як конденсатор, що вимірює, розряджається.

ХІМІЧНИЙ ПОЛЬОВИЙ ТРАНЗИСТОР

Хімічний транзистор є хімічним польовим транзистором, який включає газ-селективне покриття або серію покриттів між його затвором транзистора і аналізованою речовиною (рис. 14). Це дозволяє датчику управляти входом хімічного елемента, який змінює провідність витік-стік відносно окремих типів хімічних речовин. Різні матеріали, нанесені на затвор, вступають у реакцію

з різними хімічними речовинами (газами або рідинами) і забезпечують диференціацію речовин. ХімFET можна використовувати для виявлення H_2 , NH_3 , CO_2 , нервово-паралітичних і вибухонебезпечних газів у повітрі, O_2 у крові [41]. Типове конструктивне виконання газового датчика показано на рис. 15.

Як і в звичайних польових транзисторах, хімічний FET побудовано із застосуванням тонкоплівкової технології й широко використовуваного кремнію p -типу з двома дифузійними областями кремнію n -типу (витоком і стоком). Ці три частини системи покрито діоксидом кремнію — ізоляційним шаром, що відокремлює кінцевий металевий керувальний електрод, розміщений над і між витоком і стоком. Процес включає прикладання позитивної напруги між кремнієм і електродом затвора. Електрони притягуються до поверхні напівпровідника, формуючи канал, що проводить, між витоком і стоком n -областей [42]. Насправді, хімічний FET є хімічно керованим провідником (резистором). Провідність хімічного FET вимірюється за допомогою диференціального підсилювача і представлена вихідною напругою e . Для обчислення провідності струм у ланцюзі вимірюють за допомогою i/V перетворювача з еталонним резистором R .

Для виявлення газоподібного водню в хімFET використовується плівка паладій/нікель (Pd/Ni) як його затвор [43]. Поліпшені, більш стабільні, хімічні польові транзистори для рідинного зондування використовують срібні стрічки гідрогелю хлориду (Ag/AgCl) як місток між затвором з діоксиду кремнію (SiO_2) і селективною мембраною, яка відокремлює затвор від аналізованої речовини (рис. 14). Селективною мембраною в загальному випадку є полівінілхлорид (ПВХ), поліуретан, силіконовий каучук або полістирол.

Для іон-селективних хімічних FET (ISFET) затвор замінено або покриттям з хімічно селективним елек-

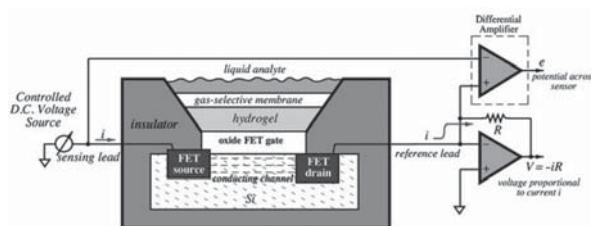


Рис. 14. Рідинний хімFET: конструкція й електричні з'єднання

Fig. 14. Liquid ChemFET construction and electrical connection



Рис. 15. Конструктивне виконання датчика газу


Fig. 15. Gas sensor packaging

тролітом, або іншим напівпровідниковим матеріалом [44]. Якщо іон-селективний матеріал є іон проникним, датчик називається MEMFET, а якщо мембрана є іон непроникною, він називається SURFET, оскільки поверхневий потенціал встановлюється іонами. Хімічно-селективний матеріал затвора змінює потенціал, за якого датчик починає проводити, і у такий спосіб вказує на наявність характерної хімічної речовини. Датчик за своєю природою невеликий і з низьким енергоспоживанням.

Затвор для хімFET може бути покритий ензимною мембраною (ENFET) або іон-селективною мембраною (ISFET). На основі іон-селективних мембран створюють хімічні датчики, а ензимні мембрани можуть використовуватися для біохімічних датчиків. Ензимні мембрани виготовляються з поліаніліну (PANIE), і вони створюються, використовуючи вольтамперометричні електрохімічні процеси для отримання цього органічного напівпровідника [45].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

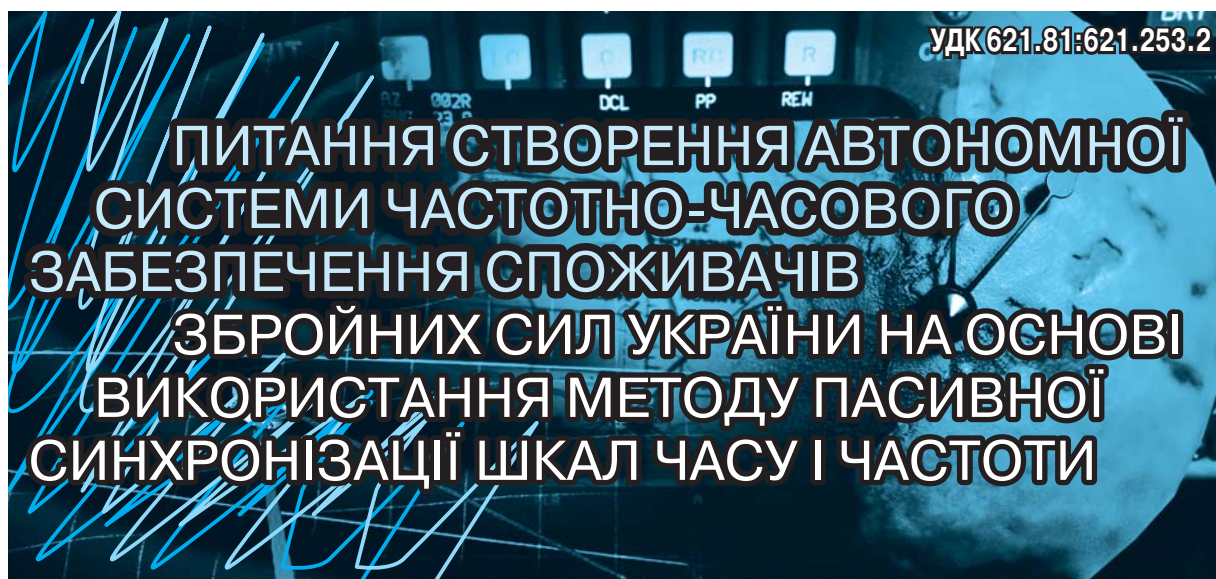
1. Nagle H.T., Gutierrez-Osuna R., Schiffman S.S. (1998) The how and why of electronic noses. IEEE Spectrum 35:22–34.
2. Amoore J.E., Johnston J.W., Rubin M. (1964) The stereochemical theory of odor. Sci Am. 210:42–99.
3. Ho C.K., Hughes R.C. (2002) In-situ chemiresistor sensor package for real-time detection of volatile organic compounds in soil and groundwater. Sensors 2:23–34
4. Kim T. (2009) Canary in the old growth. High Country News, Paonia, Colorado, February 16.
5. For a wealth of information on Mine Safety Gas Monitoring Equipment is the United States Department of Labor. Mine Safety & Health Administration (MSHA) website: <http://www.msha.gov>.
6. Clutton-Brock J. (1995) In: Serpell J. (ed) The domestic dog, its evolution, behaviour and interactions with people, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 7–20.
7. Madou M.J., Morrison S.R. (1989) Chemical sensing with solid state devices, Academic Press, New York/
8. Wolfrum E.J., Meglen R.M., Peterson D., Sluiter J. (2006) Metal oxide sensor arrays for the detection, differentiation, and quantification of volatile organic compounds at sub-parts-per-million concentration levels. Sens Actuators B 115:322–329.
9. Persaud K., Dodd G. (1982) Analysis of discrimination mechanisms in the mammalian olfactory system using a model nose. Nature 299:352–355.

10. Sberveglieri G., Kluwer (ed) (1992) Gas sensors: principles, operations, and developments, Academic Publishers, Boston, MA, pp. 8, 148, 282, 346–408.
11. Blum L.J. (1997) Bio- and chemi-luminescent sensors, World Scientific, River Edge, NJ, pp. 6–32.
12. Sberveglieri G. (1995) Recent developments in semiconducting thin-film gas sensors. *Sens Actuators B* 23:103–109.
13. Demarne V., Sanjinés R. (1992) Thin film semiconducting metal oxide gas sensors. In: G. Sberveglieri (ed) Gas sensors, Kluwer Academic, Dordrecht, Netherlands, pp. 89–116.
14. Malyshev V.V., Vasiliev A.A., Eryshkin A.V., Koltypin E.A., Shubin Y.I., Buturlin A.I., Zaikin V.A., Chakhunashvili G.B. (1992) Gas sensitivity of SnO₂ and ZnO thin-film resistive sensors to hydrocarbons, carbon monoxide, and hydrogen. *Sens Actuators B* 10:11–14.
15. Hoefler U., Kfuhner G., Schweizer W., Sulz G., Steiner K. (1994) CO and CO₂ thin-film SnO₂ gas sensors on Si substrates. *Sens Actuators B* 22:115–119.
16. Demarne V., Grisel A. (1998) An integrated low-power thin-film CO gas sensors on silicon. *Sensors and Actuators B* 13:301–313.
17. Barsan N., Tomescu A. (1995) The temperature dependence of the response of SnO₂-based gas sensing layers to O₂, CH₄, and CO. *Sens Actuators B* 26–27:45–48.
18. Van Geloven P., Moons J., Honore M., Roggen J. (1989) Tin (IV) oxide gas sensors: thick-film versus metallo-organic based sensors. *Sens Actuators B* 17:361–368.
19. Schierbaum K.D., Geiger J., Weimar U., Göpel W. (1993) Specific palladium and platinum doping for SnO₂-based thin film sensor arrays. *Sens Actuators B* 13–14:143–147.
20. Sulz G., Kuhner G., Reiter H., Uptmoor G., Schweizer W., Low H., Lacher M., Steiner K. (1993) Ni, In, and Sb implanted Pt and V catalyzed thin-film SnO₂ gas sensors. *Sens Actuators B* 16:390–395.
21. Tournier G., Pijolat C., Lalauze R., Patissier B. (1995) Selective detection of CO and CH₄ with gas sensors using SnO₂ doped with palladium. *Sens Actuators B* 26–27:24–28.
22. Huck R., Böttger U., Kolh D., Heiland G. (1993) Spillover effects in the detection of H₂ and CH₄ by sputtered SnO₂ films with Pd and PdO deposits. *Sens Actuators B* 17:355–359.
23. Saji K., Takahashi H., Kondo H., Takeuchi, Igarashi I. (1983) Characteristics of TiO₂ oxygen sensor in nonequilibrium gas mixtures. In: Seiyama T., Fueki K., Shiokawa J., Suzuki S. (eds) Chemical sensors, proceedings of the international meeting on chemical sensors, Fukuoka Japan, Elsevier, Tokyo, pp. 171–176.
24. Mumuera G., Gonzalez-Ellpe A.R., Munoz A., Fernandez A., Soria J., Conesa J., Sanz J. (1989) Mechanism of hydrogen gas-sensing at low temperatures using Rh/TiO₂ Systems. *Sens Actuators B* 18:337–348.
25. Egashira M., Kanehara N., Shimizu Y., Iwanaga H. (1989) Gas-sensing characteristics of Li-doped and undoped ZnO whiskers. *Sens Actuators B* 18:349–360.
26. Gentry S.J. (1988) Catalytic devices. In: Edmonds TE (ed) Chemical sensors. Chapman and Hall, New York.
27. Cobbald RSC (1974) Transducers for biomedical measurements. Wiley, New York.
28. www.askiitians.com/iit-jee-chemistry/physical-chemistry/Kohlrausch-law.aspx.
29. Tan T.C., Liu C.C. (1991) Principles and fabrication materials of electrochemical sensors. Chemical sensor technology. 3, Kodansha Ltd.
30. Clark L.C. (1956) Monitor and control of blood and tissue oxygen tension. *Trans Am Soc Artif Internal Organs* 2:41–46.
31. Grate J.W., Klusty M., Barger W.R., Snow A.W. (1990) Role of selective sorption in chemiresistor sensors for organophosphorus detection. *Anal Chem* 62(18):1927–1934.
32. Ho C.K., Hughes R.C. (2002) In-situ chemiresistor sensor package for real-time detection of volatile organic compounds in soil and groundwater, *Sensors* 2:23–34.
33. Hierlemann A., Lange D., Hagleitner C., Kerness N., Koll A., Brand O., Baltes H. (2000) Application-specific sensor systems based on CMOS chemical microsenors. *Sens Actuators B Chem* 70:2–11.
34. Endres H-E., Hartinger R., Schwaiger M., Gmelch G., Roth M. (1999) A capacitive CO₂ sensor system with suppression of the humidity interference. *Sens Actuators B Chem* 57:83–87.
35. Patel S.V., Mlsna T.E., Fruhberger B., Klaassen E., Cemalovic S., Baselt D.R. (2003) Chemicapacitive micro-sensors for volatile organic compound detection. *Sens Actuators B* 96(3):541–553.
36. Fotis E. (2002) A new ammonia detector based on thin film polymer technology. *Sensors* 19 (5):73–75.
37. Mlsna T.E., Cemalovic S., Warburton M., Hobson S.T., Mlsna D.A., Patel S.V. (2006) Chemicapacitive micro-sensors for chemical warfare agent and toxic industrial chemical detection. *Sens Actuators B Chem* 116(1–2):192–201.
38. The Multi-User MEMS Process (MUMPs) from MEMSCAP, Inc. (Durham, NC) is used to manufacture the these chemicapacitive sensor chips.
39. Britton C.L., Jones R.L., Oden P.I., Hu Z., Warmack R.J., Smith S.F., Bryan W.L., Rochelle JM (2000) Multiple-input microcantilever sensors. *Ultramicroscopy* 82:17–21.
40. Baselt D.R., Fruhberger B., Klaassen E., Cemalovic S., Britton C.L., Patel S.V., Mlsna T.E., McCorkle D., Warmack Jr., B (2003) Design and performance of a micro-cantilever-based hydrogen sensor, *Sens Actuators B Chem* 88(2):120–131.
41. Polk B.J. (2002) ChemFET arrays for chemical sensing microsystems, *IEEE* 732–735.
42. Wróblewski W., Wojciechowski K., Dybko A., Brzózka Z., Egberink R.J.M., Snellink-Ruël B.H.M., Reinhoudt D.N. (2001) Durability of phosphate-selective CHEMFETs, *Sens Actuators B: Chem* 78(1–3):315–319.
43. Wilson D.M., Hoyt S., Janata J., Booksh K., Obando L. (2001) Chemical sensors for portable, handheld field instruments, *IEEE Sensor J* 1(4):256–274.
44. Janata J. (1989) Principles of chemical sensors, Chapter 4. Plenum Press, New York.
45. Kharitonov A.B., Zayats M., Lichtenstien A., Katz E., Willner I. (2000) Enzyme monolayerfunctionalized field-effect transistors for biosensor applications. *Sens Actuators B* 70 (1–3):222–231. 

Отримано / received: 26.05.2014.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В.А. Поревим (Україна).

Prof. V.A. Poruev, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.



ПИТАННЯ СТВОРЕННЯ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ЧАСТОТНО-ЧАСОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАЧІВ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ПАСИВНОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ ШКАЛ ЧАСУ І ЧАСТОТИ

В. Бойко, начальник науково-дослідного відділу військових еталонів — заступник начальника Центру,
А. Гаврилов, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
Ю. Рондін, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
Метрологічний центр військових еталонів Збройних Сил України, м. Харків,
О. Костира, кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник,
Харківський національний університет радіоелектроніки

Визначено напрямки створення автономної системи частотно-часового забезпечення (ЧЧЗ) споживачів Збройних Сил України на основі використання методу пасивної синхронізації шкал часу і частоти. Представлено результати експериментальних досліджень методу пасивної синхронізації у режимі нульової бази.

Directions on creation for consumers of Armed forces in Ukraine the time-and-frequency maintenance independent system on the basis of time and frequency scales passive synchronization method are defined. Results of experimental researches of passive synchronization method in zero base mode are presented.

Ключові слова: частотно-часове забезпечення, Збройні Сили, метод пасивної синхронізації, шкали часу й частоти.
Keywords: time-and-frequency maintenance, Armed forces, passive synchronization method, time-and-frequency scales.

Однією з головних умов підтримання бойової готовності Збройних Сил України (ЗСУ), забезпечення випробувань нових зразків озброєння і військової техніки (ОВТ) є єдність вимірювань часу і частоти. Без існування сучасної системи вимірювань часу та частоти (ВЧЧ) неможливо забезпечити нормальне функціонування систем і засобів практично усіх видів ЗС [1].

Система забезпечення єдності ВЧЧ у ЗСУ має максимально відповідати таким основним вимогам: точності та достовірності вимірювань, автономності, оперативності, мобільності, економічності, надійності, живучості, завадозахищеності.

Оцінка параметрів точності, дискретності, визначення місцеположення та параметрів руху об'єктів показує, що ці параметри визначаються високими вимогами до формування системної шкали часу та її збереження протягом усього терміну функціонування (експлуатації) системи. Комплексна ефективність системних шкал часу багато у чому визначається ефективністю використаних методів їх синхронізації.

Сучасний стан забезпечення ЗСУ частотно-часовою інформацією (ЧЧІ) практично повністю [2] залежить від іноземних глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС), ГЛОНАСС, GPS, Galileo. Тому контроль правильності їхньої роботи необхідний для задоволення вимог національної безпеки, має базуватися на високоточних ВЧЧ, що робить надзвичайно актуальним вирішення завдання створення розвиненої системи метрологічного контролю на основі удосконалення вихідного еталона ЗСУ одиниць часу і частоти. Окрім того, національна безпека вимагає не лише забезпечення контролю зазначених систем, а й створення власної системи формування та передавання одиниць частоти та часу споживачам з урахуванням специфіки військових потреб на випадок керованого або некерованого збою у функціонуванні закордонних систем.

Залежно від специфікації завдань споживача, його можуть задовольнити різні похибки отримуваної ЧЧІ, її точність, необхідна споживачам, відрізняється на величину в кілька порядків. Відповідно потреби у ВЧЧ можуть задовольнятися за допомогою

різних технічних засобів, які об'єднуються за допомогою різноманітних організаційних структур.

Метрологічні характеристики служби часу і частоти споживача залежатимуть, головним чином, від метрологічних характеристик використовуваних еталонів частоти і часу, а також від методу і технічних засобів, обраних для прив'язки або синхронізації шкали часу. На базі інформації, отриманої від споживача, можуть бути розроблені конкретні рекомендації щодо апаратурного складу служби часу і частоти того або іншого об'єкта, який забезпечить єдність вимірювань.

Мета статті — визначити основні напрямки створення автономної системи частотно-часового забезпечення споживачів ЗСУ на основі використання методу пасивної синхронізації шкал часу і частоти в реалізації алгоритму загального охоплення.

Організаційну основу сучасної системи забезпечення єдності ВЧЧ у ЗСУ можна представити логіко-структурною схемою (рис. 1).

Система забезпечення єдності ВЧЧ і контролю сигналів ЧЧІ та застосування засобів Державної служби часу і частоти (ДСЧЧ) у ЗСУ створена на основі регіональних метрологічних військових частин (РМВЧ) та містить у своєму складі центр метрологічного контролю (ЦМК) і регіональні пункти метрологічного контролю (РПМК).

Позаштатний ЦМК, що входить до складу ДСЧЧ, створено та атестовано Державною комісією єдиного часу і еталонних частот; РПМК — також як позаштатні підрозділи РМВЧ. Типове положення про РПМК (затверджене наказом начальника Центрального управління метрології та стандартизації — головного метролога ЗСУ) розроблено відповідно до Положення про ДСЧЧ і визначає структуру та склад, основні завдання та порядок взаємодії РПМК з ЦМК.

Основні завдання ЦМК:

- забезпечення функціонування вихідного еталона ЗСУ одиниць часу і частоти;

- забезпечення передавання розміру одиниці часу та частоти від первинного державного еталона до вихідного еталона ЗСУ й далі до робочих еталонів РПМК згідно з військовою метрологічною схемою передавання розміру одиниць часу і частоти у діапазоні частот від 1 до $5 \cdot 10^6$ Гц;

- метрологічний контроль еталонних сигналів часу та частоти, які передаються радіо і телевізійними передавальними центрами, а також ГНСС;

- формування й передавання одиниць часу та частоти до споживачів ЗС України у закріпленому регіоні.

Основні завдання РПМК:

- здійснення метрологічного контролю еталонних сигналів часу і частоти, які передаються радіо і телевізійними передавальними центрами, а також різноманітними засобами систем єдиного часу інших країн;

- забезпечення функціонування робочих еталонів часу та частоти та зберігання на їх базі одиниць часу і частоти, а також шкал часу;

- звірення робочих еталонів часу та частоти з вихідним еталоном часу і частоти ЗСУ;

- збирання та опрацювання ЧЧІ, забезпечення нею споживачів у закріпленому регіоні та подання опрацьованої інформації через ЦМК до Українського метрологічного центру Державної служби єдиного часу та еталонних частот;

- аналізування стану метрологічного забезпечення часу і частоти у регіоні.

Ефективність системи забезпечення єдності ВЧЧ значною мірою залежить від характеристик еталонів часу і частоти, а також використовуваних методів і технічних засобів синхронізації шкал часу і частоти.

Проведений аналіз сучасного стану системи ВЧЧ у ЗСУ показує, що як еталонне устаткування, так і система передавання розмірів одиниць робочим еталонам військового призначення, не мають необхідного запасу за точністю для надійного метрологічного забезпечення функціонування системи.

Монопольне положення, яке займають іноземні ГНСС у сфері синхронізації шкал часу і частоти, фактично не дозволяє відповідати таким основним вимогам до системи забезпечення єдності ВЧЧ, як автономність, оперативність, мобільність. Крім того, необхідність створення розвинутої системи метрологічного контролю сигналів ГНСС, у свою чергу, потребує значних фінансових витрат.

Вирішення зазначених проблем можливе за створення пасивних систем синхронізації (ПСС) часу і частоти. У ПСС використовується спільне джерело (СД) (еталонні сигнали часу і частоти), сигнали якого

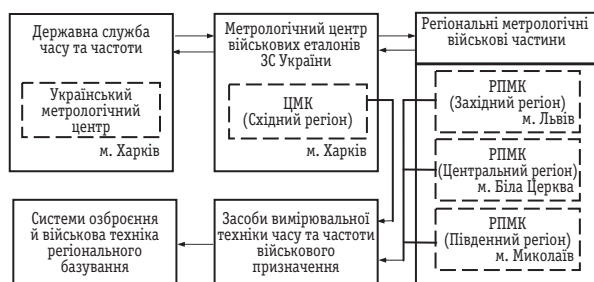


Рис. 1. Логіко-структурна схема організаційної основи системи забезпечення єдності ВЧЧ

Fig. 1. Logic-block diagram of an organizational basis of system of maintenance of unity of measurements of time and frequency

приймаються у рознесених пунктах, а зсув шкал визначається з урахуванням відомої різниці затримок сигналів між СД і пунктами, що синхронізуються (у пунктах випромінювання відсутнє). Пасивні методи засновані на реалізації алгоритму загального охоплення (АЗО) — у закордонній літературі назва «common view» [3, 4].

Широке впровадження ПСС можливе, насамперед, за достатнього розроблення апаратних і алгоритмічних засобів підвищення стабільності їх частотно-часових параметрів, для чого необхідно обґрунтувати вибір методів і алгоритмів роботи ПСС, технічних рішень і процедур опрацювання результатів вимірювань у процесі звірення еталонів часу і частоти; провести дослідження основних джерел похибок синхронізації, властивих обраному методу та алгоритму.

Зазначені проблеми протягом багатьох років успішно вирішуються на кафедрі ОРТ Харківського національного університету радіоелектроніки, в тому числі й проблеми, пов'язані з ПСС, в яких як спільні сигнали використовуються сигнали цифрового наземного телебачення [5].

Для звірення шкал часу і частоти просторово рознесених мір прийнятним за точністю є використання сигналу СД наземного базування, що потенційно забезпечує наносекундну похибку синхронізації шкал часу. В [4] показано, що найкращим сигналом є сигнал наземного цифрового телебачення формату DVB-T2. Однак, у телецентрах використовуються генератори сигналів, що не синхронізовані між собою. Завдання звірення шкал еталонів у такому випадку можливо вирішити шляхом використання сигналів декількох телецентрів, що мають зони роботи, які перекриваються. Для цього необхідно у кожному місці перекриття двох суміжних зон сигналів установити апаратуру (двоканальний регістратор), яка записує взаємне часове положення фрагментів телевізійних сигналів.

Сумісне опрацювання інформації щодо прив'язки шкал часу еталонів, які синхронізуються, до «своїх» телецентрів, а також інформації стосовно взаємної прив'язки телевізійних сигналів у суміжних точках у випадку відомого місцеположення радіопередавальних та радіоприймальних пристроїв, дозволяє звірити шкали просторово рознесених еталонів, які не мають єдиного загального джерела сигналів. Структурну схему апаратури пункту для взаємної прив'язки сигналів загальних джерел двох суміжних зон наведено на рис. 2. Замість персональної електронно-обчислювальної машини (ЕОМ) можна використовувати спеціалізований пристрій на основі мікропроцесора. Апаратура в пунктах є одноканальною. Для підвищення надійності роботи системи синхронізації можливо побудувати резервні лінії переприв'язки загальних джерел.



Рис. 2. Структурна схема апаратури для взаємної прив'язки сигналів двох загальних джерел

Fig. 2. Block diagram of equipment for a mutual binding of signals of two general sources

Результати експериментальних досліджень

Для експериментальної перевірки точності синхронізації шкал часу за використання пасивного методу синхронізації як сигнал СД використано сигнал OFDM цифрового наземного телебачення (ЦНТБ). Узагальнену структурну схему експериментальної установки представлено на рис. 3.

З виходів приймальних модулів знімаються сигнали проміжної частоти у смузі 8 МГц. Двоканальний цифровий осцилограф виконує функцію аналого-цифрового перетворювача. Персональна ЕОМ керує роботою цифрового осцилографа, формує масиви сигнальних вибірок і виконує статистичне опрацювання результатів вимірювань. Принцип роботи експериментальної установки такий. Здійснюється послідовний синхронний запис сигнальних вибірок, за кожною парою яких обчислюються дискретні відліки взаємнокореляційної функції (ВКФ), визначається часове положення максимумів. Отриманий масив даних піддається статистичному опрацюванню, результати якого відображаються графічно для зручності подальшого аналізу.

Результати експерименту:

- * кількість пар сигнальних вибірок — 250;
- * кількість відліків у сигнальній вибірці — 10000;
- * тривалість сигнальної вибірки — 50 мкс;
- * середнє значення різниці часу надходження сигналів — 9,8 нс;
- * середньоквадратичне відхилення визначення часового положення максимуму ВКФ — 2,5 нс;
- * відношення сигнал / завада на вході аналого-цифрового перетворювача — 30—35 дБ.

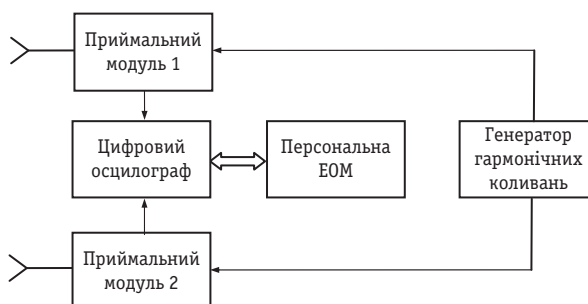


Рис. 3. Структурна схема експериментальної установки

Fig. 3. Block diagram of experimental installation

Результати експериментальних досліджень [6] свідчать щодо високої потенційної точності синхронізації шкал часу, яка складає одиниці наносекунд. Також слід відзначити такі переваги OFDM-сигналу ЦНТБ: прямокутний спектр, що добре узгоджується з амплітудно-частотною характеристикою радіоприймального пристрою; шумоподібна структура, яка забезпечує хороші характеристики за однозначністю вимірювань; сигнал ЦНТБ має найбільшу з відомих наземних СД ефективну ширину спектра та за рівних відношень сигнал / шум дозволяє досягти найкращих результатів фільтрації інформаційного параметра.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень свідчать щодо можливості технічної реалізації високоточної системи синхронізації шкал часу і частоти за всією територією України.

ВИСНОВКИ

1. Реалізація концептуальних проблем розвитку ОБТ зумовлює принципове вдосконалення усіх видів забезпечення ЗСУ, в тому числі й системи ЧЧЗ, основні вимоги до якої: точність, достовірність вимірювань, автономність, оперативність, — постійно зростають.

2. Для ЗСУ принциповими є вимоги до автономності системи (незалежності від іноземних ГНСС). Ефективну систему ЧЧЗ можливо створити на основі реалізації пасивної системи синхронізації шкал часу і частоти з використанням алгоритму загального охоплення шляхом вибору сигналів СД і сучасних методів їх опрацювання.

3. Результати проведення експериментальних досліджень, в яких як сигнали використовуються сигнали ЦНТБ, показали, що система може забезпечити наносекундну точність синхронізації шкал часу і частоти за всю територією України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Пашкевич І. Д. Актуальні метрологічні проблеми координатно-часового забезпечення Збройних Сил України та шляхи їх вирішення / І.Д. Пашкевич, А.Б. Гаврилов, В.М. Романько // «Системи озброєння і військова техніка». (Pashkevich I.D. Actual metrological problems of coordinate-and-time maintenance of Armed forces of Ukraine and a way of their permission / I.D. Pashkevich, A.B. Gavrilo, V.M. Romanko // «Systems of arms and the military techniques»)—Вип.2(14). — 2008. — С/Р. 64—67. (in Ukr.).
2. Камінський В.Ю. Проблеми забезпечення єдності вимірювань часу та частоти у Збройних Силах України та шляхи їх вирішення / В.Ю. Камінський, В.М. Романько // Наука і оборона (Kaminsky V.Jul. Problems of maintenance of unity of measurements of time and frequency and a way of their permission / V.Jul. Kaminsky, V.N. Romanko // The Science and defence). — 1998. — Вип. 3. — С/Р. 43—47. (in Ukr.).
3. Коваль Ю.А. Анализ алгоритмов синхронизации эталонов времени и частоты / Ю.А. Коваль, О.А. Трошин // Радиотехника. Всеукр. межведом. науч.-техн. сб. (Koval Ju.A. Analysis of algorithms of synchronization of standards of time and frequency / Ju.A. Koval, O.A. Troshin // The Radio engineering. The Vseukrainsky interdepartmental scientific and technical collection), — 2000. — Вип. 113. — С/Р. 47—52. (in Rus.).
4. Спосіб частотно-часової синхронізації просторово рознесених еталонів і стандартів часу та частоти: Патент 77652. Україна. МПК / Ю.О. Коваль, Б.А. Ал-Твежрі, О.О. Костиря (A way the frequency-sentry of synchronization of spatially carried standards time and frequency standards. The patent 77652. Ukraine. IPC / Ju.A. Koval, B.A. Al-Tvezhri, A.A. Kostyrja). (in Ukr.).
5. Коваль Ю.А. Выбор общего источника сигнала для региональной системы синхронизации времени и частоты / Ю.А. Коваль, А.А. Костыря, О.А. Соляник, С.Ф. Семенов, С.А. Плехно, Х.Х. Асаад // Радиоэлектроника. Информатика. Управление (Koval Ju.A. Choice of the general source of a signal for regional system of synchronization of time and frequency / J.A. Koval, A.A. Kostyrja, O.A. Soljanik, S.F. Simeon, S.A. Plehno, H.H. Asaad // Radio electronics. Computer science. Management). — Випуск 2(27). — Запоріжжя: ЗНТУ, — 2013. — С/Р. 63—69. (in Rus.).
6. Костыря А.А. Экспериментальные исследования потенциальной точности частотно-временной синхронизации при использовании сигналов цифрового наземного телевидения // А.А. Костыря, В.Н. Науменко, С.А. Плехно, С.И. Ушаков // Східно-Європейський журнал передових технологій (Kostyrja A.A. Experimental research of potential accuracy of time-and-frequency synchronization at use of signals of digital land TV // A.A. Kostyrja, V.N. Naumenko, S.A. Plehno, S.I. Ushakov // The East European magazine of high technologies). — Випуск 1/9(67). — Харків, — 2014. — С/Р. 24—28. (in Rus.).

Отримано / received: 04.04.2014.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н. проф. О. О. Морозовим (Україна).
Prof. O. O. Morozov, D. Sc. (Teh), Ukraine, recommended this article to be published.

ДО 70-РІЧЧЯ ЄВГЕНА ТИМОФІЙОВИЧА ВОЛОДАРСЬКОГО

20 жовтня виповнилося 70 років від дня народження доктору технічних наук, професору **Євгену Тимофійовичу Володарському**, Заслуженому викладачу НТУУ «Київський політехнічний інститут», Президенту Академії метрології України, Голові підкомітету «Метрологія» Технічного комітету Національного агентства України з акредитації.

Народився ювіляр у м. Горький (нині Нижній Новгород). З 1968 року, після закінчення з відзнакою факультету автоелектронного приладобудування Київського політехнічного інституту (нині – НТУУ «КПІ») за спеціальністю «Інформаційно-вимірювальна техніка» він залишився у рідних пенатах, де і працює до сьогодні. Пройшов шлях від молодшого наукового співробітника (1968-1972 роки), старшого викладача (1972-1975) і доцента (1975-1989) до професора кафедри автоматизації експериментальних досліджень (з 1989). Разом з цим, з 2001 року працює професором кафедри біоінформатики та аерокосмічної медицини Національного авіаційного університету.

Протягом усієї трудової діяльності Євген Тимофійович плідно займається науковою роботою, присвяченою розвитку метрології, метрологічного забезпечення керуючих та вимірювальних систем. Він є автором близько 300 наукових та науково-методичних праць, винаходів, патентів, серед яких ряд монографій і навчальних посібників з грифом Міністерства освіти і науки України, зокрема, підручник «Основи метрології та вимірювальної техніки». Учений — один із засновників напряму підвищення точності вимірювань та достовірності контролю структурно-алгоритмічними методами. Результати його досліджень впроваджено у виробництво серійних вольтметрів змінного струму ВЗ-45 і ВЗ-48, перших вітчизняних автоматизованих систем контролю аналогових мікросхем «Лира» та «Вероятность», які використовуються у складі автоматизованих систем керування технологічними процесами.

У 1972 році успішно захистив кандидатську, а у 1988 — докторську дисертації, в 1990 році отримав вчене звання професора.

Є.Т. Володарський бере активну участь у розбудові вищої освіти України. Він є головою робочої групи, основним виконавцем впровадження у науково-педагогічну практику Галузевого стандарту вищої освіти «Освітньо-кваліфікаційна характеристика та Освітньо-професійна програма підготовки бакалаврів за напрямом 0913 — Метрологія та вимірювальна техніка», секретарем науково-методичної комісії Міносвіти і науки України з галузі знань «Метрологія, вимірювальна техніка та інформаційно-вимірювальні технології», Почесним професором Вінницького національного технічного університету.

Євген Тимофійович приділяє велику увагу підготовці та атестації наукових кадрів вищої кваліфікації, щедро ділиться з молодими фахівцями науковим досвідом. Заснував наукову школу з методів підвищення достовірності контролю та випробувань, підготував 6 докторів та 11 кандидатів технічних наук, є членом експертної ради ДАК України, трьох спеціалізованих вчених рад із захисту дисертацій. Плідно працює з аспірантами та студентами, залучаючи їх до виконання актуальних наукових та практичних дослідницьких завдань. Студентські наукові роботи, виконані під його керівництвом, удостоєні низки премій, серед яких є Перша на Всеукраїнському конкурсі студентських робіт. За активну роботу зі студентами, розвиток їх наукового потенціалу має Подяку Міністра освіти і науки України. Неодноразово визнавався переможцем конкурсу НТУУ «КПІ» в номінації «Викладач-дослідник» (2006, 2007, 2009, 2010).

Є.Т. Володарський активно сприяє розвитку міжнародних наукових зв'язків: він є Почесним членом та Членом Виконкому секції «Україна» Міжнародного інституту інженерів електриків і електронників (IEEE), Дійсним членом Міжнародної метрологічної академії.

За свою багаторічну і плідну працю ювіляр нагороджений багатьма державними та відомчими нагородами: медалями «В пам'ять 1500-летия Киева» і «Ветеран труда», Почесними Грамотами Міністерства освіти і науки України, Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи та IEEE «За выдающиеся заслуги и вклад», Нагрудним знаком «Відмінник освіти України».



Друзі, колеги, співробітники, редакція та редколегія журналу «Метрологія та прилади» щиро вітають вельмишановного Євгена Тимофійовича Володарського з ювілеєм! Бажають йому здоров'я, щастя, любові та злагоди у сімейному житті, нових звершень у подальшій науковій та громадській 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 вимірних лабораторій, метрологічних служб підприємств, а також спеціалістів, які працюють у напрямках стандартизації, сертифікації та управління якістю. Після успішного закінчення курсу слухачі отримують посвідчення чи посвідчення з сертифікатом ДП «УкрНДНЦ».

План набору слухачів на 2015 рік

Ч/ч	Курс	Період навчання
	1. Підвищення кваліфікації фахівців повірних та калібрувальних лабораторій з повірки та калібрування засобів вимірної техніки за видами вимірювань:	
1.1	геометричних величин	30.03 — 10.04; 07.12 — 18.12
1.1.1	спеціалізованих засобів вимірювань геометричних величин на залізничному транспорті	30.03 — 03.04; 07.12 — 11.12
1.1.2	колісвимірних шаблонів	30.03 — 03.04; 07.12 — 11.12
1.1.3	шаблонів вагонного господарства	30.03 — 03.04; 07.12 — 11.12
1.2	механічних величин	18.05 — 29.05
1.2.1	маси	18.05 — 22.05
1.3	параметрів потоку, витрат, рівня та об'єму речовин	15.06 — 26.06
1.3.1	маси, об'єму, місткості та витрати	15.06 — 26.06
1.3.2	маси, об'єму, місткості	15.06 — 26.06
1.3.3	об'єму, місткості	15.06 — 19.06
1.4	температури, тиску, витрати	16.03 — 27.03; 09.11 — 20.11
1.4.1	температури, тиску	16.03 — 27.03; 09.11 — 20.11
1.4.2	тиску	16.03 — 20.03; 09.11 — 13.11
1.5	електричних величин	09.02 — 20.02; 21.09 — 02.10
1.5.1	електричних величин на залізничному транспорті	09.02 — 13.02; 21.09 — 25.09
1.6	радіотехнічних величин	09.02 — 20.02; 21.09 — 02.10
1.6.1	радіотехнічних величин на залізничному транспорті	09.02 — 13.02; 21.09 — 25.09
	2. Підвищення кваліфікації фахівців за курсами:	
2.1	Забезпечення єдності вимірювань на підприємстві	06.04 — 17.04; 29.06 — 10.07; 19.10 — 30.10
2.1	Забезпечення єдності вимірювань на підприємстві (з д/р)	29.06 — 03.07
2.2	Метрологічна експертиза технічної документації	06.04 — 17.04; 19.10 — 30.10
2.3	Забезпечення єдності вимірювань в закладах охорони здоров'я	25.05 — 29.05
2.4	Забезпечення єдності вимірювань ВК ВІС та АСК ТП. Метрологічний контроль ВК	29.06 — 10.07
2.5	Забезпечення єдності вимірювань в калібрувальних та вимірних лабораторіях	02.02 — 06.02; 07.12 — 11.12
2.5.1	Забезпечення відповідності калібрувальних та вимірних лабораторій критеріям атестації в ДМС, підготовка до атестації	02.02 — 06.02; 07.12 — 11.12
2.6	Забезпечення єдності вимірювань при проведенні контролю колісних транспортних засобів	26.01 — 30.01; 06.07 — 10.07
2.6.1	Забезпечення єдності вимірювання димності відпрацьованих газів двигунів автомобілів згідно з ДСТУ 4276:2004	26.01 — 30.01; 06.07 — 10.07
2.7	Забезпечення єдності вимірювання та обліку витрат енергоносіїв	12.01 — 16.01; 30.11 — 04.12
2.7.1	Забезпечення обліку якості та кількості вугілля при прийманні на підприємствах	у міру комплектування, 1 тиждень
2.7.2	Забезпечення єдності вимірювання та обліку витрати природного газу	12.01 — 16.01; 30.11 — 04.12
2.7.3	Основні методи та засоби вимірювання витрати та кількості газу на підприємствах постачання газу споживачам. Калібрування та повірка ЗВТ	12.01 — 16.01; 30.11 — 04.12
2.8	Розробка та атестація методик виконання вимірювань. Оцінка похибки та невизначеності вимірювань	09.02 — 13.02; 09.11 — 13.11
2.9	Технічне регулювання в Україні	26.01 — 30.01; 08.06 — 12.06; 14.09 — 18.09
2.10	Розробка і впровадження систем управління якістю	26.01 — 30.01; 26.10 — 30.10
2.10.1	Забезпечення функціонування систем управління якістю та проведення внутрішнього аудиту	26.01 — 30.01; 26.10 — 30.10
2.11	Стандартизація, розробка та впровадження нормативних документів	08.06 — 12.06; 14.09 — 18.09
2.12	Тепловізійні вимірювання. Тепловізійні методи контролю і діагностики	26.01 — 30.01; 23.11 — 27.11; 07.12 — 11.12
2.13	Проведення вимірювань та випробувань електротехнічними лабораторіями	02.02 — 06.02; 07.12 — 11.12
2.14	Внутрішній аудит в лабораторіях за ДСТУ ISO/IEC 17025:2006	19.01-23.01; 02.11 — 06.11
2.15	Вимоги до калібрувальних та випробувальних лабораторій відповідно до ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Внутрішній аудит в лабораторіях	19.01-23.01; 02.11 — 06.11
2.15.1	Вимоги до калібрувальних лабораторій відповідно до ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Оцінювання невизначеності вимірювань.	19.01-23.01; 02.11 — 06.11
2.15.2	Вимоги до випробувальних лабораторій відповідно до ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Оцінювання невизначеності вимірювань.	19.01 — 23.01; 02.11 — 06.11
	3. Тематичні семінари:	
3.1	Особливості забезпечення єдності вимірювань в сучасних умовах. Нова редакція Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність».	08.04 — 10.04; 01.07 — 03.07; 21.10 — 23.10
3.2	Стандартизація. Актуальні питання сьогодення. Нова редакція Закону України «Про стандартизацію».	27.01 — 28.01; 09.06 — 10.06; 15.09 — 16.09
	4. Підготовка кандидатів в аудиторів:	
4.1	Підготовка кандидатів в аудиторів з оцінки відповідності продукції за технічними регламентами (1-й модуль)	26.01 — 31.01; 08.06 — 13.06; 14.09 — 19.09
4.2	Підготовка кандидатів в аудиторів з оцінки відповідності продукції за технічними регламентами (2-й модуль)	у міру комплектування, 4 дні

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

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

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