

Вимірюйте  
усе доступне вимірюванню  
й робіть недоступне вимірюванню  
доступним.

Галілео Галілей

ISSN 2307-2180

# Метрологія



# Та прилади

№ 4(66), 2017

Науково-виробничий журнал

## Засновники:

Академія метрології України,  
Харківський національний  
університет радіоелектроніки (ХНУРЕ),  
Державне підприємство  
«Всеукраїнський державний  
науково-виробничий центр  
стандартизації, метрології, сертифікації  
та захисту прав споживачів»  
(ДП «Укрметртестстандарт»),  
ТОВ Виробничо-комерційна  
фірма «Фавор ЛТД»

Видається з березня 2006 року  
Рік випуску дванадцятий  
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.  
Грищенко Т. Г., д. т. н., с. н. с.  
Гудрун В., д. т. н., Німеччина  
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.  
Косач Н. І., д. т. н., проф.  
Кошева Л. О., д. т. н., проф.  
Крюков О. М., д. т. н., проф.  
Кузьменко Ю. В., к. т. н.  
Кухарчук В. В., д. т. н., проф.  
Мачехін Ю. П., д. т. н., проф.  
Назаренко Л. А., д. т. н., проф.  
Народницький Г. Ю., д. т. н., с. н. с.  
Неежмаков П. І., д. т. н. доц.  
Петришин І. С., д. т. н., проф.  
Пістун Є. П., д. т. н., проф.  
Радєв Х., д. т. н., проф., Болгарія  
Рожнов М. С., к. х. н., с. н. с.  
Руженцев І. В., д. т. н., проф.  
Самойленко О. М., д. т. н., проф.  
Скубіс Т., д. т. н., проф., Польща  
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 №13 від 01.09.2017)

## Адреса редакції:

61002, Харків, вул. Куликівська, 11;  
Тел.: (095) 00-68-665  
E-mail: metrolog-prylady@ukr.net  
http://www.amu.in.ua/journal1

## Видавець та відповідувач:

ВКФ «Фавор ЛТД»  
61140, Харків, пр-т. Гагаріна, 94-А, кв. 35;  
Свідцтво про внесення  
до Держреєстру видавців,  
виготівників і розповсюджувачів  
видавничої продукції  
серія ХК № 90 від 17.12.2003.

Підписано до друку 05.09.2017.  
Формат 60×84/8. Папір крейдований.  
Ум. друк. арк. 8,43. Обл.-вид. арк. 7,13.  
Друк офсетний. Тираж 400 прим.  
Замовлення № 31.

© «Метрологія та прилади», 2017

Журнал зареєстровано  
у Міністерстві юстиції України,  
свідцтво  
серія КВ № 22796-12696ПР  
від 03.07.2017;  
включено до Переліку наукових  
фахових видань України, наказ  
Міністерства освіти і науки України  
№ 747 від 13.07.2015

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

**31** липня — 3 серпня 2017 р. в м. Ріо де Жанейро (Бразилія) відбувся Міжнародний спільний Симпозіум ТК 1–ТК 7–ТК 13 Міжнародної конфедерації з вимірювань (ІМЕКО) «Виклики науки про вимірювання в природничих і соціальних науках», в якому взяли участь і виступили з доповідями представники України: д.т.н., проф. Величко О.М., д.т.н., доц. Гордієнко Т.Б. і к.т.н. Карпенко С.Р. Симпозіум організовано Бразильським товариством метрології (SBM), Національним інститутом метрології, якості та технологій Бразилії (INMETRO) і Католицьким університетом Ріо де Жанейро (PUC-Rio).

Тематика Симпозіуму охоплювала всі напрями діяльності ТК 1 «Освіта та перепідготовка з питань вимірювань і засобів вимірювань», ТК 7 «Наука про вимірювання» і ТК 13 «Вимірювання у біології та медицині» ІМЕКО:

- фундаментальні основи науки про вимірювання;
- словник науки про вимірювання;
- невизначеність вимірювань;
- вимірювання у фізиці та техніці;
- вимірювання у соціальних науках;
- вимірювання для наук про життя;
- вимірювання у повсякденному житті;
- освіта щодо вимірювань.

До складу Міжнародного програмного комітету Симпозіуму входили 53 представники із 19-ти країн. Головою Організаційного комітету Симпозіуму була представник Бразилії д-р Елізабет Коста Монтейро.

До Технічної програми Симпозіуму було включено 77 доповідей фахівців із майже 20 країн, зокрема, від України доповіді: О.М. Величко, С.Р. Карпенко, І.О. Карпенко «Особливості оцінювання компетентності технічних експертів у сфері метрології» та О.М. Величко, Т.Б. Гордієнко «Оцінювання компетентності експертів у сфері метрології різними методами».

Робота Симпозіуму проходила на 2-х пленарних сесіях, 9-ти спеціальних секціях і портерних презентаціях.

На пленарних засіданнях було заслухано 2 доповіді:

«Закон простих похибок: вимірювальна модель Раша і вимоги до випадковості у розподілі похибок порядкових оцінок» (Д. Андріч, Університет Західної Австралії, Австралія);

«Виклики у біовимірюваннях комірок, комплексів органічних субстанцій і протеїнів» (А. Сараїва, Дж. Савалканте, П. Белтрао, INMETRO, Бразилія).

Доповіді учасників Симпозіуму будуть надруковані у журналі «Journal of Physics: Conference Series», який входить до міжнародної наукометричної бази «Scopus».

Представники України взяли участь у засіданні ТК 7, на якому вирішувалися питання щодо тематики проведення наступних симпозіумів ТК 7, членства нових представників у ТК 7 країн-членів ІМЕКО тощо.

(За матеріалами ДП «Укрметртестстандарт»)

<b>МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ</b>	<b>METROLOGICAL ASSURANCE</b>
Величко О., Ісаєв В. Оцінювання стану метрологічного забезпечення вимірювання напруги змінного струму ..... 3	Velychko O., Isaev V. The Evaluation of the State of the Metrological Assurance of Measuring of Alternating Voltage
<b>ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ</b>	<b>MEASURING INSTRUMENTS AND SYSTEMS</b>
Петришин І., Присяжнюк Л., Бас О. Калориметр природного газу прямої дії ..... 8	Petryshyn I., Prysyzhnyuk L., Bas O. Direct Acting Natural Gas Calorimeter
<b>ТОЧНІСТЬ ТА ДОСТОВІРНІСТЬ</b>	<b>ACCURACY AND RELIABILITY</b>
І. Коробко, В. Кротевич Дослідження плунжерного витратоміра з лінійним декодером у складі одоризаційної установки ..... 17	Korobko I., Krotevich V. Researches of Plunger Flowmeter with the Line Decoder As a Component of an Odorizer
<b>ВИМІРЮВАННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ</b>	<b>MEASUREMENT AND TESTS</b>
Должанський А., Пінчук В., Колот Є. Удосконалення методу та результати вимірювання електричних властивостей суспензій ..... 21	Dolzanskiy A., Pinchuk V., Kolot Ye. Method Improvement and Results of the Suspensions Electrical Properties Measuring
<b>МЕТОДИ ТА МЕТОДИКИ</b>	<b>METHODS AND PROCEDURES</b>
Коробко А. Удосконалення методу вимірювання кута поперечної стійкості машини ..... 32	Korobko A. Measuring Angle of Lateral Stability of the Machine: Improvement of Method
<b>ПОХИБКИ ТА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ</b>	<b>ERRORS AND UNCERTAINTY</b>
Адамов Ю., Дяченко О., Завальнюк В. Вплив похибок визначення стану атмосфери на швидкість приземлення об'єкта, який десантується ..... 36	Adamov Yu., Dyachenko O., Zavalniuk V. The Influence of Errors of Atmosphere State Determination on the Object's Landing Velocity
<b>КОНЦЕПЦІЇ ТА ТЕОРІЇ</b>	<b>CONCEPTS AND THEORY</b>
Чалий В., Чала О. Зміна парадигми метрології ..... 42	Chalyi V., Chala O. Shift of the Metrology Paradigm
<b>ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ</b>	<b>APPLICATION AND EXPLOITATION</b>
Івашченко А., Моторний Г., Міненко О. Сучасний стан із застосування вимірювачів швидкості транспортних засобів дистанційних в Україні ..... 47	Ivashchenko A., Motornyi G., Minenko O. The Current Situation with the Application of Speed Cameras in Ukraine
<b>НАНОМЕТРОЛОГІЯ</b>	<b>NANOMETROLOGY</b>
Мачехин Ю., Хоролец Л. Направлення розвитку оптичних стандартів частоти ..... 51	Machekhin Yu., Khorolets L. Directions for the development of optical frequency standards
<b>ВІЙСЬКОВА МЕТРОЛОГІЯ</b>	<b>MILITARY METROLOGY</b>
Бойко В., Гаврилов А., Ноженко О., Рондін Ю. Актуальні питання військово-метрологічного супроводження зразків (комплексів) озброєння і військової техніки на етапах розроблення конструкторської та експлуатаційної документації й виготовлення дослідного зразка та попередніх випробувань ..... 58	Bojko V., Gavrilov A., Nozhenko A., Rondin Ju. Pressing Questions of Military-Metrological Support of Samples (Complexes) of Arms and the Military Technics at Development Cycles of the Design and Operational Documentation and Manufacturing of the Pre-Production Model and Preliminary Tests
<b>ХІМІЧНА МЕТРОЛОГІЯ</b>	<b>CHEMICAL METROLOGY</b>
Калинюк М. Вміст кисню, азоту, водню, вуглецю, сірки в коксах та графітових матеріалах ..... 62	Kalyniuk M. Oxygen, Nitrogen, Hydrogen, Carbon, Sulfur Contents in Cokes and Graphite Materials
<b>ТЕХНІЧНІ КОМІТЕТИ</b>	<b>TECHNICAL COMMITTEES</b>
Самойленко О., Ціпоренко С., Салганик Б. Щодо діяльності технічного комітету стандартизації ТК 156 ..... 70	Samoylenko O., Tsiiporenko S., Salganyk B. About Activities of Standardization Technical Committee TC 156
<b>ІНФОРМАЦІЯ</b>	<b>INFORMATION</b>
..... 16, 57	.....

УДК 389.64:621.317.322

# ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ НАПРУГИ ЗМІННОГО СТРУМУ

**О. Величко**, доктор технічних наук, директор науково-виробничого інституту,  
**В. Ісаєв**, старший науковий співробітник науково-дослідного відділу,  
ДП «Укрметртестстандарт», м. Київ

*Розглянуто основні результати групового експертного оцінювання стану метрологічного забезпечення вимірювання напруги змінного струму. За експертного оцінювання враховувалася оцінена компетентність експертів з метрології. Для опрацювання отриманих групових експертних даних використовувалися універсальні програмні засоби, які дозволяють здійснювати статистичне їх опрацювання, а також виконано перевірку їх на узгодженість із застосуванням широкочисливих критеріїв.*

*In the article the basic results of group expert evaluation of the state of the metrological assurance of measurements of alternating voltage. At expert estimations taking account of competence of experts in field of metrology was appraised. For processing of the obtained expert data universal software were used that allow to carry out its statistical processing and also realizable verification it's on consistency with application of widespread criteria.*

**Ключові слова:** експертне оцінювання; метрологічне забезпечення; вимірювання; напруга змінного струму.  
**Keywords:** expert estimation; metrological assurance; measurement; alternating voltage.

**М**етрологічним забезпеченням є установлення та застосування метрологічних норм і правил, а також розроблення, виготовлення та застосування технічних засобів, необхідних для досягнення єдності та потрібної точності певних вимірювань. Важливо достовірне знання реального стану метрологічного забезпечення (МЗ) вимірювання певної фізичної величини, для визначення його може бути застосовано групове експертне оцінювання із залученням до нього експертів з метрології.

Для вирішення певних проблемних питань у різних сферах діяльності все частіше зважають на думку провідних фахівців і експертів, залучаючи їх до різних експертних оцінок. Узагальнену думку експертів отримують за допомогою застосування методів математичної статистики. Питанням підбору кваліфікованих експертів, які мають спеціальні навички або знання у конкретній галузі діяльності, оцінювання їхньої компетентності, використання результатів їхньої роботи, підвищення достовірності та об'єктивності цих результатів експертних оцінок у рамках реалізації певних експертних методів повинна приділятися особлива увага [1—4].

## 1. СТАН НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕТАЛОННОЇ БАЗИ

Очолує національну еталонну базу у сфері вимірювань напруги змінного струму Державний еталон одиниці електричної напруги від 0,1 до 1000 В змінного струму в діапазоні частот від 20 Гц до 1 МГц (ДЕТУ 08-07-02) (рис. 1), який зберігається у ДП «Укрметртестстандарт» (м. Київ). Передавання одиниць електричної напруги змінного струму відбувається за державною повірочною схемою згідно з ДСТУ 4122 [5].

Протягом останніх 15 років в Україні перебували в експлуатації 4 вторинних еталони одиниці електричної змінної напруги, які містять 30 термоперетворювачів,



О. Величко



В. Ісаєв



Рис. 1. Державний еталон одиниці електричної напруги від 0,1 до 1000 В змінного струму в діапазоні частот від 20 Гц до 1 МГц

Fig. 1. State primary standard of unit of AC electrical voltage in range from 0.1 to 1000 V in frequency range from 20 Hz to 1 MHz

яким необхідно передавати розмір одиниці змінної напруги від Державного еталона ДЕТУ 08-07-02, створеного у 2002 році. Після 2009 року в експлуатацію також уведено військовий вторинний еталон одиниці змінної напруги. Окрім вторинних еталонів одиниці змінної напруги, також експлуатуються інші високоточні ЗВТ: термоелектричні компаратори — Fluke 792A, РМЖС тощо; калібратори — Fluke 5520, TE 5025, Transmille 3010, КМ300К, Н4-6, Н4-7 тощо; вимірювачі змінної напруги — В7-62, ВСВ-1, ВСВ-3, ВСВ-5, Agilent 3458A, Fluke 8508A тощо. Зазначені прецизійні ЗВТ, окрім метрологічних центрів, застосовуються в електроенергетиці, індустріальних технологіях цивільного і військового призначення, інших галузях науки і техніки. На державному еталоні ДЕТУ 08-07-02 виконуються повірка й калібрування (до 01.01.2016 — державна метрологічна атестація — ДМА) термоперетворювачів, калібраторів напруги та цифрових вольтметрів підвищеної точності.

Загальну кількість повірених, атестованих і відкаліброваних ЗВТ із застосуванням Державного еталона ДЕТУ 08-07-02 за роками наведено у табл. 1 і на рис. 2.

Зростання кількості відкаліброваних ЗВТ (робочих еталонів) і, відповідно, зменшення повірених ЗВТ (робочих еталонів) у 2016 році пов'язано зі вступом у силу з 01.01.2016 нової редакції Закону України «Про метрологію та метрологічну діяль-

ність», статтю 27 якого передбачено калібрування робочих еталонів замість їх повірки.

Для калібрування ЗВТ напруги змінного струму важливим питанням є забезпечення метрологічної простежуваності до національних еталонів інших країн. Метрологічна простежуваність ДЕТУ 08-07-02 забезпечується міжнародними звіреннями з національними еталонами інших країн (проекти COOMET.EM-S1 [6] та COOMET.EM-K6.a [7]).

ДП «Укрметртестстандарт» має опубліковані у Базі даних ключових звірень (KCDB) Міжнародного бюро з мір і вагів (BIPM) 5 рядків калібрувальних і вимірювальних можливостей (СМС) і 2 матриці невизначеності та право наносити знак багатосторонньої Угоди про взаємне визнання національних еталонів, калібрувальних і вимірювальних можливостей Міжнародного комітету з мір і вагів (CIPM MRA) на свої сертифікати калібрування [8—10].

## 2. ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ГРУПОВОГО ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ

Групове експертне оцінювання МЗ вимірювань напруги змінного струму проведено за методикою, описаною в [11], із залученням групи у кількості 12 експертів з метрології, які займаються відповідними вимірюваннями, компетентність яких було попередньо оцінено. Експерти представляють регіональні центри метрології (96, 75%) та енергетичні підприємства (3, 25%).

Оцінка здійснювалася за 6 проблемними питаннями: персонал, задіяний у метрологічних роботах (X1); умови проведення метрологічних робіт (X2); нормативні та методичні документи (X3); еталонна база та допоміжне обладнання (X4); процедури і документи з проведення метрологічних робіт (X5); метрологічна простежуваність (X6), які містять 38 підпитань. Для опрацювання отриманих даних оцінки використано універсальне програмне забезпечення (ПЗ) Microsoft Excel. Результати експертної оцінки з урахуванням компетентності експертів наведено на рис. 3.

Значення використаних у процесі оцінювання коефіцієнтів компетентності  $k_k$  (містяться в діапазоні від 0 — мінімальний до 1 — максимальний) для

Таблиця 1. Загальна кількість повірених, атестованих і відкаліброваних ЗВТ за роками

Table 1. Total of units of measuring instruments which verified, attested and calibrated by years

Одиниць ЗВТ/рік	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Повірено	24	21	31	29	31	28	31	37	22	55	40	35	5
Атестовано	0	1	6	2	8	0	2	4	8	2	1	0	0
Відкалібровано	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	43

всіх експертів наведено у табл. 2. Зазначені коефіцієнти отримано із застосуванням методики, описаної в [12].

За результатами аналізу також оцінено:

- ступені відхилення оцінених середніх балів від опорного значення за питаннями (X1–X6) без/з урахуванням компетентності експертів (рис. 4);
- середні значення експертних оцінок за питаннями (X1–X6) без/з урахуванням компетентності експертів (рис. 5).

Опорні значення експертних оцінок для оцінених середніх балів складають: без урахування компетентності експертів — 6,65; з урахування компетентності — 5,37.

Для перевірки узгодженості отриманих даних здійснено розрахунок коефіцієнта узгодженості Кендалла  $W$  і значення критерію згоди  $\chi^2$  Пірсона [4]. Отримано значення коефіцієнта

узгодженості Кендалла  $W = 0,42$  і значення критерію згоди  $\chi^2$  Пірсона 184,35, що свідчить стосовно середнього ступеня узгодженості даних і задоволення даних критерію  $\chi^2$  для рівня довіри 0,05 ( $\chi^2 > \chi^2_{T(0,05;M-1)} = 52,19$ , де  $M$  — кількість підпитань, що розглядалися).

### 3. ПЕРШОЧЕРГОВІ ПИТАННЯ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ СТАНУ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Аналіз отриманих результатів засвідчив, що найменш важливі для розгляду це питання (без/з урахуванням компетентності експертів): X2 (8,07/6,54); X4 (7,13/5,77); X5 (6,94/5,67), а найбільш важливі — X6 (5,19/4,11); X3 (5,93/4,80); X1 (6,63/5,33), які розподілилися порівну.

Аналіз результатів також свідчить, що 13 підпитань (34%) є пріоритетними для подальшого детального аналізу з метою прийняття необхідних рішень, а 25 підпитань (66%) не мають першочергового чи взагалі ніякого значення для їхнього подальшого аналізу. Урахування коефіцієнта компетентності експертів у цілому не вплинуло на кінцевий результат оцінювання, зважаючи на достатньо однорідні оцінки експертів за питаннями, що розглядалися.

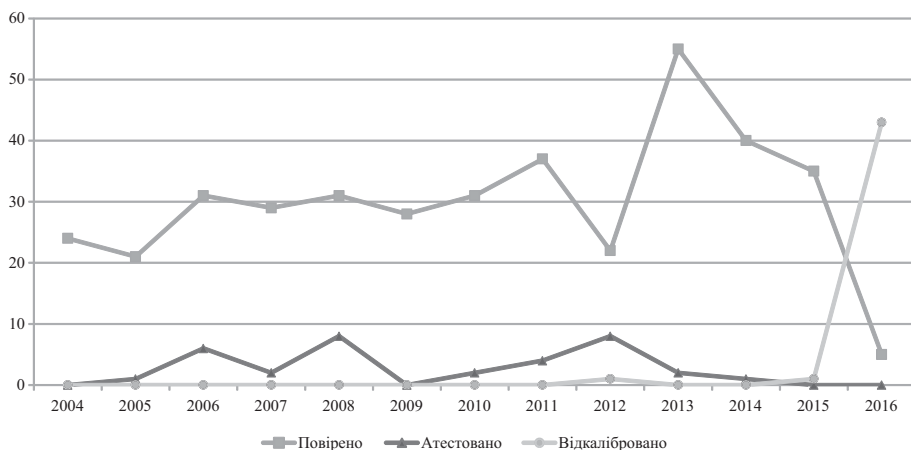


Рис. 2. Повірені, атестовані й відкалібровані ЗВТ за роками  
Fig. 2. Verified, attested and calibrated measuring instruments by years

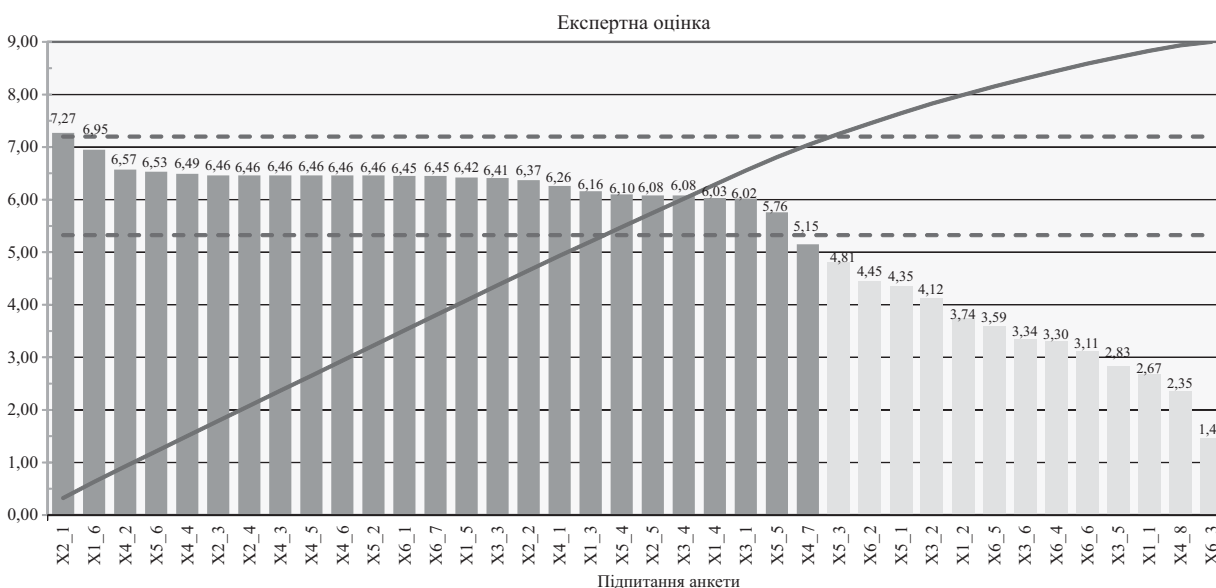


Рис. 3. Результати експертної оцінки з урахуванням компетентності експертів  
Fig. 3. Results of expert's estimation with taking account of expert competence

Таблиця 2. Коефіцієнти компетентності експертів

Table 2. Coefficients of competence of expert

Експерт	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
$k_k$	0,69	0,95	0,69	0,90	0,97	0,74	1,00	1,00	0,56	0,72	0,90	0,77

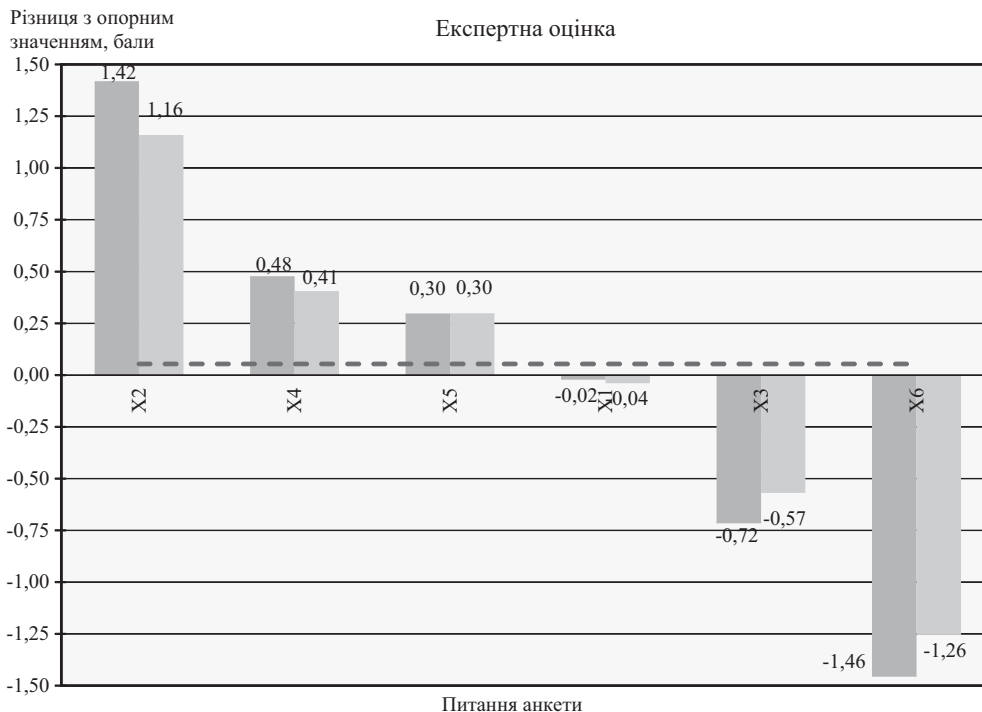


Рис. 4. Гістограма для ступенів відхилення оцінених середніх балів від опорного значення без (ліві стовпчики) і з урахуванням (праві стовпчики) компетентності експертів  
 Fig. 4. Histogram for degree of variations of estimated average grades at reference value without (left columns) and with (right columns) taking account of expert competence

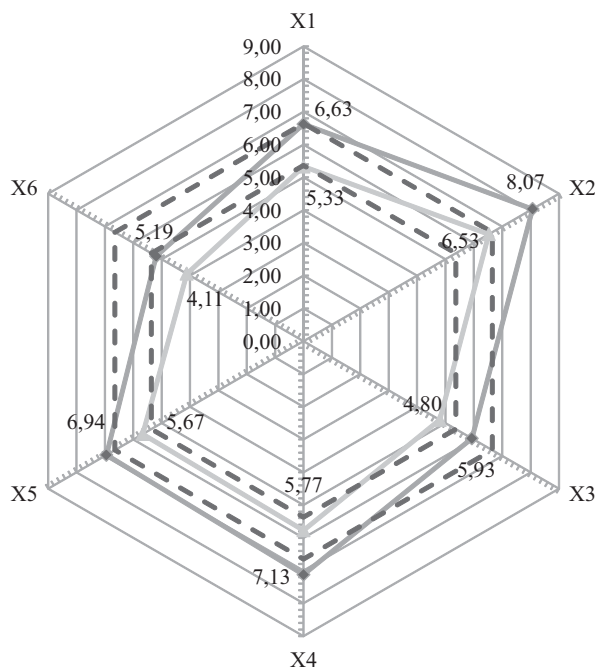


Рис. 5. Діаграма для середніх значень експертних оцінок без/з урахуванням компетентності експертів

Fig. 5. Diagram for average values of expert estimation without/with taking account of expert competence

Першочерговими підпитаннями для подальшого більш поглибленого вивчення під час вимірювання високої сталі напруги є (у порядку важливості):

- співвідношення між кількістю повірених і відкаліброваних підприємством ЗВТ (X6\_3);
- наявність на підприємстві пересувних лабораторій, укомплектованих робочими еталонами, ЗВТ та обладнанням (X4\_8);
- загальна кількість фахівців, які займаються метрологічними роботами (X1\_1);
- наявність методик, які потребують розроблення чи перегляду (X3\_5);
- оцінка придатності ПЗ для автоматизованого збору і опрацювання отриманих даних за повірки (калібрування) ЗВТ (X6\_6);
- наявність повірочних схем на робочих місцях (X3\_6);
- використання методик калібрування ЗВТ (X6\_4);
- стан оцінки невизначеності за калібрування ЗВТ (X6\_5);

- кількість фахівців, які проводять чи беруть участь у випробуваннях ЗВТ (X1\_2);
- використання методик повірки ЗВТ (X3\_2);
- уповноваження чи акредитація підприємства на виконання метрологічних робіт (X5\_1);
- калібрування робочих еталонів (X6\_2);
- забезпечення робочих еталонів, ЗВТ та обладнання ремонтним і технічним обслуговуванням (X4\_7).

Загалом можна відзначити за результатами експертного оцінювання в цілому позитивний стан МЗ вимірювань змінної напруги.


### ВИСНОВКИ

Групове експертне оцінювання із залученням до нього експертів з метрології з певних вимірювань може стати корисним засобом для встановлення реального стану МЗ. Для опрацювання отриманих експертних даних і отримання результатів оцінювання

можуть бути використані універсальне ПЗ для їх математичного опрацювання. Доцільно здійснювати перевірку узгодженості отриманих даних із використанням коефіцієнта узгодженості Кендалла і значення критерію згоди  $\chi^2$  Пірсона.

За результатами проведеного експертного оцінювання загалом можна констатувати у цілому позитивний стан МЗ вимірювань напруги змінного струму. При цьому, однак, потрібно відзначити наявність певних проблемних питань щодо співвідношення між кількістю повірених і відкаліброваних підприємством ЗВТ, наявності на підприємстві пересувних лабораторій, укомплектованих робочими еталонами, ЗВТ та обладнанням, загальної кількості фахівців, які займаються метрологічними роботами, наявності методик, які потребують розроблення чи перегляду, оцінки придатності ПЗ для автоматизованого збору і опрацювання отриманих даних у процесі повірки (калібрування) ЗВТ.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Литвак Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений. — М.: Патент (Litvak B. G. Expert estimation and decision. — М.: Patent), 1996. — 271 с/р.
2. Павлов А.Н., Соколов Б.В. Методы обработки экспертной информации: учеб.-метод. пособие. — СПб: ГУАП (Pavlov A.N., Sokolov B. V. Methods of processing of expert information: tutorial and methodological textbook. — SPb: GUAP), 2005. — 42 с/р.
3. Грабовецкий Б.Е. Методы экспертных оценок: теория, методология, напрями використання. — Вінниця: ВНТУ (Grabovetskii B.E. Methods of expert estimation: theory, methodology, direct of using. — Vinnytsa: VNTU). 2010. — 171 с/р.
4. Величко О.М., Коломієць Л.В., Гордієнко Т.Б., Шевцов А.Г., Карпенко С.Р., Табер А.А. Групове експертне оцінювання та компетентність експертів. — Одеса: ФОП Бондаренко (Velychko O.M., Kolomiets L.V., Gordiyenko T.B., Shevtsov A.G., Karpenko S.R., Gaber A.A. Group expert's estimation and competence of experts. — Odesa: FOP Bondarenko), 2015. — 285 с/р.
5. ДСТУ 4122:2006. Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювання електричної напруги від 0,1 В до 1000 В змінного струму в діапазоні частот від 10 Гц до 1 МГц (DSTU 4122:2006. Metrology. State verification schema for measuring instruments AC electrical voltage in range from 0.1 to 1000 V in frequency range from 20 Hz to 1 MHz).
6. Supplementary bilateral comparison of the national AC/DC voltage transfer references between VNIIM (Russia) and Ukrmetrteststandard (Ukraine) (COOMET.EM-S1) // G.P. Telitchenko. — D.I. Mendeleev Institute for Metrology, St. Petersburg, Russia. — 6 p. — Metrologia. — 2017. — Vol. 54. — Issue 1A. — Technical Supplement 01004. doi:10.1088/0026-1394/54/1A/01004 (Додаткові двосторонні звірення національних опорних перетворювачів змінної напруги в постійну напругу між ВНИИМ (Росія) та ДП «Укрметрестстандарт» (Україна) (COOMET.EM-S1) // Г.П. Теліченко. — Інститут метрології ім. Д.І. Менделєєва, С. Петербург, Росія. — 6 с.).
7. Final Report on COOMET key comparison of AC/DC voltage transfer references (COOMET.EM-K6.a) // O. Velychko, Yu. Darmenko. — June 2014. — Kyiv, Ukraine. — 35 p. — Metrologia. — 2016. — Vol. 53. — Issue 1A. — Technical Supplement 01011. doi:10.1088/0026-1394/53/1A/01011 (Заключний звіт по КООМЕТ ключовим звіренням опорних перетворювачів змінної напруги в постійну напругу (COOMET.EM-K6.a) // О. Величко, Ю. Дарменко. — Червень 2014. — Київ, Україна. — 35 с.).
8. Міжнародна база даних ключових звірень Міжнародного бюро з мір і вагів — KCDB (International database of key comparisons of International Bureau of Weights and Measures — KCDB) <http://kcdb.bipm.org/>.
9. CIPM MRA-D-04:2013. Calibration and Measurement Capabilities in the context of the CIPM MRA (Калібрувальні та вимірювальні можливості у контексті Угоди CIPM MRA).
10. Velychko O.N. Calibration and measurement capabilities of metrological institutes: features of preparation, examination, and publication // Measurement Techniques. (Величко О.М. Калібрувальні та вимірювальні можливості метрологічних інститутів: особливості підготовки, перевірки і публікації / Измерительная техника. — 2010. — № 6. — Р/С. 69—73).
11. Величко О.М., Гордієнко Т.Б., Коломієць Л.В. Методика експертної оцінки з урахуванням компетентності експертів // Металлургическая и горнорудная промышленность (Velychko O.M., Gordiyenko T.B., Kolomiets L.V. Methodology of expert estimation with taking account of competence of expert // Metallurgical and Mining Industry). — 2014. — № 5 (290). — С/Р. 106—111.
12. Величко О.М., Гордієнко Т.Б., Коломієць Л.В. Методика оцінки компетентності експертів з урахуванням характеристик невизначеності даних // Металлургическая и горнорудная промышленность (Velychko O.M., Gordiyenko T.B., Kolomiets L.V. Methodology of estimation of competence of the expert with taking account of characteristics of data uncertainty // Metallurgical and Mining Industry). — 2014. — № 3 (288). — С/Р. 135—137. 

Отримано / received: 09.06.2017.

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

УДК 620.93

# КАЛОРИМЕТР ПРИРОДНОГО ГАЗУ ПРЯМОЇ ДІЇ

**І. Петришин**, доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник,  
**Л. Присяжнюк**, інженер з якості I категорії,  
**О. Бас**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
 ДП «Івано-Франківськстандартметрологія»

*Обґрунтовано та розроблено портативний переносний калориметр природного газу прямої дії для визначення теплоти згоряння. Принцип дії калориметра побудовано шляхом синтезу принципу прямого спалювання природного газу з додатковою функцією контролю параметра стехіометричного горіння, реалізованого шляхом вимірювання вмісту залишкового кисню в димових газах та їх температури. Для розробленого калориметра проведено метрологічний аналіз та оцінено відносну похибку, границі якої відповідають 2 класу точності згідно з ДСТУ ISO 15971.*

*In the article the portable gas calorimeter direct action for determining the heat of combustion was developed. The principle of operation calorimeter constructed by synthesis of the principle of direct combustion of natural gas from the additional function control parameter stoichiometric combustion, which is implemented by measuring residual oxygen content in the flue gases and their temperature. Developed to calorimeter conducted metrological analysis and assessed the relative error, which borders meet Class 2 accuracy according to ISO 15971 ISO.*

**Ключові слова:** калориметр, теплота згоряння, природний газ, стехіометрія, похибка.  
**Keywords:** calorimeter, heat of combustion, natural gas, stoichiometry, error.

**Н**аціональна комісія з регулювання енергетики і комунальних послуг України (НКРЕКП) 26 січня 2017 року на засіданні колегії прийняла та ввела в дію постанову № 84 «Про затвердження Змін до деяких постанов НКРЕКП про введення на ринку природного газу використання одиниць енергії». Документ зобов'язує операторів локальних газорозподільних мереж, тобто газотранспортні та газозбутові організації, у платіжних документах, що видаються споживачам, окрім обсягу природного газу в м<sup>3</sup>, вказувати значення середньозваженої теплоти згоряння газу за розрахунковий період та кількість спожитої енергії в трьох одиницях вимірювання — кіловат-годинах (кВт·год), Гікакалоріях (Гкал) і Мегаджоулях (МДж).

Газотранспортна система України є складною багатопараметричною системою, яка працює безперервно та змінюється динамічно в реальному часі залежно від режиму роботи компресорних станцій. Газ у трубопровідну систему надходить із різних джерел, кожен з яких має свої фізико-хімічні властивості та показники. Зокрема, газ, що надходить у режимі реверсу зі Словаччини, відрізняється від основного потоку газу з Росії, що транзитом транспортується до країн Європи; окрім того, в систему також надходить газ із родовищ власного видобутку на території України. ПАТ «Укртрансгаз» провів розподіл мереж газопроводів на маршрути, яких в Україні налічується 268. За кожним маршрутом газ, через газорозподільні станції (ГРС), які є точками виходу із системи і яких налічується 1978, доставляється до трубопро-



І. Петришин



Л. Присяжнюк



О. Бас



відних мереж регіональних газозбутових організацій або ж до кінцевих споживачів, якими зазвичай є промислові підприємства і які проводять комерційні розрахунки за спожитий газ безпосередньо з ПАТ «Укртрансгаз». На сьогодні ПАТ «Укртрансгаз» надає паспорти фізико-хімічних показників природного газу за кожним із 268 маршрутів, у яких, разом із іншими показниками, вказані щоденні значення теплоти згоряння природного газу. Визначення теплоти згоряння природного газу проводиться в хіміко-аналітичних лабораторіях ПАТ «Укртрансгаз», яких налічується 71, за допомогою газових хроматографів, тобто із застосуванням непрямого розрахункового методу, що базується на основі визначення компонентного складу природного газу. Окрім того, для визначення параметрів газу на газовимірювальних станціях (ГВС), за якими здійснюються міждержавні комерційні розрахунки за природний газ, та на внутрішніх вузлах обліку газу I категорії, тобто зі споживанням понад 100 000 м<sup>3</sup>/год, як того вимагають Правила обліку газу [1], встановлено 46 автоматичних потокових хроматографів, які визначають компонентний склад й інші характеристики газу в режимі реального часу. Розрахунковий метод визначення теплоти згоряння також застосовують лабораторії регіональних газозбутових організацій.

Разом з тим визначення теплоти згоряння природного газу можна проводити згідно з [2] із застосуванням таких методів вимірювання: прямого, із використанням газових калориметрів; непрямого, за допомогою газових хроматографів; опосередкованого, на основі кореляційних залежностей.

За застосування непрямого розрахункового методу визначення теплоти згоряння природного газу процедура проведення досліджень полягає в такому. На маршруті транспортування газу, в спеціально визначених місцях, зазвичай це ГРС, із газопроводу здійснюється відбір представницької проби газу до пробовідбірника, після чого відібрана проба доставляється в хіміко-аналітичну лабораторію, де, за допомогою хроматографа, виконується аналіз компонентного складу газу та визначення теплоти згоряння. Отримане значення теплоти згоряння природного газу, разом із кількістю спожитого газу, відображаються у розрахунково-платіжних документах, за якими здійснюють розрахунки кінцеві споживачі. Відповідно, кінцевий споживач промислового чи побутового сектору не має можливості переконатися в достовірності отриманого за розрахунковий період значення теплоти згоряння спожитого газу. Споживач має право звернутися до незалежної лабораторії для проведення визначення теп-

лоти згоряння природного газу, проте аналіз проводитиметься аналогічно описаній методиці з послідовним відбором проби та хроматографічним аналізом, оскільки наразі в Україні в хімічних лабораторіях відсутні газові калориметри прямого згоряння.

*Мета статті* — розроблення переносного газового калориметра, в якому відбувається безпосереднє спалювання порції природного газу і за допомогою якого можна визначити теплоту згоряння природного газу прямим методом, у тому числі й у споживачів комунально-побутового сектору із застосуванням газової плити споживача.

Для розроблення переносного газового калориметра необхідно провести аналіз наявних типів калориметрів із урахуванням їх переваг та недоліків. В Україні є чинним гармонізований міжнародний стандарт ДСТУ ISO 15971:2014 [3], який стосується методів визначення теплоти згоряння природного газу за допомогою газових калориметрів. Стандарт розділяє окремо прямі та непрямі методи згоряння.

До калориметрів, реалізованих за методом прямого вимірювання теплоти згоряння, відносяться прилади, в яких внутрішня енергія виміреної кількості газу, що перейшла в теплову енергію і виділилася під час його спалювання, витрачається на стабільне рівномірне підвищення температури теплоносія у теплообміннику. Теплота згоряння природного газу в таких приладах є функцією залежності від градієнта початкової та кінцевої температури теплоносія і визначається за допомогою термометричних вимірювань. Основна перевага калориметрів прямого згоряння — те, що вони не мають обмежень на компонентний склад газу та його фізико-хімічні характеристики.

До калориметрів непрямих методів згоряння зазвичай відносять прилади, які в процесі спалювання газу виконують вимірювання однієї або декількох фізико-хімічних властивостей газу і, з використанням залежностей між теплотою згоряння і виміреною властивістю, дають можливість зробити висновки щодо значення теплоти згоряння аналізованого газу. До них належать прилади стехіометричного та каталітичного горіння.

Прилади стехіометричного горіння побудовано на принципі реалізації процесу повного згоряння певної кількості природного газу, за умови, що весь кисень, який міститься у повітрі вступить в реакцію і в продуктах згоряння не буде його надлишку. У такий спосіб досягається максимальне значення теплоти згоряння (вищої або нижчої) природного газу в процесі його згоряння за умови забезпечення стехіометричного співвідношення, яке харак-

теризує відношення дійсної кількості повітря і газу, що спалюється, до теоретичної кількості цих компонентів і визначається як:

$$\lambda = (V_G / V_O) / (V_G^{ST} / V_O^{ST}), \quad (1)$$

де  $V_G$  — об'єм газу;  $V_O$  — об'єм повітря; показник  $ST$  — характеристика стехіометричного співвідношення.

Із цього випливає, що обмеження на компонентний склад газу (негорючі компоненти) і є основним недоліком такого типу приладів. У частині практичної реалізації цих приладів вироблено два усталених підходи. Перший полягає у визначенні стехіометричної точки за таким співвідношенням повітря, що надходить для спалювання газу, коли кисень у продуктах горіння відсутній, тобто його вміст, вимірений з певною точністю, дорівнює нулю. Практична реалізація полягає у встановленні в димохідний трубопровід давача вмісту кисню як елемента системи зворотного зв'язку, суть якої полягає у зміні кількості повітря або газу, який надходить у пальник. Другий підхід також полягає у визначенні стехіометричної точки співвідношення кількості повітря до газу, проте інформативним параметром є визначена найвища температура горіння газоповітряної суміші.

Що стосується приладів каталітичного горіння, то вони базуються на залежності теплоти згорання відносно до кількості теплоти, яка виділяється із газу під час його повного окиснення (каталітичного згорання), на поверхні з каталізатором [3]. Досліджуваний газ піддають окисненню на поверхні провідника, покритого каталізатором (наприклад, платиною), виділена теплота витрачається на підвищення температури провідника, яка у свою чергу спричиняє зміну його електричного опору. Опір вимірюють і визначають зміну температури полум'я, на основі чого встановлюють значення теплоти згорання природного газу.

Відповідно, підсумовуючи аналіз методів калориметричного прямого та непрямого вимірювання теплоти згорання природного газу, можна стверджувати, що розроблення портативного калориметра згорання, в якому враховуватиметься вплив негорючих компонентів та наявність вологи у газі, доцільно проводити шляхом синтезу калориметра прямого згорання з додатковою функцією контролю параметра стехіометричного горіння шляхом вимірювання вмісту залишкового кисню в димових газах та їх температури.

У відповідності до [4] для кожного газоспоживального приладу в технічній документації на нього вказується номінальне значення теплової потуж-

ності  $N$ , яка в свою чергу визначається як:

$$N = q \cdot H / 3600, \quad (2)$$

де  $H$  — теплота згорання природного газу, ккал/м<sup>3</sup>;  $q$  — об'ємна витрата газу, що споживається, м<sup>3</sup>/год, яка визначається як:

$$q = V_G / \tau, \quad (3)$$

де  $\tau$  — час, протягом якого проводять дослідження.

Отже, із формули (2), із застосуванням зворотного перетворення, можливо визначити теплоту згорання природного газу. Нормативним документом [4] передбачено метод випробувань із застосуванням ємності з відомими геометричними розмірами. Випробування проводять у такий спосіб: наповнену водою ємність з кришкою встановлюють на робочу поверхню газоспоживального обладнання (газової плити), початкова температура води повинна становити  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ , температуру води доводять до  $(90 \pm 1)^\circ\text{C}$ ; після чого подавання газу до пальника припиняється, максимальна температура води фіксується термометром, який встановлено всередині ємності. Об'ємна витрата газу встановлюється за допомогою лічильника. Проте, застосування такого методу для визначення теплоти згорання є неефективним, оскільки вагомим впливним фактором є задекларована номінальна теплова потужність газоспоживального приладу, яка міститься в межах  $\pm 5\%$  і потребує визначення з високою точністю.

Подальші дослідження авторів пов'язані із удосконаленням цього методу в частині підвищення ефективності та точності визначення теплоти згорання природного газу із застосуванням газоспоживальних приладів споживача, тобто забезпечуючи умови вимірювання, аналогічні умовам споживання газу в побуті.

Після проведення детального дослідження принципу стехіометричного горіння [5, 6] авторами встановлено, що в цьому випадку кінетика реакції горіння вуглеводнів, які є основними компонентами природного газу, за застосування глобального механізму, який описує процес горіння у виді одностадійної хімічної реакції без проміжних елементів та етапів, виглядає так:

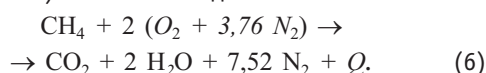


де  $m, n$  — відповідні числа атомів вуглецю та водню в молекулі;  $Q$  — теплота згорання, яка виділилася під час згорання вуглеводнів.

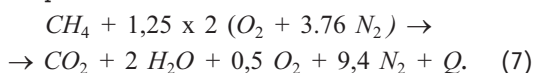
Теоретично розраховане співвідношення об'єму необхідного повітря під час повного кінетичного згорання природного газу для забезпечення стехіометричної суміші можна визначити із рівняння [6]:

$$V_0 = 4,76 [0,5(H_2 + CO) + 2CH_4 + \sum (m + n / 4) C_m H_n + 1,5H_2S - O_2]. \quad (5)$$

Згідно з (5) теоретичний об'єм повітря  $V_0$  для повного згорання  $1 \text{ м}^3$  метану становить  $9,512 \text{ м}^3$  [7]. Рівняння горіння метану в повітрі (азот — 79 %, кисень — 21 %) має такий вид:



У разі недотримання стехіометричної суміші, наприклад, за надлишку повітря 25 % у відносному вираженні, у лівій частині рівняння горіння з'являється додатковий множник  $i$ , відповідно, у правій — компонент у виді залишкового вмісту вологого кисню ( $\text{O}_2$ ), який виявлятиметься за допомогою давача, розташованого у тракці слідування димових газів, а рівняння горіння зміниться на таке:



Зважаючи на зазначене, авторами проведено дослідження і встановлено залежність між значенням теплоти згорання природного газу та теоретичним значенням стехіометричного співвідношення, яке потрібне за згорання чистих газів, представлена на рис. 1. Отримана залежність має лінійний характер і підтверджує, що значення теплоти згорання природного газу є лінійною функцією кількості повітря до об'єму газу, необхідного для досягнення стабільного стехіометричного горіння.

Оскільки в процесі проектування портативного переносного калориметра важливим компонентом системи є його метрологічне забезпечення, встановлену залежність (рис. 1) доцільно застосовувати під час проведення періодичного калібрування калориметра. Процедура калібрування повинна проводитися у такій послідовності. У калориметрі спалюють метан підвищеної чистоти ( $\text{CH}_4$ ) з відомим значенням теплоти згорання, після чого аналогічно проводять спалювання етану ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) підвищеної чистоти. Наступним етапом проводять спалювання еталонної суміші «природний газ» з відомим компонентним складом і нормованим значенням теплоти зго-

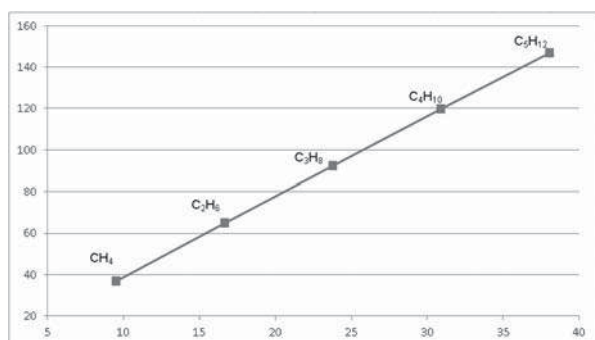


Рис. 1. Залежність теплоти згорання чистого газу  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$  від стехіометричного співвідношення

Fig. 1. Dependence of the gas net calorific value  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$  from the stoichiometric ratio

рання, визначеним за допомогою хроматографічних досліджень. Під час проведення калібрування, після виходу приладу на стабільний режим горіння та досягнення стехіометричного горіння, фіксують стабільну температуру димових газів протягом заміру. За отриманими значеннями будують градувальну залежність для калориметра.

У процесі проведення вимірювань теплотворної здатності природного газу, який надходить із газопровідної мережі, очевидно, що теплота згорання досліджуваного газу відрізнятиметься від теплоти згорання газу підвищеної чистоти, який застосовувався під час калібрування, і, відповідно, температура димових газів за досягнення стехіометричного горіння відрізнятиметься від температури, визначеної за спалювання чистих газів, що і стане інформативним параметром значення теплоти згорання досліджуваного газу.

На основі проведених попередніх досліджень [8] авторами розроблено портативний калориметр для визначення теплоти згорання природного газу, в тому числі й за умов побутового сектору, схему якого представлено на рис. 2. Калориметр розроблявся як портативний переносний прилад з можливістю проведення вимірювань безпосередньо у споживача, за умов, які відповідають реальному споживанню природного газу та із застосуванням газоспоживальних приладів без втручання до мережі газопостачання.

Основними складовими елементами розробленого портативного переносного калориметра є: калориметрична колонка згорання із газовим пальником, в якій здійснюється спалювання природного газу, термоізований теплообмінник із теплоносієм з попередньо визначеними фізико-хімічними характеристиками; пристрій для визначення об'єму спожитого природного газу, який надходить у газовий пальник.

Принцип дії та алгоритм роботи розробленого калориметра полягає у такому. До конфорки 2 газової плити 1 під'єднується гнучкий пожежобезпечний рукав, за допомогою якого проводиться відбір газу із будинкової газової мережі. Оскільки проведення вимірювань теплоти згорання газу — це процедура, яка здійснюється у попередньо визначений період, тобто калориметр не передбачає стаціонарного встановлення у споживача, відповідно, для виконання вимірювань необхідно провести підготовчі роботи. Спочатку потрібно демонтувати сопло пальника газової конфорки. Сопло (форсунка) як звужувальний елемент може слугувати додатковим гідравлічним опором, що може спричинити додаткові втрати

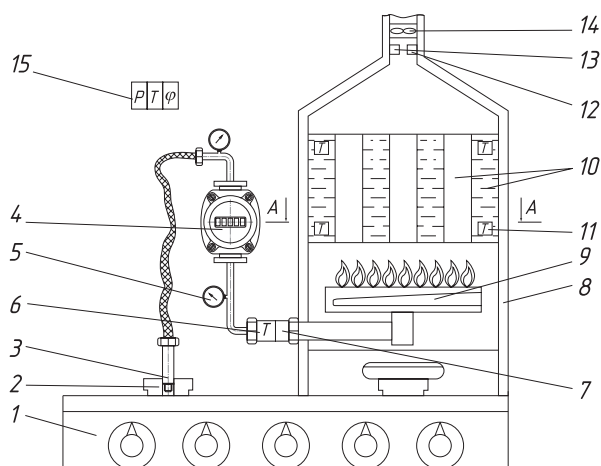


Рис. 2. Схема розробленого калориметра для визначення теплоти згоряння природного газу в побутовому секторі

Fig. 2. Scheme the developed the natural gas calorific value calorimeter in the domestic sector

- 1 — газова плита, 2 — конфорка, 3 — штуцер, який монтується на заміну сопла конфорки,
- 4 — лічильник газу з цифровим відліковим пристроєм,
- 5 — давач надлишкового тиску в трубопроводі газу після лічильника, 6 — давач температури газу, 7 — інфрачервоні давачі вмісту метану та CO<sub>2</sub> в газі, 8 — калориметрична колонка згоряння, 9 — газовий паливник,
- 10 — кожухотрубний теплообмінник, 11 — давачі температури рідини, 12 — давач вмісту залишкового кисню в димових газах, 13 — давач температури димових газів, 14 — регулятор кількості димових газів; 15 — давачі тиску, температури та вологості навколишнього середовища

надлишкового тиску та призвести до нестабільного процесу горіння, що в свою чергу може стати передумовою недостовірного визначення теплоти згоряння газу. На заміну сопла монтується штуцер 3 спеціальної конструкції, яка забезпечить герметичність, безпеку та відсутність втрат надлишкового тиску під час проведення вимірювань. Через цей штуцер газ потрапляє у вимірювач об'ємної витрати газу 4 (як такий обрано еталонний лічильник газу роторного типу з цифровим відліковим пристроєм). Оскільки процес згоряння природного газу в калориметричній колонці здійснюватиметься у стаціонарному режимі зі стабільною об'ємною витратою газу, відповідно, еталонний лічильник газу виконуватиме облік спожитого газу в чітко визначеному діапазоні об'ємної витрати із попередньо визначеною градувальною характеристикою, отриманою під час індивідуального калібрування у вказаному діапазоні.

Додатковими елементами схеми є давач тиску після лічильника газу 6 та давач температури газу 7. Давач тиску, встановлений перед лічильником

газу, призначений для контролю надлишкового тиску газу в будинковій газопровідній системі з метою підтвердження встановленого значення надлишкового тиску [1]. Дані, отримані від давачів тиску 5 та температури 6 після лічильника газу 4, враховуються за приведення об'єму газу, що спалюється, до стандартних умов. Окрім того, додатково у газовому тракті встановлено інфрачервоні давачі вмісту в газі метану (CH<sub>4</sub>) та діоксиду вуглецю (CO<sub>2</sub>) 7, за отриманими даними яких доцільно провести визначення кореляційної залежності між значенням теплоти згоряння газу та вмістом цих компонентів.

Наступним елементом схеми є калориметрична колонка 8, конструкція якої передбачає максимальну ефективність та мінімальні теплові втрати зовнішньої оболонки. Внутрішня будова колонки передбачає наявність газового паливника 9, яким може слугувати секція паливника від газоспоживального обладнання (газового котла або колонки). Застосування типового паливника сприятиме забезпеченню стабільного режиму роботи та, відповідно, стаціонарного горіння природного газу. Типове значення теплової потужності газового котла або колонки складає (22—24) кВт, при цьому газовий паливник зазвичай складається із 12 секцій. Отже, за застосування у розробленому калориметрі однієї секції паливника, максимальна теплова потужність становитиме 2 кВт, що є цілком достатньо для проведення репрезентативних досліджень визначення теплоти згоряння природного газу.

Продукти згоряння, які утворилися, направлені через кожухотрубний теплообмінник 10, заповнений дистильованою водою з відомими фізико-хімічними показниками, в якій здійснюється постійне примусове перемішування для забезпечення відсутності вертикального градієнта. Зміна температури рідини, яка є інформативним параметром для визначення теплоти згоряння, під час вимірювань фіксується давачами 11. У димохідній частині додатково встановлено давач вмісту залишкового кисню в димових газах 12, контроль отриманих значень якого є зворотнім зв'язком для регулювання повітря та забезпечення стабільного стехіометричного горіння в колонці.

Давач вмісту залишкового кисню працює за принципом гальванічного елемента з твердим електролітом у виді кераміки із діоксиду цирконію (ZrO<sub>2</sub>). Як струмопровідні електроди зазвичай застосовують платину. Зовнішній електрод 2 розміщено в димоході й омивається димовими газами, а внутрішній 3 — навколишнім повітрям (рис. 3 а). Цирконієвий електродит ZrO<sub>2</sub> 3 має провідність, а різниця у концентра-

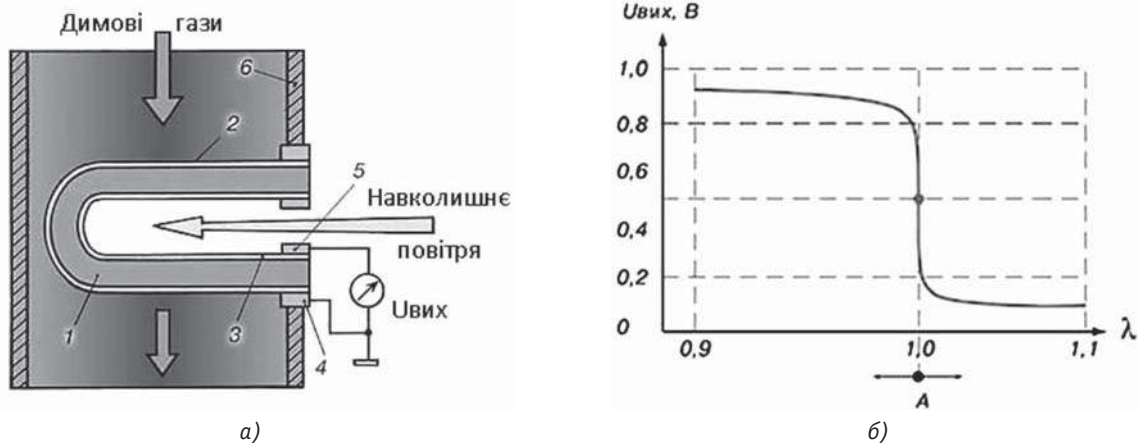


Рис. 3. Схема роботи датчика залишкового кисню (а) та залежність вихідної напруги датчика від коефіцієнта стехіометричного співвідношення  $\lambda$  (б)

Fig. 3. Scheme the residual oxygen sensor (a) and sensor output voltage dependence coefficient of the stoichiometric ratio  $\lambda$  (b)  
1 — діоксид цирконію  $ZrO_2$ , 2, 3 — зовнішній та внутрішній електроди, 4, 5 — вимірювальні контакти, 6 — димоксид

ціях вмісту кисню в навколишньому повітрі й кисню в димових газах спричинює появу на електродах датчика вихідної напруги.

Особливістю цирконієвого датчика залишкового кисню є те, що, за малих відхилень складу стехіометричної суміші від ідеального співвідношення ( $0,97 < \lambda < 1,03$ ), напруга на його виході змінюється стрибком в інтервалі (0,1—0,9) В (графік б на рис. 3). На рис. 3 б точка А є умовною точкою середніх показань напруги ( $U_{\text{вих}} = 0,5$  В, за  $\lambda = 1,0$ ), підтримання якої шляхом регулювання кількості димових газів є умовою стехіометричного згоряння. Окрім цирконієвих датчиків, існують ще й датчики залишкового кисню на основі двоокису титану ( $TiO_2$ ). За зміни вмісту кисню ( $O_2$ ) у димових газах у них змінюється значення питомого опору.

Окрім того, у розробленому калориметрі (рис. 2) в димоксидній частині встановлено датчик 13, призначений для вимірювання температури димових газів. Із застосуванням цього датчика здійснюється задання стабільного режиму горіння газоповітряної суміші досліджуваного газу. У такий спосіб підтримується стабільна температура під час проведення заміру, яка є одним із інформативних параметрів у процесі виявлення залежності значення теплоти згоряння природного газу від температури його згоряння. За допомогою даних, отриманих від датчика температури 13, здійснюється управління регулятором кількості повітря 14, чим забезпечується стабільне стехіометричне горіння газоповітряної суміші природного газу та формування ламінарного потоку димових газів. Окрім того, для врахування впливів вологості та інших фізичних параметрів навколишнього повітря, проводиться вимірювання параметрів нав-

колишнього середовища за допомогою переносного реєстратора 15.

Ключовим елементом калориметричної колонки є кожухотрубний теплообмінник спеціальної конструкції, схематичне зображення в перерізі якого зображено на рис. 4.

Геометричне розміщення теплообмінника у вертикальній площині над пальником забезпечить максимальний відбір теплоти димових газів внаслідок конвективного теплообміну. Теплообмінник є ємністю циліндричної форми, у внутрішньому просторі якої коаксіально розміщено трубопроводи, поверхні яких омиваються димовими газами, утвореними

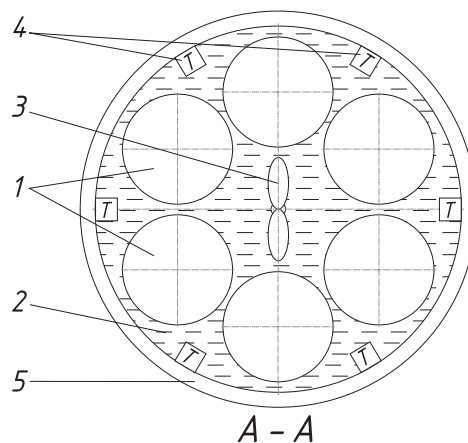


Рис. 4. Схематичне зображення перерізу кожухотрубного теплообмінника калориметричної колонки розробленого калориметра

Fig. 4. Schematic representation of section tube heat exchanger of the developed calorimetric column  
1 — трубопроводи, на поверхні яких здійснюється теплообмін димових газів із рідиною,  
2 — рідина, якою заповнено теплообмінник,  
3 — механічний перемішувач рідини,  
4 — датчі температури рідини, 5 — зовнішній теплоізолювальний шар

за спалювання газоповітряної суміші. Ємність теплообмінника заповнено дистильованою водою з відомими характеристиками, відповідно, зовнішня стінка димохідних трубопроводів перебуває у безпосередньому контакті з водою. У такий спосіб через стінку димохідних трубопроводів здійснюється теплообмін димових газів та води, що спричинює зростання температури останньої. Для усунення вертикального градієнта температури води в ємності теплообмінника, спричиненого рухом димових газів у трубопроводах, доцільно застосувати механічний перемішувач води із зовнішнім приводом. Для підвищення ефективності теплообміну матеріалом для димових трубопроводів доцільно обирати мідь, оскільки коефіцієнт теплопровідності становить 390 Вт/(м·К). Окрім того, для досягнення максимального її теплообміну та збільшення гідравлічного опору і як наслідок підвищення швидкості потоку димових газів, що, в свою чергу, спричинить додаткові втрати енергії газу, будову димових трубопроводів доцільно виконати у формі зрізаного конуса (на рис. не показано).

Спираючись на зазначені вхідні величини, проведемо попередні розрахунки для розробленого портативного переносного калориметра прямого згоряння. Із застосуванням формули (2) приймаємо умовне значення теплової потужності як 2 кВт/год, тобто 1719,69 ккал/год, і визначаємо об'ємну витрату природного газу, який спалюватиметься в калориметрі. За значенням теплоти згоряння природного газу 7824 ккал/м<sup>3</sup> (32,73 МДж/м<sup>3</sup>), отриманим за даними ПАТ «Івано-Франківськгаз» для Івано-Франківської обл. за поточний період:

$$q = N / H = 1719,69 / 7824 = 0,2198 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

Із об'єктивних міркувань та маючи за мету максимальну ефективність, мінімізацію теплових втрат і тривалість заміру та підвищення точності, вважаємо, що об'єм дистильованої води, яка міститься в теплообміннику, становить 1,5 дм<sup>3</sup>. Таке мінімально допустиме значення об'єму пов'язано з низькою ефективністю довготривалих процесів, спричиненою появою додаткових неконтрольованих і важковраховуваних втрат, які за своєю суттю зміщують тепловий баланс. Отже проводимо визначення кількості теплоти, отриманої за нагрівання рідини у теплообміннику:

$$Q = c_w \cdot m_w \cdot (T_{w2} - T_{w1}), \quad (8)$$

де  $m_w$  — маса дистильованої води, кг;  $c_w$  — теплоємність, складає 4187 Дж/(кг·К);  $T_{w1}$ ,  $T_{w2}$  — температури води на початку і в кінці заміру (приймаємо 15 °С і 90 °С).

Відтак, за формулою (8) отримуємо:

$$Q = 4187 \cdot 1,5 \cdot (90 - 15) = 471037,5 \text{ (Дж)}.$$

З урахуванням отриманого значення кількості теплоти проведемо визначення тривалості заміру в розробленому калориметрі:

$$\tau = Q / N = 471037,5 / 2000 = 235,5 \text{ (с)}.$$

При цьому кількість необхідного об'єму газу  $V_G$  для проведення репрезентативного дослідження складатиме:

$$V_G = q \cdot \tau / 3600 = 0,2198 \cdot 235,3 / 3600 = 0,0144 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Такий об'єм газу можливо відібрати із газової мережі за допомогою спеціально розробленого універсального поршневого пробовідбірника газу з приводом [8] і проводити вимірювання за умов лабораторії.

Наступна частина дослідження присвячена проведенню метрологічного аналізу розробленого портативного переносного калориметра прямого згоряння природного газу. Формулу визначення теплоти згоряння досліджуваного газу наведено в [9]; на основі приведення до стандартних умов вона має такий вид:

$$H = V_w \cdot c_w \cdot (T_{w2} - T_{w1}) / V_G \cdot \left( \frac{(P_A + P_G) \cdot T_A}{P_A \cdot T_G} \right), \quad (9)$$

де  $V_w$  — об'єм води, м<sup>3</sup>;  $V_G$  — об'єм газу, вимірний лічильником, м<sup>3</sup>;  $P_G$  — надлишковий тиск газу, Па;  $P_A$  — атмосферний тиск, Па;  $T_G$  — температура газу, К;  $T_A$  — температура навколишнього середовища, К.

Першою впливною величиною на вимірене значення теплоти згоряння газу є об'єм рідини, що міститься у теплообміннику. Визначення об'єму рідини проводимо із застосуванням еталонних мірників II розряду, точність яких складає 0,1 % [10].

Наступними впливними факторами є вимірювання температури рідини у теплообміннику, газу, який спалюється, і навколишнього середовища. Для вимірювання температури рідини застосуємо давачі з діапазоном від 0 °С до 100 °С, а для вимірювання температури повітря і газу — з діапазоном від 5 °С до 35 °С. Сучасні давачі температури мають точність у межах 0,1 °С. Відповідно, відносна похибка вимірювання температури складе 0,1% для термометрів рідини та 0,33% для термометрів газу та повітря.

Визначення тиску проводиться із застосуванням давачів абсолютного та надлишкового тисків, похибка яких становить 0,15%.

І останньою впливною величиною на значення теплоти згоряння є об'єм спожитого газу. Його, як зазначалося, вимірюємо за допомогою лічильника

газу роторного типу з цифровим відліковим пристроєм. За умови проведення індивідуального калібрування лічильника в конкретно визначеному діапазоні об'ємних витрат, похибка лічильника може складати від 0,3% до 0,5%, для розрахунків приймаємо значення 0,4%. Оскільки вимірювання об'єму газу є одним з основних впливних факторів з великим ваговим коефіцієнтом, тому, з метою підвищення точності, перспективним напрямом є застосування еталонного засобу для задання об'єму газу, наприклад, поршневого витіснювача.

Визначаємо коефіцієнти впливу, як частинні похідні функції (8):

$$\begin{aligned}\frac{\partial H}{\partial V_W} &= \frac{c_W \cdot (T_{W2} - T_{W1})}{V_G \cdot \left( \frac{(P_A + P_G) \cdot T_A}{P_A \cdot T_G} \right)}, \\ \frac{\partial H}{\partial T_{W2}} &= \frac{V_W \cdot c_W}{V_G \cdot \left( \frac{(P_A + P_G) \cdot T_A}{P_A \cdot T_G} \right)}, \\ \frac{\partial H}{\partial T_{W1}} &= \frac{-V_W \cdot c_W}{V_G \cdot \left( \frac{(P_A + P_G) \cdot T_A}{P_A \cdot T_G} \right)}, \\ \frac{\partial H}{\partial V_G} &= \frac{-V_W \cdot c_W \cdot (T_{W2} - T_{W1})}{V_G^2 \cdot \left( \frac{(P_A + P_G) \cdot T_A}{P_A \cdot T_G} \right)}, \\ \frac{\partial H}{\partial P_A} &= \frac{-V_W \cdot c_W \cdot (T_{W2} - T_{W1}) \cdot \frac{P_A \cdot T_G}{V_G \cdot (P_A + P_G)^2} \cdot \frac{P_A \cdot T_G}{T_A} + \frac{V_W \cdot c_W \cdot (T_{W2} - T_{W1}) \cdot T_G}{V_G \cdot (P_A + P_G) \cdot T_A}}{V_G \cdot (P_A + P_G)^2} \cdot \frac{P_A \cdot T_G}{T_A}, \\ \frac{\partial H}{\partial P_G} &= \frac{-V_W \cdot c_W \cdot (T_{W2} - T_{W1}) \cdot \frac{P_A \cdot T_G}{V_G \cdot (P_A + P_G)^2} \cdot \frac{P_A \cdot T_G}{T_A}}{V_G \cdot (P_A + P_G)^2} \cdot \frac{P_A \cdot T_G}{T_A}.\end{aligned}$$

Отже, основна похибка розробленого калориметра розраховується як:

$$\Delta_H = \sqrt{\left( \frac{\partial H}{\partial V_W} \Delta_{VW} \right)^2 + \left( \frac{\partial H}{\partial T_{W2}} \Delta_{TW} \right)^2 + \left( \frac{\partial H}{\partial T_{W1}} \Delta_{TW} \right)^2 + \left( \frac{\partial H}{\partial V_G} \Delta_{VG} \right)^2 + \left( \frac{\partial H}{\partial P_A} \Delta_{PA} \right)^2 + \left( \frac{\partial H}{\partial P_G} \Delta_{PG} \right)^2 + \left( \frac{\partial H}{\partial T_A} \Delta_{TA} \right)^2 + \left( \frac{\partial H}{\partial T_G} \Delta_{TG} \right)^2} \quad (10)$$

Із урахуванням задекларованих вище значень похибок давачів і частинних похідних отримаємо:

$$\begin{aligned}\Delta_H &= \sqrt{\left( 21447452,83 \cdot 1,5 \cdot 10^{-6} \right)^2 + \left( 428,95 \cdot 0,1 \right)^2 + \left( -428,95 \cdot 0,1 \right)^2 + \left( -2234109,67 \cdot 5,76 \cdot 10^{-5} \right)^2 + \left( 5,24 \cdot 0,152 \right)^2 + \left( -312,26 \cdot 2,55 \cdot 10^{-3} \right)^2 + \left( -109,79 \cdot 0,099 \right)^2 + \left( 109,79 \cdot 0,099 \right)^2} = \\ &= 136,53,\end{aligned}$$

що у відносному вираженні складатиме:

$$\delta_{H\%} = \frac{\Delta_H}{H} \cdot 100 = \frac{136,53 \cdot 100}{32,73 \cdot 10^3} = 0,42\%.$$


Для експериментальних даних, які будуть отримані після впровадження дослідного зразка розробленого калориметра, щодо концентрації в досліджуваному природному газі вмісту метану ( $\text{CH}_4$ ) і діоксиду вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) та температури димових газів, яка відповідає стехіометричному горінню, буде встановлено кореляційні залежності та проведено ряд досліджень щодо розроблення калориметра з принципом роботи на основі встановлених залежностей. Для підвищення ефективності та точності калориметра його доцільно обладнати автоматизованою інформаційно-вимірювальною системою збору та опрацювання інформації. Разом з тим сумарний вміст метану і діоксиду вуглецю може слугувати додатковим критерієм наявності у газі завищеного вмісту інших негорючих домішок.

## ВИСНОВКИ

Авторами обґрунтовано та запропоновано створення портативного переносного калориметра прямої дії для визначення теплоти згорання природного газу шляхом синтезу принципу прямого згорання з додатковою функцією контролю параметра стехіометричного горіння шляхом вимірювання вмісту залишкового кисню в димових газах та їх температури. За допомогою розробленого калориметра можна провести вимірювання теплоти згорання у побутовому секторі безпосередньо за місцем споживання газу із застосуванням газової плити споживача або з відбором проби у лабораторії. Проведено метрологічний аналіз розробленого калориметра та оцінено відносну похибку, яка становить 0,42%, що відповідає вимогам 2 класу точності, які встановлено у нормативному документі [3]. Отже розроблений калориметр може бути використаний газорозподільними організаціями для визначення теплоти згорання природного газу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Правила обліку природного газу під час його транспортування газорозподільними мережами, постачання та споживання. — Наказ № 618 від 27.12.2005 (The rules natural gas metering during transportation gas distribution networks, supply and consumption. — Order number № 618 of 27.12.2005).
2. Природний газ. Визначення енергії (ISO 15112:2007, IDT): ДСТУ ISO 15112:2009. — [Чинний від 2011-01-01]. — К.: Держспоживстандарт України (Natural gas. Energy determination. (ISO 15112:2007, IDT): DSTU ISO 15112:2009. — [Effective as of 2011-01-01]. — K.: Derzhspozhyvstandart of Ukraine), 2010. — 54 с/р.

3. Природний газ. Вимірювання властивостей. Теплота згоряння та число Воббе (ISO 15971:2008, IDT): ДСТУ ISO 15971:2014. — [Чинний від 2015-05-01]. — К.: Держспоживстандарт України (Natural gas. Measurement of properties. Calorific value and Wobbe index (ISO 15971:2008, IDT): DSTU ISO 15971:2014. — [Effective as of 2015-05-01]. — К.: Derzhspozhyvstandart of Ukraine), 2014. — 50 с/р.
4. Плити газові побутові. Загальні технічні умови: ДСТУ 2204-93. — [Чинний від 1995-05-01]. — К.: Держспоживстандарт України (Domestic gas ranges. General specifications: DSTU 2204-93. — [Effective as of 1995-05-01]. — К.: Derzhspozhyvstandart of Ukraine), 1993. — 23 с/р.
5. Померанцев В.В. Основы практической теории горения / В.В. Померанцев, К.М. Арефьев, Д.Б. Ахмедов — Л.: Энергоатомиздат (Pomerantsev V.V. Fundamentals of the practical theory of combustion. V.V. Pomerantsev, K.M. Arefiev, D.B. Ahmedov — L.: Energoatomizdat), 1986. — 312 с/р.
6. Димитров О.Д., Климчук О.А. Теорія горіння органічного палива. — Одеса: Наука і техніка, 2006. — 140 с. (Dimitrov O.D., Klimchuk O.A. The theory of burning fossil fuels. — Odessa: Science and technology, 2006. — 140 с/р.
7. Poinot T., Veynante D. Theoretical and Numerical Combustion. Second Edition. — Erdwards, 2005. — 540 p.
8. Петришин І.С. Дослідження енергетичної цінності природного газу в споживачів комунально-побутового сектору / І.С. Петришин, Т.І. Присяжнюк, О.А. Бас // Метрологія та прилади. (Petryshyn I.S. Research the natural gas energy value to domestic household sector consumers / I.S. Petryshyn, T.I. Prisyazhnyuk, O.A. Bas // Metrology and instruments). — 2015. — № 6 (56). — С/Р. 42—49.
9. Петришин І.С. Метод та спосіб визначення теплоти згоряння природного газу у споживачів комунально-побутового сектору / І.С. Петришин, Т.І. Присяжнюк, О.А. Бас // Метрологія та прилади (Petryshyn I.S. The method and the method of determining the natural gas heat of combustion to domestic household sector consumers / I.S. Petryshyn, T.I. Prisyazhnyuk, O.A. Bas // Metrology and instruments). — 2017. — № 1 (63). — С/Р. 47—53.
10. Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань об'єму рідини: ДСТУ 3537:2011. — [Чинний від 01.07.2011]. — К.: Держспоживстандарт України, (Metrology. State hierarchy scheme for means measuring volume of a liquid: DSTU 3537: 2011. — [Effective as of 2011-07-01]. — К.: Derzhspozhyvstandart of Ukraine), 2011. — 12 с/р. 

Отримано / received: 02.06.2017.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Г. Ю. Народноцьким (Україна).  
 Prof. G.Yu. Narodnytskyi, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.

**Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет (ВНТУ), Академія метрології України, Новий університет Лісабону, Державне підприємство Науково-дослідний інститут «Система», Державне підприємство «Вінницький науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації», Учбово-науковий центр «Паллада»**

**4-я Міжнародна наукова конференція  
 ВИМІРЮВАННЯ, КОНТРОЛЬ ТА ДІАГНОСТИКА В ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ (ВКДТС—2017)**

Вінниця, 31 жовтня — 2 листопада 2017 року

Конференція присвячена пам'яті завідувача кафедри метрології та промислової автоматики ВНТУ, доктора технічних наук, професора Володимира Поджаренка

**Напрями роботи конференції:**

Теоретичні основи вимірювань, контролю та технічної діагностики.  
 Первинні вимірювальні перетворювачі та сенсори.  
 Прилади та методи контролю речовин, матеріалів та виробів.  
 Математичне моделювання процесів у засобах вимірювання, контролю та діагностики.  
 Інформаційно-вимірювальні системи, біотехнічні та медичні прилади і системи.

Робочі мови конференції: українська, англійська.

**НАУКОВИЙ КОМІТЕТ**

**Голова**

Грабок В.В., ректор Вінницького національного технічного університету

**Заступники голови**

Володарський Є.Т., Стадник Б.І., Академія метрології України; Кучерук В.Ю., ВНТУ

**ВАЖЛИВІ ДАТИ**

Подання тез та заявок до 30 вересня  
 Повідомлення про включення до програми конференції до 15 жовтня  
 Оплата реєстраційних внесків до 20 жовтня

**Матеріали конференції:**

Тези доповідей будуть опубліковані на сайті конференції до початку роботи конференції та у виді збірника праць. Матеріали доповідей, виголошені на конференції та рекомендовані до публікації, будуть опубліковані після коригування у журналах «Вісник ВПШ» (Index Copernicus), «Метрологія та прилади» (Index Copernicus) та «Proceeding of SPIE» (SCOPUS) відповідно до їх вимог.

**Надсилати матеріали** в електронному виді

за адресою: measurement.vntu@gmail.com та поштою за адресою: проф. Кучеруку В.Ю., кафедра метрології та промислової автоматики, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна

**Довідки за телефонами** (відповідальні секретарі):

Маньковська Вікторія Сергіївна, 097-722-60-08  
 Овчинников Костянтин Вячеславович, 096-543-96-02



УДК 681.121

# ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛУНЖЕРНОГО ВИТРАТОМІРА З ЛІНІЙНИМ ДЕКОДЕРОМ У СКЛАДІ ОДОРИЗАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

**І. Коробко**, доктор технічних наук, професор кафедри,

**В. Кротевіч**, аспірант,

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ

*Наведено результати досліджень плунжерного витратоміра рідини з метою створення засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати одоризувальної речовини з високими метрологічними характеристиками, можливості побудови на їх базі ефективних одоризаційних установок.*

*Для точної реєстрації об'єму та об'ємної витрати одоранту запропоновано переміщення штока плунжерного лічильника визначати з використанням лінійного абсолютно-го декодера. Це дозволяє з високою точністю формувати необхідні дози одоризувальної речовини шляхом визначення місця розміщення чутливого елемента (поплавка) давача рівня поплавкового класу.*

*Запропоноване рішення реалізовано в установці одоризації ФЛОУТЕК-ТМ-Д.*

*In the article there are results of researches of plunger liquid flowmeter with the aim of creation of device of volume measurement and volume flow rate of odor substance with high metrology characteristics and possibility of construction of effective odorizers on their base.*

*For the strict registration of volume and volume flow rate of liquid it is proposed to determine moving of piston of plunger meter by means of line decoder and to apply this principle of fixing of the linear moving for determination of level of float sensor. This proposed solution is realized in odorizer of FLOUTEC-TM-D.*

*This scientific study is directed on the decision of vital task of providing of safe conditions of the use of such important power resource as natural gas in the systems of preparation, transporting, distribution and consumption by its odorization, i.e. injection of the substance with a strong specific smell.*

*Important thing is providing of precision and reliability of odorization because while «overdose» by an odorant of natural gas there is a danger to the health of individual in consequence of poisoning by the hydrogen sulfide even in case of absence of gas leakage. During «underdose» effluxes of gas do not appear, the dangerous concentration of gas mixture appears with air that results in explosions in domestic and other apartments. In view of this it is necessary to provide reliable and effective identification of effluxes of natural gas that secure an auxiliaries and consumers from accidents and harm to their health and negative operating on an environment.*

**Ключові слова:** одоризація, витрата, лінійний декодер, поплавковий датчик.

**Keywords:** odorization, flow rate, line decoder, float sensor.

У системах одоризації газу важливим є забезпечення точності визначення кількості одоранту, оскільки за «передозування» одорантом природного газу створюється небезпека здоров'ю людини, зумовлена отруєнням сірководнем навіть за відсутності витікання газу [1—3]. У випадку «недозування» витіки природного газу не ідентифікуються і виникає небезпечна концентрація газової суміші з повітрям, що може призвести до вибухів у побутових та інших приміщеннях.

Для забезпечення ефективної роботи одоризаційних установок застосовуються засоби вимірювання об'єму та об'ємної витрати одоризувальної речовини та газу.

Ураховуючи специфічні властивості одоранту для точної реєстрації величини дози нині широкого застосування отримали витратоміри рідини, реалізовані на базі датчика рівня поплавкового класу [4—7]. Разом із тим, метрологічні характеристики таких приладів не відповідають сучасним вимогам до точності визначення дози одоранту.

Завданням цього дослідження є встановлення можливості підвищення точності поплавкових датчиків рівня, проведення аналізу похибок плунжерного витратоміра і надання рекомендацій щодо його використання з метою побудови ефективної одоризаційної установки.



І. Коробко



В. Кротевіч

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛУНЖЕРНОГО ВИТРАТОМІРА РІДИНИ

Плунжерні витратоміри-дозатори застосовуються в одоризаційних установках фірми LEWA (рис.1) [8].

У цих установках, за відкритих клапанів 1-1 та 1-2 і роботи насоса, поршень (плунжер) переміщується у напрямку кінцевого вимикача 4-2, поки його не досягне. За цей час насос видає  $n$  доз одоранту. Після спрацювання кінцевого вимикача 4-2, пари клапанів 1-1, 1-2, 2-1, 2-2 перемикаються, і поршень переміщується у напрямку до кінцевого вимикача 4-1.

Недоліком таких установок є те, що похибка заміру (спрацювання кінцевого вимикача) становить  $\pm 1$  дозу одоранту. Окрім того, за такої схеми витратомір реєструє сумарний об'єм  $n$  доз одоризувальної речовини, створений насосом. При цьому на точність визначення величини дози впливають протікання одоранту між поршнем і циліндром під час його переміщення.

Для підвищення точності визначення кожної дози, яку формує насос, необхідно реєструвати кожне викликане нею переміщення плунжера.

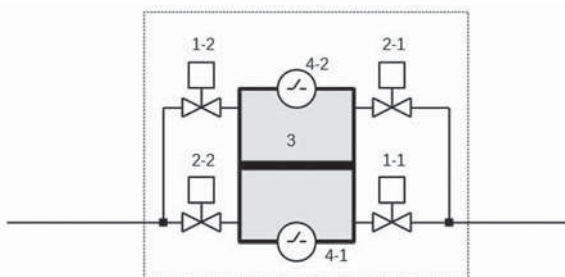
З метою підвищення точності й надійності турбінних вимірювальних перетворювачів витрати газу авторами запропоновано абсолютний декодер кута повороту турбіни, де кут вимірювався із дискретністю  $1/4096$  [9–10]. Для реєстрації переміщення поршня плунжерного витратоміра можна застосувати аналогічний декодер кутового переміщення, виконавши механізм перетворення лінійного переміщення на кутовий. При цьому лінійне переміщення визначається за виразом:

$$l = 2\pi rn,$$

де  $r$  — радіус кола;  $n$  — кількість обертів.

Оцінювання точності реєстрації кожного переміщення плунжера здійснювалося імітацією його переміщення шляхом прокручування мікрометра (рис. 2).

Знаючи величину переміщення мікрометра, отримуємо реальне значення переміщення плунже-



1-1, 1-2, 2-1, 2-2 — клапани; 3 — плунжер;  
4-1, 4-2 —кінцеві вимикачі

Рис. 1. Технологічна схема плунжерного витратоміра  
Fig. 1. Flowsheet of plunger flowmeter

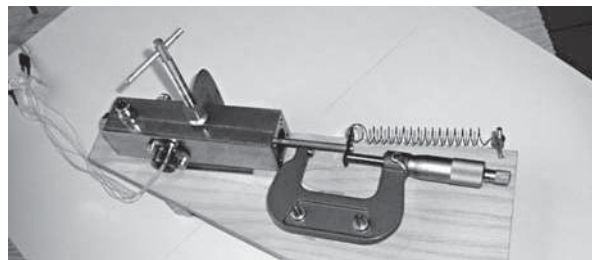


Рис. 2. Стенд для дослідження декодера кутового переміщення

Fig. 2. Stand for research of decoder of the angular movement

ра. Максимальна похибка реєстрації декодером положення поршня такого приладу складає  $\pm 1$  мм відносно значень мікрометра. Оцінюючи величину цієї похибки можна зробити висновки, що такий витратомір повністю вирішує поставлене завдання, забезпечуючи реєстрацію кожної дози одоранту з похибкою, яка не перевищує  $2 \cdot 10^{-5}$  кг.

Недоліком такого витратоміра є наявність механічного перетворювача лінійного переміщення поршня на кут повороту, який вносить свою частку похибки та знижує надійність роботи приладу в цілому.

Дослідження показали, що усунути зазначену додаткову похибку можна шляхом застосування лінійного декодера. Лінійні декодери в класичному виконанні у зв'язку з необхідністю роботи в одоранті й всередині простору, обмеженого матеріалом із нержавіючої сталі, до сьогодні широкого застосування не здобули. Точність визначення переміщення поршня у такому пристрої становить  $\pm 25 \cdot 10^{-6}$  м.

Ураховуючи вказані застереження, авторами запропоновано перетворювальний пристрій на основі лінійного декодера, який забезпечує свою працездатність в агресивних середовищах та за специфічних умов застосування (рис. 3).

Використовуючи такий перетворювач, створено пружерний витратовимірювач одоризувальної речовини. Експериментальні дослідження запропонованого засобу вимірювання здійснювалися за розробленою технологічною схемою (рис. 4).

Експериментальна установка працює у такий спосіб. На насос 5 подаються імпульси заданої тривалості, які зумовлюють фізичне формування необхідного за величиною об'єму рідини. Заміри доз рідини, сформованих насосом, оцінюються за інформацією, отриманою з мірних трубок, виконуючи заміри значень перетворювача перепаду тиску та за положеннями поршня 4 (реєструється об'єм витісненої рідини). Як еталон використовується значення ваги кожної дози рідини, визначеної на електронних вагах.

Аналізуючи отримані результати (таблиця), можна зробити висновок, що плунжерний витратомір

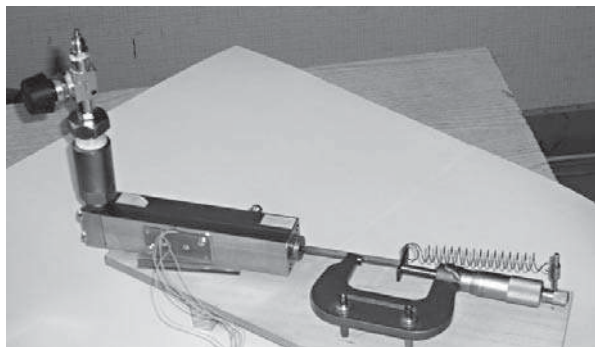
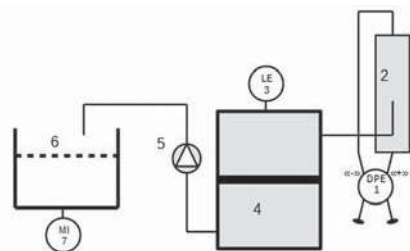


Рис. 3. Стенд для дослідження лінійного декодера  
Fig. 3. Stand for research of linear decoder



1 — перетворювач перепаду тиску ПД-1;  
2 — мірна трубка; 3 — поршень витратоміра;  
4 — перетворювач лінійних переміщень пружера  
витратоміра; 5 — насос НД-2; 6 — ємність для  
рідини; 7 — ваги електронні

Рис. 4. Технологічна схема дослідження пружерного  
витратоміра

Fig. 4. Process scheme of research of prover flowmeter

має достатньо нестабільні характеристики, і його похибка значно перевищує похибку визначення вели-

чин доз, отриманих із використанням мірної трубки.

Очевидно, причиною значної похибки плунжерного витратоміра є наявність протікань внаслідок нещільності між стінками внутрішньої поверхні вимірювальної камери витратоміра і поршнем. Такі протікання за різних доз насоса не справляють механічної дії на поршень і відповідно не впливають на величину його переміщення.

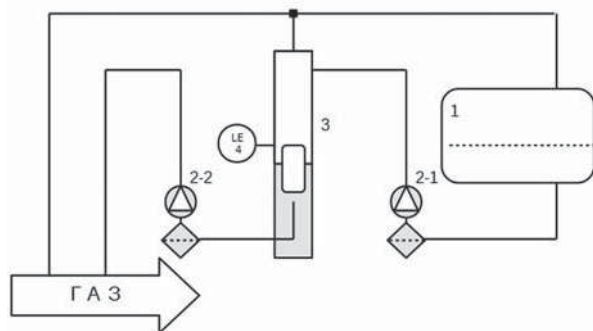
Детальний аналіз конструкції плунжерного витратоміра фірми LEWA [8] засвідчив, що, отримавши аналогічну якість виробництва за чистотою обробки деталей елементів конструкції, можна було б отримати прецизійний плунжерний витратомір із високими метрологічними та експлуатаційними характеристиками. Але такий витратомір стане дуже чутливим до якості рідини, наявності у ній твердих домішок і потребуватиме використання дорогих фільтрів, що додатково збільшуватиме експлуатаційні проблеми застосування одоризаційних установок.

Вирішення зазначеної проблеми у зміні вимог до точності обробки плунжера і циліндричної частини внутрішньої поверхні вимірювальної камери витратоміра шляхом застосування технології визначення переміщення плунжера для реєстрації висоти положення поплавка під час заміру рівня рідини у мірній трубці. За такого варіанту застосування лінійного декодера можуть бути навіть знижені вимоги до якості виготовлення елементів конструкції плунжерного витратоміра.

Результати експериментальних досліджень

Results of experimental researches

№ з/п	T, імп. 10 <sup>-4</sup> , с	Засіб вимірювання					Похибка вимірювань	
		Поршневий витратомір		Мірна трубка		Ваги (контрольний прилад) 10 <sup>-3</sup> , кг	Поршневий витратомір %	Мірна трубка %
		10 <sup>-3</sup> , м <sup>3</sup>	10 <sup>-3</sup> , кг	10 <sup>-3</sup> МПа,	10 <sup>-3</sup> , кг			
1	200	813	3,77	1,22	3,84	3,88	2,7	0,9
2	200	886	4,11	1,43	4,49	4,36	5,7	3,0
3	200	869	4,03	1,38	4,33	4,26	5,3	1,7
4	200	936	4,34	1,50	4,73	4,68	7,2	1,0
5	200	827	3,84	1,33	4,18	3,99	3,8	4,6
6	200	853	3,96	1,25	3,94	4,00	1,0	1,5
7	50	1287	5,97	2,21	6,96	7,05	15,3	1,2
8	50	1339	6,22	2,34	7,37	7,17	13,3	2,8
9	50	1367	6,35	2,18	6,85	7,14	11,1	4,0
10	50	1427	6,62	2,28	7,17	7,26	8,8	1,3
11	50	1391	6,46	2,21	6,97	7,13	9,4	2,2
12	50	1403	6,51	2,25	7,09	7,16	9,0	1,0
13	50	1775	8,24	2,83	8,90	9,05	9,0	1,6
14	50	1499	6,96	2,39	7,52	7,63	8,8	1,4
15	50	1679	7,79	2,68	8,43	8,59	9,3	1,9
16	50	1697	7,88	2,70	8,51	8,69	9,4	2,1



1 — емність для одоранту; 2-1, 2-2 — насос дозувальний; 3 — мірна трубка з поплавком; 4 — перетворювач переміщення поплавка  
Рис. 5. Перспективна схема установки одоризації ФЛОУТЕК-ТМ-Д

Fig. 5. Perspective plan of setting of odorization of Floutec-TM-D»

Запропоноване технічне рішення реалізоване в установці одоризації ФЛОУТЕК-ТМ-Д (ТОВ «ДП Укргазтех») із поплавковим датчиком рівня рідини у мірній трубці (рис. 5).

У розробленій установці одоризації ФЛОУТЕК-ТМ-Д, на відміну від аналогічних установок, замість датчика різниці тиску (фактично аналогового методу вимірювання), застосовано цифровий рівнемір плунжерного типу.

Як показали дослідження установки одоризації ФЛОУТЕК-ТМ-Д, похибка вимірювання рівня рідини у мірній трубці не перевищує декількох мікрон.

## ВИСНОВКИ

За результатами проведених досліджень і аналізу витратимірювачів рідиннофазних потоків запропоновано удосконалення методу реєстрації дози одоризувальної речовини шляхом застосування лінійного абсолютного декодера. Це забезпечує визначення кількості дози одоранту з невизначеністю, що не перевищує сотих долей відсотка.

На базі запропонованого витратоміра розроблено принципово нову одоризаційну установку, яка має вищі, порівняно з наявними, експлуатаційні характеристики за меншої її собівартості.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Бухтиарова, Т.А. Характеристика современных одоризаторов газа [Текст] / Т.А. Бухтиарова, В.С. Хоменко // Современные проблемы токсикологии (Buhtiarova T.A. Characteristics of the modern gas odorizers [Text] / T.A. Buhtiarova, V.S. Homenko // Current problems of toxicology). — 1999. — № 2. — С/Р. 34—39.
2. Reza A. Investigation of Odour Fado and Subsequent Natural Gas Explosion at the San Diego Baufront Hilton Hotel. [Текст] / A. Reza, Z.M. Ibrahim // Chemical Engineering Transactions. Vol. 31, 2013, pp. 523—528.
3. Capelli L. Evaluation of Olfactory Properties of Gas Odorants [Текст] / L. Capelli, S. Sironi, R. Del Rosso // Chemical Engineering Transactions. 2014. Vol. 36, pp. 301—306.
4. Тупиченко А.А. Счетчики жидкости [Текст] / А.А. Тупиченков, О.А. Абдурашитов, Э.С. Мануков. — М.: Изд-во стандартов (Tupichenkov A.A. Liquid meters [Text] / A.A. Tupichenkov, O.A. Abdurashitov, E.S. Manukov. — М.: Publisher of standards. — 1980. — 152 p.). — 1980. — 152 с/р.
5. Катъс Г.П. Объемные расходомеры [Текст] / Г.П. Катъс-М-Л.: Энергия (Katyis G.P. Displacement meters [Text] / G.P. Katyis-M-L.: Energy, 1965. — p. 88.), — 1965. — 88 с/р.
6. Павловский, А.Н. Измерение расхода и количества жидкостей, газа и пара [Текст] / А.Н. Павловский. — М.: Изд-во стандартов (Pavlovskiy A.N. Metering of flow and amount of liquids, gas and vapour [Text] / A.N. Pavlovskiy. — М.: Publisher of standards, 1967. — 416 p.), — 1967. — 416 с/р.
7. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества вещества: Справочник Кн.1 / П.П. Кремлевский. СПб. Политехника (Kremlevskiy P.P. Flowmeters and calculators of amount of substance: Reference guide Book.1 / P.P. Kremlevskiy. S.P. Polytechnic, 2002. — 409 p.), — 2002. — 409 с/р.
8. LEWA: Pumps and systems [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: [www.lewa.com/en/home/](http://www.lewa.com/en/home/).
9. Коробко І.В. Турбінний вимірювальний перетворювач витрати газу з високими метрологічними характеристиками [Текст] І.В. Коробко, В.В. Кротевич / Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (Korobko I.V. Turbine measuring transducer of gas flow rate with hot metrological performance [Text] I.V. Korobko, V.V. Krotevich / Metering, control and diagnostics in engineering system. — 2015. p. 34). — 2015. — С/Р. 34.
10. Коробко І.В. Турбінний лічильник природного газу [Текст] / І.В. Коробко, І.В. Кутіщенко, В.В. Кротевич (Korobko I.V. Turbine natural gas meter [Text] / I.V. Korobko, I.V. Kutishenko, V.V. Krotevich/).
11. LEWA: Pumps and systems [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: [www.lewa.com/en/home/](http://www.lewa.com/en/home/) (LEWA: Pumps and systems [Electronic resource] — Resource access mode: [www.lewa.com/en/home/](http://www.lewa.com/en/home/)). ■

Отримано / received: 12.06.2017.

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

УДК 006.91:528.08:621.317

# УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СУСПЕНЗІЙ

**А. Должанський**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Якість, стандартизація та сертифікація»,  
**В. Пінчук**, доктор технічних наук,  
**Є. Колот**, бакалавр за спеціальністю «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка»,  
Національна металургійна академія України, м. Дніпро

Удосконалено метод та представлено результати щодо визначення активної та ємнісної складових імпедансу та адмітансу на прикладі суспензії, що містить дрібнодисперсний графіт як дисперсну фазу, порівняно з водо-вугільною суспензією подрібненого газового вугілля. Виявлено та кількісно оцінено вплив складу суспензії, особливостей схеми вимірювання, виду електричного струму (постійного або змінного), напруги та її частоти на електричні характеристики суспензій. У процесі розрахунків параметрів використано модель із застосуванням експериментальних результатів двох паралельних вимірювань на двох близьких частотах струму. Визначено умови, за яких мінімізується дестабілізуючий вплив зовнішніх факторів на результати випробувань. Представлені матеріали можуть бути корисними під час визначення електричних властивостей інших суспензій, а також інших гетерогенних систем, зокрема, емульсій для їх застосу-

вання за умов, де є потреба в електромагнітному впливі на відповідні речовини.

Improved method and measuring results are presented to identify active and capacitive components of impedance and admittance for example of suspension containing fine-dispersed graphite phase compared to coal-water slurry of crushed gas-coal. Slurry compositions impact, characteristics of measurement scheme, the type (direct or variable), voltage and frequency of electrical current characteristics are detected and quantified for suspensions. The model using experimental results of two parallel measurements at two close frequencies while parameters calculating is used. The conditions under which minimizes the destabilizing effect of external factors on test results are defined. The materials may be useful in determining the electrical properties of other suspensions, and other heterogeneous systems, including — emulsions for their use in conditions where there is a need to electromagnetic influence on substances.

**Ключові слова:** Суспензія, електричні властивості, метод вимірювання.

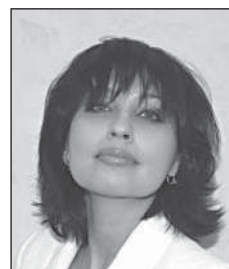
**Keywords:** Suspension, electrical properties, measurement method.

Деякі промислові технології передбачають застосування суспензій, наприклад, технологічних мастил під час обробки металів тиском, водо-вугільного палива в теплотехнічних установках, глинистої пульпи за буріння свердловин або виготовлення бетону тощо. Зазначені речовини — це суміш дисперсної (зазвичай, твердої, дуже подрібненої) та дисперсійної (часто води) фаз. Для запобігання розшаруванню до такої суміші нерідко додають стабілізатори (зокрема, поверхнево-активні речовини типу мил, полімерів або інших вуглеводнів, які розчиняються у дисперсній фазі). Природу і вміст стабілізатора визначають із урахуванням складових компонентів суспензії.

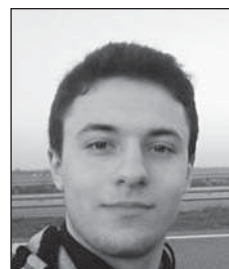
Іноді, для покращення властивостей та/або транспортування, суспензії піддають електромагнітній обробці [1]. За таких умов параметри відповідних пристроїв залежать від складу та призначення суспензії. Але загальною вимогою залишається необхідність мати простий інструментарій визначення електричних властивостей суспензій, перш за все, характеристик їх електропровідності.



А. Должанський



В. Пінчук



Є. Колот

У технічній літературі наводиться певна, але достатньо обмежена інформація, що стосується *конкретних* суспензій. Їх електричні властивості зумовлюються складними процесами, що *взаємопов'язані* з проходженням крізь них електричного струму. При цьому електропровідність суспензії може зумовлюватися одночасно декількома видами носіїв електричних зарядів: іонів, електронів та заряджених частинок дисперсної фази. На додаток до цього у суспензії може утворюватися так званий «подвійний електричний шар», пов'язаний із «поверхневою» електричною провідністю. Кожна із вказаних складових має свою динаміку руху, що характеризується часом переміщення носіїв зарядів: від часток мікро- та мілісекунди (у випадку електронів та іонів) до декількох хвилин (у випадку заряджених міцелів). На зазначені параметри також можуть впливати умови їх вимірювання (постійний або змінний струм, рівень електричної напруги, температура, конструкція вимірного пристрою, наявність перемішування тощо) [2].

При цьому «пряме» визначення за допомогою омметра активного електричного опору  $R$  на *постійному* струмі та відповідної електропровідності

$$\Gamma = 1 / R \quad (1)$$

може не дати адекватних результатів у зв'язку з поляризацією рідини та коагуляцією її часток на одному з електродів. Сама поляризація також залежно від складу суспензії може бути концентраційною («міцельною», «іонофорезною») або іонною. Суттєво на результати вимірювань можуть вплинути і «подвійний електричний шар» та поверхнева провідність рідини [3].

Розрахунок  $R$  на *змінному* електричному струмі за результатами вимірювання напруги  $U$  та сили струму  $I$  відповідно до закону Ома:

$$R = U / I, \quad (2)$$

як це здійснено у дослідженні [1] за моделлю на рис. 1, теоретично, певною мірою, усуває вказані впливи, але при цьому отримувані дані додатково стають залежними від частоти  $f$  струму [4, 5].

Потрібно також урахувати залежність електричних характеристик суспензії від напруги, за якої здійснюються вимірювання. Так, у роботі [1] виявлено, що за збільшення електричної напруги від 0,2 до 120 В та відповідної зміни струму питомий опір водо-вугільної суспензії зменшувався від 1,25 до 0,6 Ом·м, що супроводжувалося зростанням температури рідини від 24 до 58 °С. Подальший підйом напруги супроводжувався закипанням суспензії з різким падінням її опору.

Наступний аналіз схеми вимірювання, представленої на рис. 1, виявив, окрім основної траси елек-

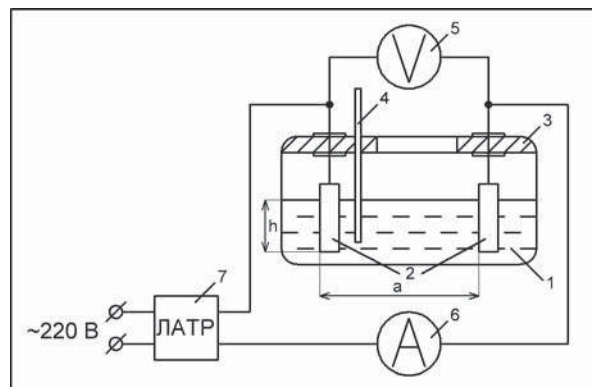


Рис. 1. Схема вимірювання електричної напруги та сили струму в суспензії:

1 — ємність зі суспензією; 2 — мідні електроди; 3 — кришка ємності з контактами та утримувачем термометра 4; 5 — вольтметр; 6 — міліамперметр; 7 — пристрій електричного живлення: ЛАТР (лабораторний автотрансформатор) або генератор змінного струму з керованою частотою коливаль

Fig. 1. Scheme of measuring voltage and current in suspension:

1 — capacity with suspension; 2 — copper electrodes; 3 — container cover with contacts and thermometer holder 4; 5 — voltmeter; 6 — milliammeter; 7 — power supply unit: latrille (laboratory autotransformer) or power generator with a controlled oscillation frequency

тричного струму «перпендикулярно» площинам електродів, ще й імовірність появи «паразитного» струму з *невизначеною* трасою з їх тильних сторін та відповідного опору, який формально стає паралельним основному.

Також на підставі даних джерел [3—5] можна очікувати появи ємнісного опору проходженню *змінного* струму між електродами. Внаслідок цього, розрахунок електричних параметрів суспензії за результатами вимірювання сили змінного струму  $I$  та його напруги  $U$  за схемою на рис. 1, дає значення не активного електричного опору  $R$ , а імпедансу  $Z_{\Sigma}$  усієї вимірювальної схеми:

$$Z_{\Sigma} = U / I \quad (3)$$

та відповідного адмітансу  $Y_{\Sigma}$  усієї схеми:

$$Y_{\Sigma} = 1 / Z_{\Sigma}. \quad (4)$$

Узагалі імпеданс  $Z$ , за умов явної відсутності індуктивної складової та ймовірної наявності ємнісної складової струму в суспензії, має розраховуватися за формулою [3]:

$$Z = U / I = \sqrt{R^2 + X_c^2}, \quad (5)$$

де  $C$  — електрична ємність.

При цьому ємнісна складова імпедансу (ємнісний опір)

$$X_c = 1 / 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \quad (6)$$

залежить не лише від властивостей суспензії, але й від параметрів схеми вимірювання (електричного ланцюга).

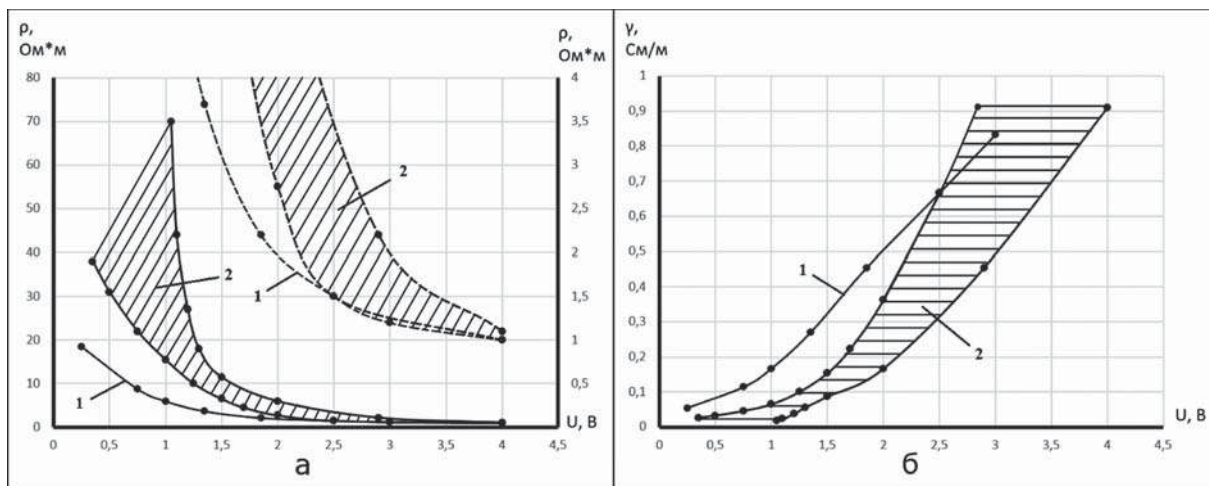


Рис. 2. Залежність питомого опору (а) та відповідної провідності (б) водо-вугільної суспензії від напруги постійного електричного струму за імпульсного підключення живлення (1) та продовженого у часі (до 550 с) спостереження (2) (пунктир на (а) — те ж саме за шкалою на правій ординаті)

Fig. 2. The dependence of the resistivity (a) and the corresponding conductivity (b) of water-coal suspension on DC electric current in pulsed power (1) and extended in time (550 s) supply observation (2) (dotted line in (a) — the same for the scale on the right ordinate)

Для узагальнення результатів та нівелювання впливу конструктивних особливостей оснащення за рис. 1 під час вимірювань доцільно величини  $R$  та  $X_c$  активної й ємнісної складових імпедансу  $Z$  визначати у зв'язку з відповідними значеннями *питомого* електричного опору:

- активного:

$$\rho = R \cdot S / a; \quad (7)$$

- реактивного (ємнісного):

$$\rho_c = X_c \cdot S / a, \quad (8)$$

та *питомої* електропровідності:

- активної:

$$\gamma = 1 / \rho, \quad (9)$$

- та реактивної (ємнісної):

$$\gamma_c = 1 / \rho_c, \quad (10)$$

де  $a, S$  — відстань між електродами вимірювального оснащення (рис. 1) та площа фронтальної поверхні одного із них відповідно. За визначення сумарного питомого опору замість  $R$  у формулі (7) потрібно використовувати  $Z_s$ .

Треба враховувати, що поділ імпедансу у такому разі на активну  $R$  та ємнісну  $X_c$  складові є умовним, оскільки вони існують одночасно в єдиному об'ємі суспензії. Тому їх коректне визначення потребує розроблення та аналізу адекватної еквівалентної схеми вимірювання та відповідної розрахункової схеми.

*Мета дослідження* — удосконалення методу та методики з експериментального визначення електричних властивостей суспензії та кількісне оцінювання коригувань, які зумовлюють заходи з поліпшення раніше відомих підходів.

#### ВИКЛАД ОСНОВНИХ МАТЕРІАЛІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Як *базові* обрали оснащення за рис. 1 та методику вимірювань із використанням формул (2) та (7). Вони застосовані в процесі дослідження властивостей водо-вугільної суспензії, яка містила (за масою) дисперсійну фазу — очищену воду та дисперсну фазу — 65 % подрібненого газового вугілля (останній — з 59,9 % зольності, 17,4 % летючих та 3,5 % вологи) [1]. При цьому вважали, що  $Z_s = R$ .

Геометричні характеристики електродної частини оснащення вимірювали штангенциркулем типу ШЦ-1. Ширина мідних електродів становила 10 мм, а глибина занурення у суспензію — 17,5 мм, тобто площа однієї («робочої») сторони електрода складала  $S = 175 \text{ мм}^2$ . Відстань між електродами (яка, для запобігання викривленню ліній електричного струму, взагалі має бути якомога меншою) у дослідженнях становила  $a = 56,0 \text{ мм}$  для мінімізації спотворення даних вимірювань коагуляцією суспензії на електродах. Температура у приміщенні була  $24 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Під час проведення вимірювань<sup>1</sup> із використанням омметра типу Ц-4341, який мав власне джерело живлення з дискретними значеннями постійної напруги у діапазоні (0,2...4,2) В, та електронного вольтметра додатково до даних джерела [1] виявили різницю у значеннях питомих активних опору та провідності суспензії за імпульсного підключення/відключення приладу порівняно з продовженим режимом вимірювань (рис. 2).

<sup>1</sup> За участю інж. Абрамова М.І.

Ця різниця складала декілька десятків відсотків, особливо була відчутна за напруги < 1 В і зменшувалася практично до 0 за підвищення напруги до 4,2 В. При цьому зафіксовано факти:

- \* коагуляції (товщиною до 8 мм, починаючи з (10...15) с протягом (2...5) хв) речовини суспензії на позитивному електроді, що супроводжувалося зміною струму  $I$  за постійної напруги (заштрихована зона) та зменшенням у часі питомого опору водо-вугільної суспензії (рис. 2-а);

- \* переходу коагулянта на інший електрод протягом (2...5) хв після зміни полярності напруги;

- \* наявності на електродах залишкового електричного потенціалу  $U_{залиш}$  величиною до (3,5...4) В, який особливо проявляв себе за імпульсного підключення живлення та зменшувався до 0 (і навіть до протилежних декількох десятків мілівольт) протягом (30...300) с тим швидше, чим меншим був рівень початкової напруги (рис. 3).

Також встановлено практично лінійний зв'язок між напругою постійного струму та питомою електропровідністю суспензії у діапазоні (1...4,2) В (рис. 2-б), що узгоджується з відомими літературними даними [4].

Ці явища можна пояснити складним проявом іонофорезної провідності у в'язкій рідині, що стримує швидке пересування заряджених міцелів, поляризацією складових суспензії, накопиченням електричного заряду в коагулянті поблизу позитивного електрода та свідчать стосовно наявності ємності в електричному ланцюзі під час вимірювань.

У цілому представлені дані, у зіставленні з раніше опублікованими матеріалами [1], дозволили оцінити вплив постійного та змінного струму та його

напруги на поведінку та електричні властивості водо-вугільної суспензії, а також визначити необхідний час (до (2...5) хв) стабілізації протягом вимірювань показників відлікових пристроїв відповідних приладів.

Для зіставлення застосованих удосконалених та відомих раніше прийомів визначення електричних параметрів суспензії (див. вище) конкретний вибір складу досліджуваної рідини визначального значення не має. Але цікавим стає оцінка впливу складу суспензій, хоча б у схожому класі речовин, на діапазон можливої зміни їх електричних властивостей. Тому як досліджувану речовину обрали колоїдно-графітовий препарат ВКГС-0. Він зазвичай використовується як термостійке технологічне мастило у процесах обробки металів тиском (у процесах волочіння дроту з тугоплавких металів, волочіння та прокатки труб, штампування тощо). Ця густа рідина за специфікацією є суспензією 20 % (за масою) високодисперсного графіту у воді, стабілізованою аміачним розчином сульфітно-спиртової барди (ГОСТ 5.1385-72; ТУ 113-48-52-89). Як виявилось внаслідок вилучення випаровуванням летючих компонентів суспензії до постійної маси за температури ~ 80 °С, реальна кількість твердої фази у суспензії становила 32,4 %. Для визначення цього застосували ваги типу МН-50 з діапазоном вимірювання (0...500) г.

Під час дослідження електричних властивостей зазначеної суспензії використали оснащення за рис. 1. Температура у приміщенні була 21 °С.

Рівень електричного струму вимірювали цифровим мультиметром типу DT9205A з піддіапазонами вимірювання (0...20) мА та (0...200) мА; внутрішній активний опір цього приладу  $R_{прил} = 1,3$  Ом. Значення електричної напруги визначали за допомогою цифрового мультиметра типу DT9208A з діапазоном вимірювання (0...20) В. Активний опір вольтметра — 10 МОм (його впливом на відповідні результати вимірювання напруги знехтували).

З урахуванням паспортних характеристик зазначених приладів визначили максимальні межі робочого діапазону їх частот (30...800) Гц.

Одночасно за допомогою мультиметра визначили, що сумарний активний опір провідників та їх з'єднань становив  $R_{пров} = 0,2$  Ом.

Змінний струм контрольованої частоти із вказаного діапазону до схеми подавали через електронний підсилювач від генератора за допомогою відкритої для користувачів комп'ютерної програми *Two Channels Frequency Generator* (діапазон частот  $f = (1...20000)$  Гц) [6], яку у виді відповідного файлу завантажено у ПЕОМ.

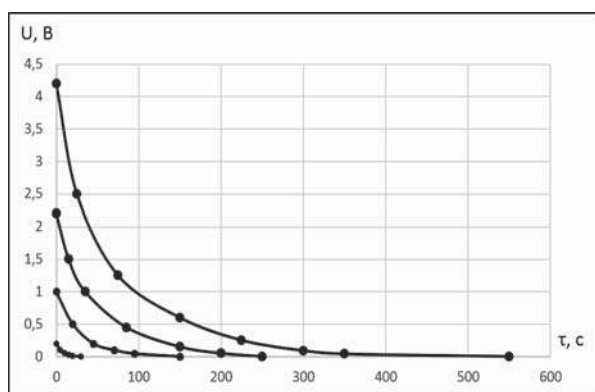


Рис. 3. Зміна у часі залишкового електричного потенціалу водо-вугільної суспензії після імпульсного підключення (з відключенням) постійного струму з різною напругою

Fig. 3. Change in time of remaining electric potential of coal-water slurry after pulse connection (disconnection) DC different voltage



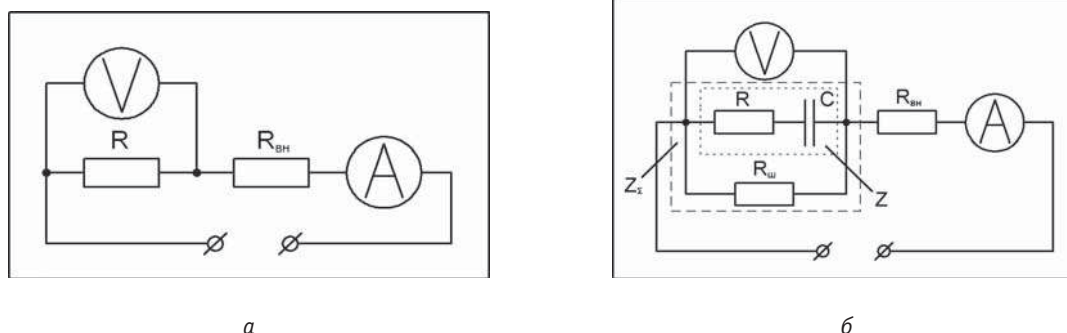


Рис. 4. Еквівалентні схеми заміщення за визначення параметрів електропровідності суспензії: а — без урахування ємнісної складової струму; б — з урахуванням ємності  $C$ , включеної послідовно з активним опором  $R$  суспензії (що разом визначає  $Z$ ), та активного опору  $R_{\text{а}}$ , паралельного цій  $RC$ -ділянці (що разом дає  $Z_{\Sigma}$ )

Fig. 4. Equivalent circuit in parameters determining of the electrical conductivity of the suspension: a — without capacitive component of current; b — with regard capacitance  $C$ , which is included in series with the suspension resistance  $R$  (which define  $Z$  simultaneously) and active resistance  $R_{\text{а}}$  that is parallel to this  $RC$ -circuit section (which gives  $Z_{\Sigma}$  simultaneously)

На основі результатів попередніх досліджень для нівелювання термічного впливу струму на електропровідність суспензії забезпечували значення напруги не вище за 12 В.

Робочу поверхню електродів перед зануренням у суспензію обробляли шліфувальною шкіркою із зернистістю М40 (ГОСТ 3647) та протирали чистою ганчіркою. Саму ж суспензію ретельно перемішували до досягнення нею ізотропного стану (з консистенцією густої сметани).

Спочатку визначення електричних властивостей суспензії здійснили за варіювання напруги у діапазоні (2...11,75) В на постійному струмі протягом 3 хв кожного вимірювання (до отримання стабільних показників приладів) та змінного струму з малою (10 Гц) та значною ((50...800) Гц) частотою без електроізоляції зовнішніх поверхонь електродів та з такою ізоляцією двома шарами ацетатного лаку.

Фізичну реалізацію пристрою з рис. 1, у першому наближенні, представили еквівалентною схемою заміщення на рис. 4-а.

Активний електричний опір, електропровідність, питомий опір та питому електропровідність суспензії визначали за формулами (2), (1), (6) та (8) відповідно. Вимірювання напруги  $U$  здійснювали безпосередньо на клеммах електродів пристрою (рис. 4-а), що забезпечило виведення складової опору  $R_{\text{вн}}$  поза межі контрольованої ділянки електричного ланцюга.

Результати дослідження, представлені на рис. 5 і 6, свідчать про таке.

Перш за все, зафіксований рівень питомого опору суспензії препарату ВКГС-0 на (1...2) порядки менший (що супроводжується більшим рівнем питомої електропровідності) за водо-вугільне паливо із попередньої серії досліджень. Це можна пояснити

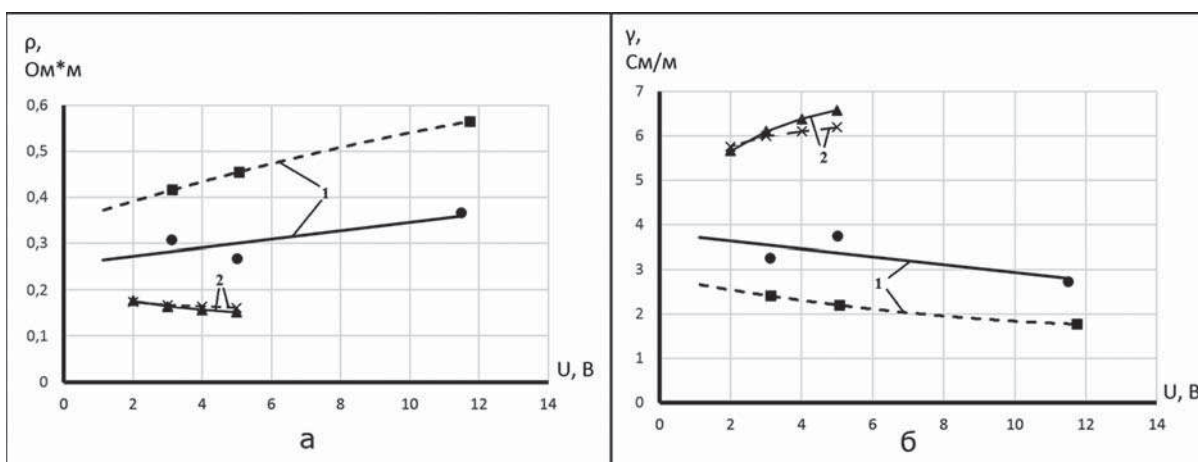


Рис. 5. Залежність питомого опору (а) та питомої провідності (б) суспензії ВКГС-0 від напруги постійного (1) та змінного з частотою 10 Гц (2) струму без ізоляції тильних поверхонь електродів (суцільні лінії) та з такою ізоляцією (пунктирні лінії)

Fig. 5. Dependence of the resistivity (a) and conductivity (b) of suspension VKGS-0 on DC (1) and AC with a frequency of 10 Hz (2) current without isolation of electrodes rear surfaces (solid lines) and with isolation (dotted lines)

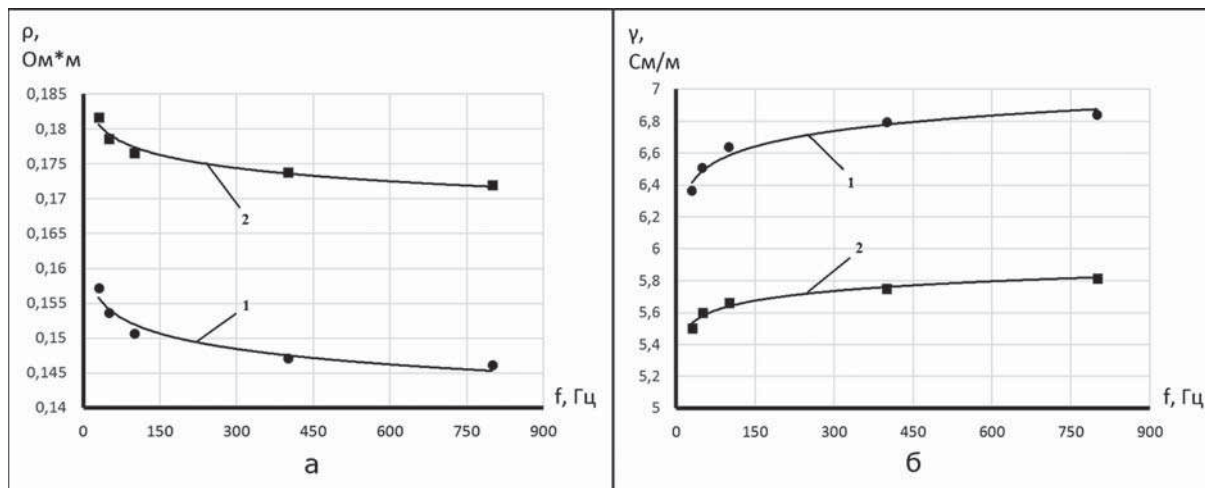


Рис. 6. Залежність питомого опору (а) та питомої провідності (б) суспензії VKGS-0 від частоти змінного струму за відсутності (1) та наявності (2) ізоляції тильних поверхонь електродів ( $U = 5\text{ В}$ )  
 Fig. 6. Dependence of resistivity (a) and conductivity (b) of suspension VKGS-0 on the frequency of the AC in isolation rear surfaces absence (1) and availability (2) of the electrodes ( $U = 5\text{ V}$ )

суттєвою відповідною різницею у значеннях кількості та провідності (опору) дисперсної (32,4 % графіту порівняно з 65 % газового вугілля) та дисперсійної (технічна вода з поверхнево-активними речовинами порівняно з очищеною водою) фаз суспензій.

Змінюється характер залежності опору (та провідності) від напруги, що можна пояснити різним співвідношенням носіїв електричних зарядів із їх характерною рухливістю у суспензіях.

Відсутність ізоляції тильних поверхонь електродів за випробувань на постійному струмі занижувала питомий електричний опір суспензії в (1,35...1,7) разів і отже завищувала питому електропровідність (рис. 5).

Реалізація вимірювань на змінному струмі навіть з частотою 10 Гц практично не супроводжувалася коагуляцією часток суспензії на електродах та суттєво зменшувала розбіжності у вказаних залежностях до (2...6) %. Пояснення останнього явища може міститися у запобіганні «повільному» переносу електричних зарядів іонами та міцелами суспензії за знакозмінної напруги. Але при цьому змінюється характер залежності контрольованих параметрів від напруги (лінії 1 і 2 на рис. 5), що можна пояснити проявом відомого ефекту Дебая — Фалькенгагена [7] та впливом частоти  $f$  на  $X_c$  за формулою (6). Також проявляється вплив наявності (порівняно з відсутністю) ізоляції тильних поверхонь електродів за частот (30...800) Гц струму (рис. 6). Тут фіксуються зростання значень опору та зменшення відповідної провідності в (1,15...1,18) разів.

Представлені результати свідчать, що необхідні відповідні коригування даних, поданих раніше у ро-

боті [1], а всі подальші такі дослідження потрібно виконувати за наявності вказаної ізоляції та за використання електричного струму змінної частоти. Але це зумовлює необхідність корекції уявлень щодо еквівалентної схеми вимірювань та розроблення відповідного методу розрахунків.

Аналіз засвідчив, що удосконалена модель еквівалентної схеми вимірювань повинна одночасно містити, окрім активного опору  $R$ , також і ємність  $C$ , узгоджувану із загальною моделлю «імпедансу Варбурга» [8]. При цьому мають виконуватися умови щодо забезпечення в удосконаленій моделі:

- ♦ електропровідності на постійному з  $f = 0$  (рис. 2) та змінному з  $f \neq 0$  струмах;
- ♦ збереження після зняття живлення залишкового електричного потенціалу  $U$  суспензії з його зменшенням у часі  $\tau$  внаслідок розряду (рис. 3) за допомогою деякого елемента  $R_{in}$ , що «шунтує» ємність;
- ♦ зменшення імпедансу  $Z_\Sigma$  (збільшення провідності  $Y_\Sigma$ ) за зростання частоти  $f$  електричного струму (рис. 5 і 6);
- ♦ простоти експериментального та аналітичного визначень величин, що входять до еквівалентної схеми, зокрема, з вимірюванням напруги  $U$  саме на клеммах електродів пристрою, що виключає вплив  $R_{en}$ .

За умов суттєвого проявлення ємності подвійного шару лише за частот струму, які на декілька порядків більші [3], ніж застосовані за наявних досліджень, викладені міркування дозволили представити фізичну схему вимірювань еквівалентною моделлю на рис. 4-б.

За такого підходу потрібно розглядати сумарний імпеданс  $Z_\Sigma$  суспензії та імпеданс  $Z$  його складової,

яка формується  $RC$ -ділянкою (а також — відповідні адмітанси), з їх характеристиками:  $\rho_{\Sigma}, \Gamma_{\Sigma}, \gamma_{\Sigma}, R, \rho, \gamma, X_C, \rho_C, \gamma_C$ .

Використання удосконаленої еквівалентної схеми зумовило зміну рівнянь, які визначають ці параметри.

За використання представленої моделі потрібно враховувати, що значення  $U$  та сили струму  $I$  характеризують імпеданс  $Z_{\Sigma}$  усієї послідовно-паралельної частини схеми, що включає складові активного опору  $R_u, R$  та реактивного опору  $X_C$ , а  $R$  та  $X_C$  визначають імпеданс  $Z$  лише  $RC$ -ділянки, який є складовою  $Z_{\Sigma}$  (рис. 4-б).

Можна прийняти, що  $R_u$  відповідає пунктирній лінії 1 із рис. 5-а.

Тоді, з урахуванням відомого рівняння  $1/Z_{\Sigma} = 1/Z + 1/R_u$  та формул (5) і (6), маємо:

$$Z = \frac{R_u \cdot Z_{\Sigma}}{R_u - Z_{\Sigma}} = \sqrt{R^2 + \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot C^2}}, \quad (11)$$

а невідомі  $R$  та  $C$  можна розрахувати за результатами двох послідовних вимірювань сумарного імпедансу  $Z_{\Sigma 1} = U_1 / I_1$  та  $Z_{\Sigma 2} = U_2 / I_2$ , на двох відповідних різних частотах  $f_1$  та  $f_2$ .

Із використанням такого підходу після простих, але громіздких перетворень системи рівнянь типу (11) отримали:

$$C = \frac{(R_u - Z_{\Sigma 1}) \cdot (R_u - Z_{\Sigma 2})}{2\pi \cdot R_u} \times \sqrt{\frac{1/f_1^2 - 1/f_2^2}{Z_{\Sigma 1}^2 \cdot (R_u - Z_{\Sigma 2})^2 - Z_{\Sigma 2}^2 \cdot (R_u - Z_{\Sigma 1})^2}}, \quad (12)$$

$$R = \frac{R_u}{R_u - Z_{\Sigma 1}} \cdot \sqrt{Z_{\Sigma 1}^2 - \frac{1}{1 - (f_1/f_2)^2} \times [Z_{\Sigma 1}^2 - (Z_{\Sigma 2} \cdot \frac{R_u - Z_{\Sigma 1}}{R_u - Z_{\Sigma 2}})^2]}. \quad (13)$$

Результати визначення електричних параметрів суспензії за значної різниці між частотами  $f_1$  і  $f_2$   
Results of suspension electrical parameters determining with the significant difference between the frequencies  $f_1$  and  $f_2$

$f_1$ , Гц	$I_1$ , мА	$f_2$ , Гц	$I_2$ , мА	$f_{сеп}$ (14), Гц	$f_{екв}$ (15), Гц	$\rho_Z$ , Ом·м	$\gamma_Z$ , (Ом·м) <sup>-1</sup>	$\rho_C$ , Ом·м	$\gamma_C$ , (Ом·м) <sup>-1</sup>	$\rho$ , Ом·м	$\gamma$ , (Ом·м) <sup>-1</sup>
30	85,9	50	87,6	40	37,5	0,298	3,351	0,076	13,112	0,289	3,466
30	85,9	100	88,5	65	46,2	0,295	3,393	0,063	15,756	0,288	3,475
30	85,9	400	90,7	215	55,8	0,286	3,502	0,066	15,099	0,278	3,600
30	85,9	800	91,2	415	57,8	0,283	3,529	0,067	15,018	0,275	3,630
50	87,6	100	88,5	75	66,7	0,291	3,433	0,046	21,594	0,288	3,477
50	87,6	400	90,7	225	88,9	0,283	3,534	0,055	18,310	0,278	3,601
50	87,6	800	91,2	425	94,1	0,281	3,561	0,055	18,216	0,275	3,631
100	88,5	400	90,7	250	160,0	0,282	3,547	0,052	19,334	0,277	3,608
100	88,5	800	91,2	450	177,8	0,280	3,574	0,050	20,001	0,275	3,633
400	90,7	800	91,2	600	533,6	0,277	3,616	0,032	31,357	0,275	3,641

З урахуванням рівнянь (12) і (13) можна за формулами (7) та (9) визначити питомий активний електричний опір  $\rho$  та відповідну активну питому електропровідність  $\gamma$ , а за виразами (6), (8) та (10) —  $\rho_C$  та  $\gamma_C$ . При цьому, як зазначено вище, потрібно мати на увазі, що схема на рис. 4-б є лише моделлю фізичного стану суспензії, а всі вказані складові її опору (провідності) існують одночасно в одному об'ємі; активна та ємнісна складові опору (провідності) на  $RC$ -ділянці взаємопов'язані й сумісно формують величину імпедансу  $Z$  цієї ділянки. Окрім того, електрична ємність суспензії може розподілятися нерівномірно між електродами, що робить її залежною від відстані між ними. Отже, фактично відокремити складові імпедансу одну від іншої неможливо. Те ж саме стосується і характеристик провідності (адмітансу).

Тому для цілей аналізу (рис. 4-б) доцільно розглядати електричні характеристики, що формують імпеданс  $Z$  на  $RC$ -ділянці, та штучно відокремлені його активну та ємнісну складові  $R$  та  $X_C$  за формулами (5), (6), (12) та (13), пов'язані з ними значення  $\rho_Z, \rho$  і  $\rho_C$ , а також — відповідні параметри  $\gamma_Z, \gamma$  і  $\gamma_C$ , що характеризують адмітанс суспензії;

Тут одразу виникає питання щодо визначення доцільної розбіжності між частотами  $f_1$  і  $f_2$ , а також значення частоти, якій відповідають ті чи інші значення досліджуваних параметрів.

По-перше, варіювання значень вказаних частот у діапазоні (30...800) Гц здійснили з різницею в (1,66...26,6) рази між ними.

Результати експериментів та розрахунків за  $U = 5$  В та відповідного значення  $R_u = 145,5$  Ом (згідно з даними рис. 5-а, пунктирна лінія) представлено в таблиці.

Ці дані виявили, що неможливо побудувати однозначні тренди шуканих залежностей у всьому діапазоні

зміни частот  $f_1$  і  $f_2$  та великій різниці між ними за визначення узагальнювальної частоти за виразом:

$$f_{сер} = 0,5 \cdot (f_1 + f_2). \quad (14)$$

При цьому, такі залежності частково можна визначити за зменшення різниці між  $f_1$  і  $f_2$ .

Також аналіз цих даних засвідчив, що суттєво більш впливним фактором є менша частота  $f_1$  із пари тих, що використані для розрахунків, за незначного впливу більшої  $f_2$  із частот. Із урахуванням цих міркувань узагальнювальну «еквівалентну» частоту визначили за формулою середньої зваженої оцінки:

$$f_{екв} = f_1 \cdot \left(1 - \frac{f_1}{f_1 + f_2}\right) + f_2 \cdot \frac{f_1}{f_1 + f_2}, \quad (15)$$

що дозволило отримати, здебільшого, монотонні залежності параметрів  $\rho_z$ ,  $\rho$ ,  $\rho_C$ ,  $\gamma_z$ ,  $\gamma$  і  $\gamma_C$  від  $f_{екв}$ .

Аналіз виразу (15) засвідчив, що за  $f_1 = f_2 = f$  він дає:  $f_{екв} = f$ . Зі скороченням різниці між  $f_1$  та  $f_2$  зменшується вплив певної штучності цього виразу на достовірність аналізу. За близьких значень  $f_1$  і  $f_2$ ,  $f_{екв} \rightarrow f_{сер}$ .

Суттєвим також уявляється те, що, за даними таблиці, як імпеданс, так і його активна та ємнісна складові по-різному залежать від частоти електричної напруги.

Наслідком цього стала рекомендація зближувати в процесі досліджень значення  $f_1$  та  $f_2$  у такий спосіб, щоб можна було без суттєвої похибки вважати:  $f = f_{екв}$ .

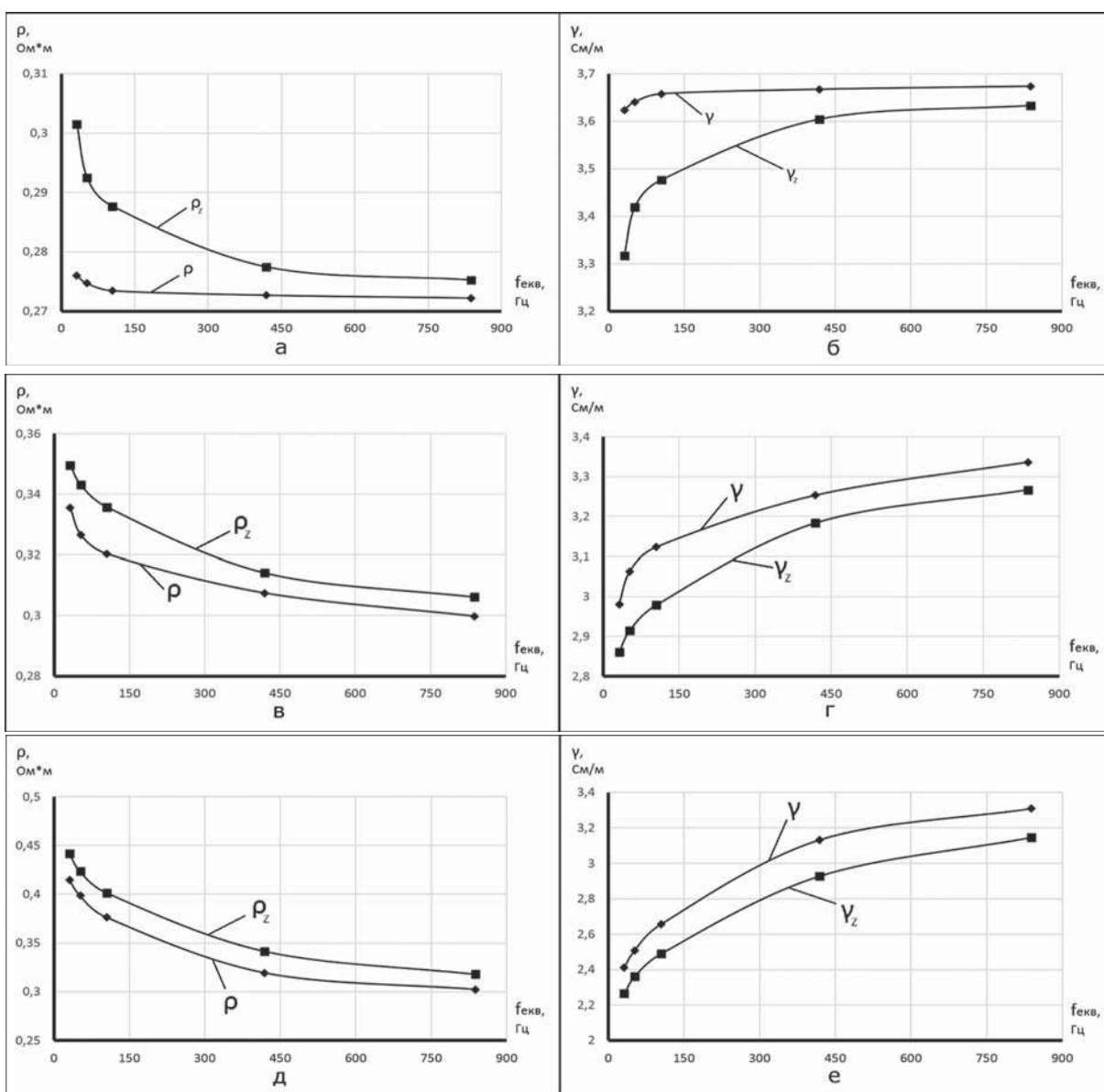


Рис. 7. Залежність питомого опору (а) RC-ділянки  $\rho_z$  та її активної складової  $\rho$ , а також питомої провідності (б) суспензії ВКГС-0 з відповідними складовими  $\gamma_z$  та  $\gamma$  від еквівалентної частоти  $f_{екв}$  за значень напруги 5, 2,5 та 1 В

Fig. 7. Dependence of RC-circuit section resistivity (a) and its active ingredient, and conductivity (b) of suspension VKGS-0 with the corresponding components  $\gamma_z$  and  $\gamma$  on equivalent frequency and voltage at 5 V, 2.5 V and 1 V

Також доцільним виявилось дослідження впливу напруги на залежності, що вивчаються. Такі розрахунки виконано для рівнів напруги  $U = 5, 2,5$  та  $1,0$  В. При цьому враховували, що значення шунтувального опору  $R_{ш}$  (рис. 4-б) самі залежать від  $U$  і згідно з даними рис. 5 складали 145,5, 128 та 121 Ом відповідно.

Результати розрахунків, представлені на рис. 7, свідчать про таке.

Звуження діапазону пар частот електричного струму для визначення електричних властивостей суспензії дозволяє представити результати у виді залежностей, суттєво підвищує стабільність результатів та достовірність аналізу. Але при цьому зменшується різниця між виміряними значеннями  $I_1$  та  $I_2$  струму, що вимагає використання вимірювальних приладів з необхідним класом точності.

Збільшення частоти  $f$  зумовлює зменшення як питомого опору  $\rho_Z$  усієї  $RC$ -ділянки еквівалентної схеми (рис. 4-б), так й її активної складової  $\rho$ , а також відповідне збільшення значень питомої провідності  $\gamma_Z$  та  $\gamma$ . Останнє узгоджується з відомим ефектом Дебая — Фалькенгагена [7] навіть у зазначеному діапазоні частот. Інтенсивність зміни зазначених залежностей помітно зменшується після  $f_{екв} > (100...150)$  Гц.

Аналіз представлених даних також свідчить стосовно впливу напруги живлення на результати визначення характеристик імпедансу  $Z_{\Sigma}$  і адмітансу  $G_{\Sigma}$  за формулою (1) всієї схеми вимірювань за умов незначних тепловиділень у суспензії не лише на постійному струмі (рис. 2 для водо-вугільної суспензії), але й на змінному струмі (рис. 7 для суспензії ВКГС-0).

Це доводиться результатами експериментального визначення залежності імпедансу та адмітансу суспензії ВКГС-0, представлених на рис. 8, з використанням формул (3), (7) і (9).

Потрібно враховувати, що відомості, принаймні якісні, щодо значень *ємнісних* властивостей суспензій можуть виявитися корисними за практичних умов їх застосування.

Але при цьому, як уже зазначено вище, параметри, пов'язані з ємністю, характеризують не лише властивості самої рідини, але й особливості оснащення для вимірювання її ознак.

Отже, представлені дані, з урахуванням формули (5), дозволяють розрахувати значення ємнісного опору:

$$X_c = \sqrt{Z^2 - R^2}, \quad (16)$$

а за формулами (8) і (10) — величини питомого ємнісного опору  $\rho_C$  та питомої ємнісної провідності  $\gamma_C$ .

Зменшення розбіжності між значеннями  $\rho_Z$  та  $\rho$  на рис. 7 свідчить стосовно зменшення ємнісної складової імпедансу (та адмітансу) зі збільшенням частоти  $f_{екв}$ , а також — стосовно відповідного збільшення провідності  $\gamma_C$  (рис. 9).

Тут, на відміну від даних щодо залежності *активної* складової імпедансу (та адмітансу) від частоти та напруги, фіксується більша залежність *ємнісної* складової від цих параметрів: 1,55 разів за напруги 1 В та 2,4 рази за напруги 5 В у діапазоні зміни частоти (30...840) Гц.

При цьому основна зміна відбувається за частоти, меншої від (100...150) Гц. Останнє зумовлює рекомендацію проводити вимірювання за частоти, більшої за вказаний діапазон, з урахуванням частотних характеристик вимірювальних пристроїв. Із наведених даних видно, що, зі збільшенням частоти струму від приблизно 30 до 840 Гц (тобто в 28 разів) та зростанням напруги  $U$  від 1 до 5 В, питомий опір  $\rho_C$  суспензії зменшується у (2...4) рази. Вплив частоти у зазначеному діапазоні на зменшення опору складає приблизно 1,06 разів за напруги  $U = 5$  В, 1,08 разів за  $U = 2,5$  В і 1,18 разів за  $U = 1,0$  В.

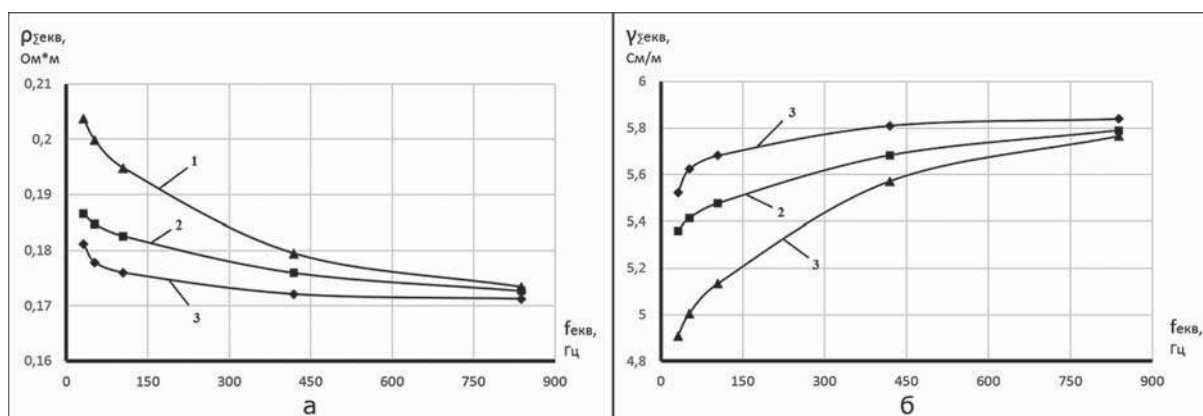


Рис. 8. Залежність від частоти  $f_{екв}$  питомого опору  $\rho_{\Sigma_{екв}}$  (а) та питомої провідності  $\gamma_{\Sigma_{екв}}$  (б) для всієї суспензії ВКГС-0 за значень напруги  $U = 1$  В (1); 2,5 В (2); 5 В (3)

Fig. 8. Dependence of resistivity (a) and conductivity (b) for all suspension VKGS-0 on frequency  $f_{eq}$  when the voltage  $U = 1$  V (1); 2.5 V (2); 5 V (3)

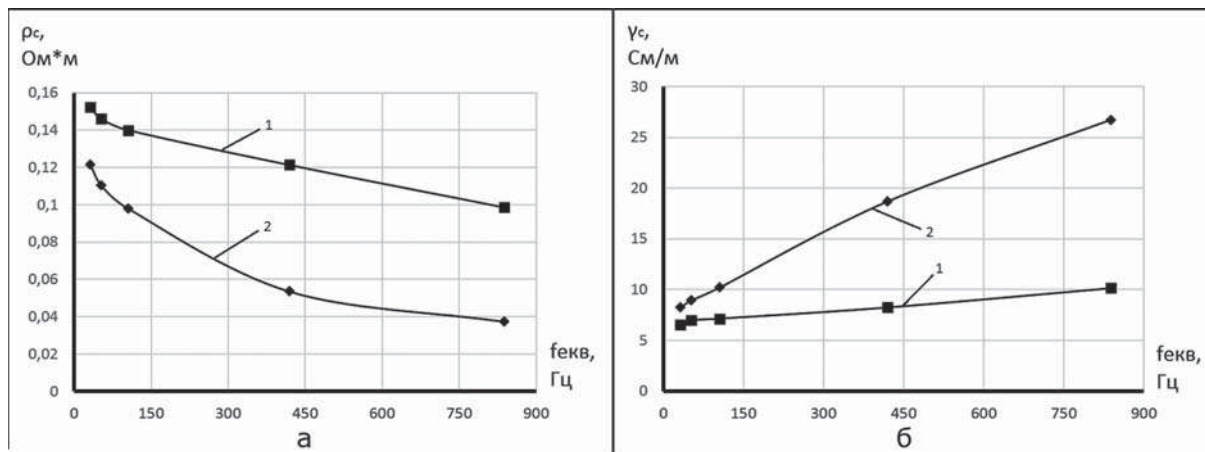


Рис. 9. Залежність питомої ємнісної складової опору  $\rho_C$  (а) та відповідної питомої провідності  $\gamma_C$  (б) суспензії ВКГС-0 від частоти струму: за напруги 1 В (1) та 5 В (2)  
 Fig. 9. Dependence of specific resistance capacitive component (a) and the corresponding conductivity (b) of suspension of VKGS-0 on frequency, at a voltage of 1 V (1) and 5 V (2)

Ймовірно, останнє пов'язано з тепловиділенням за проходження електричного струму крізь суспензію. Це зумовлює рекомендацію здійснювати вимірювання за значень електричної напруги та відповідного струму, які не викликають помітного додаткового нагрівання суспензії відносно умов навколишнього середовища.

Якщо ж урахувати прямий зв'язок між питомим ємнісним опором  $\rho_C$  та ємнісним опором  $X_C$  за формулою (8) та зворотній зв'язок між  $X_C$  та ємністю  $C$  і частотою  $f$  за формулою (6), можна стверджувати, що експериментально зафіксоване зменшення ємності суспензії пов'язано, переважно, зі збільшенням частоти струму порівняно із впливом напруги  $U$ . Відповідним чином можна розглядати вплив  $f$  та  $U$  на електричну провідність суспензії.

На основі всіх представлених матеріалів дослідження можна для визначення електричних властивостей суспензій рекомендувати такий порядок дій (методу):

1. Визначити склад суспензії, електричні характеристики якої мають досліджуватися.

2. Зібрати оснащення та вимірювальний ланцюг за схемою на рис. 4 з ретельною електроізоляцією тильних поверхонь електродів. Обрати вимірювальні прилади з урахуванням їх класу точності. Відстежити температуру випробувань (доцільно забезпечити її приблизно рівною температурі потенційного використання суспензії, за якою здійснюватиметься електромагнітна обробка вказаної рідини).

3. За певного рівня напруги провести вимірювання сили постійного електричного струму  $I_{пост}$ , який би не викликав помітного підвищення температури суспензії, з фіксацією остаточного стабільного результату, що практично не змінюється

у часі (зокрема, за умов представлених досліджень  $U = (2,5...5)$  В, а час відстеження (150...200) с).

4. Розрахувати значення шунтувального опору  $R_{ш}$  за формулою (2) та відповідного питомого опору  $\rho_{ш}$  за формулою (7).

5. Провести вимірювання значень сили електричного струму  $I_1$  та  $I_2$  за відповідних частот, що відрізняються одна від одної не більше, як на 10% та зумовлюють різницю  $|I_1 - I_2|$ , яку можна достовірно визначити з урахуванням класу точності (за п. 2) та частотного діапазону працездатності вимірювальних приладів (наприклад, за  $f_1 = 300$  Гц;  $f_2 = 330$  Гц). Результати фіксувати після їх стабілізації.

Дослідження повторити кілька разів (мінімум, 5) так, щоби знівелювати випадкову помилку вимірювань. Для подальших розрахунків використовувати середні значення вимірювань.

6. За даними п. 5 розрахувати електричні характеристики суспензії:

► імпеданси  $Z_{\Sigma 1}$  і  $Z_{\Sigma 2}$  (та адмітанси  $Y_{\Sigma 1}$  і  $Y_{\Sigma 2}$ ) за формулами (3) і (4) відповідно;

► еквівалентний імпеданс  $Z_{\Sigma екв}$  із діапазону частот  $f_1$  та  $f_2$  за формулою:

$$Z_{\Sigma екв} = Z_{\Sigma 1} \cdot \left(1 - \frac{f_1}{f_1 + f_2}\right) + Z_{\Sigma 2} \cdot \frac{f_1}{f_1 + f_2}; \quad (17)$$

► еквівалентний питомий імпеданс  $\rho_{\Sigma екв}$  та еквівалентний питомий адмітанс  $\gamma_{\Sigma екв}$  за формулами (7) та (9), які відповідають частоті  $f_{екв}$  за формулою (15);

► активну складову  $R$  імпедансу за виразом (13) та відповідне значення питомого активного опору  $\rho$  за формулою (7), а також зіставні значення провідності  $Y$  та  $\gamma$  за формулами (3) та (9);

► ємність  $C$  за рівнянням (12), ємнісну складову імпедансу  $X_C$  за формулою (6) та питомий реактивний (ємнісний) опір  $\rho_C$  за формулою (8);

► питому ємнісну електропровідність  $\gamma_C$ , що відповідає  $\rho_C$ , за виразом (10).

7. Зафіксувати всі дані у протоколі дослідження.

### ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Удосконалено оснащення щодо визначення електричних властивостей суспензій (активної та ємнісної складових імпедансу та адмітансу) на прикладі суспензії технологічного мастила ВКГС-0, що містить дрібнодисперсний графіт як дисперсну фазу, порівняно з водо-вугільною суспензією подрібненого газозового вугілля.

Виявлено та кількісно оцінено вплив складу суспензії, особливостей схеми вимірювання, виду електричного струму (постійного або змінного), напруги та її частоти на електричні характеристики суспензій.

Завдяки використанню удосконаленої схеми заміщення реального процесу вимірювань та відповідної розрахункової моделі із застосуванням експе-


риментальних результатів двох вимірювань на двох близьких частотах струму визначено рівні активної та ємнісної складових в імпедансі (адмітансі) суспензії ВКГС-0.

Визначено умови, за яких дестабілізувальний вплив зовнішніх факторів на електричні властивості суспензій є мінімальним, що дозволило конкретизувати доцільні умови проведення випробувань для підвищення достовірності результатів експериментів.

На підставі проведених досліджень розроблено удосконалений метод та представлено відповідну методику визначення електричних властивостей суспензій.

Викладені матеріали можуть бути корисними за визначення електричних властивостей інших суспензій, а також інших гетерогенних систем, зокрема, емульсій для їх застосування за умов, коли є потреба в електромагнітному впливі на відповідні рідини.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Пинчук В.А. Исследование электрических свойств водугольной суспензии/ В. Пинчук, А. Должанский // Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика: Зб. наук. праць. — Вип. 5. — Дніпропетровськ: Лира ЛТД (Pinchuk V.A. Issledovanie elektricheskikh svoystv vodougolnoy suspensii / V. Pinchuk, A. Dolzhanskiy // Tekhnicheskay teplofizika ta promislova teploenergetika: Sb. nauk. prats. — Vip. 5. — Dnipropetrovsk: Lyra Ltd), — 2013. — С/С. 171—180.
2. Духин С.С. Электропроводность и электрокинетические свойства дисперсных систем / С. Духин. — К.: Наукова думка (Dukhin S.S. Elektroprovodnost i elektrokineticheskiye svoystva dispersnykh sistem / S. Dukhin. — К.: Naukova Dumka), — 1975. — 248 с/с.
3. Духин С.С. Диелектрические явления и двойной слой в дисперсных системах и полиэлектролитах / С. Духин, В. Шилов. — К.: Наукова думка (Dukhin S.S. Dielektricheskiye yavleniya i dvoynoy sloy v dispersnykh sistemakh i polielektrolitakh/ S. Dukhin, V. Shilov. — К.: Naukova Dumka),— 1975. — 246 с/с.
4. Столярчук П.Г. Результати експериментальних досліджень показників якості дизельного палива і рослинної олії електричним методом/ П. Столярчук, О. Шпак, Р. Янович // Вимірювальна техніка та метрологія. — Львів: «Львівська політехніка» (Stolyarchuk P.G. Resultati eksperimentalnykh doslidgen pokaznykh yakosti dizelnogo paliva i roslinnoy oliyi elektrichym metodom/ P. Stolyarchuk, O. Shpak, R. Yanovich// Vimiryuvalna tekhnika ta metrologiya. — Lviv: «Lvivska politekhnika»). — 2012. — № 73. — С/С. 136—142.
5. Мартинович Н.В. Використання імітансного методу для контролю твердості води/ Н. Мартинович. Є. Походило // Методи та прилади контролю якості. — Івано-Франківськ: ІФНТУНГ (Martinovich N.V. Viktoristannya imitansnogo metodu dlya kontrolyu tverdosty vodi/ N. Martinovich. Ye Pokhodilo // Metodi ta priladi kontrolyu yakosti. — Ivano-Frankivsk: IFNTUNG). — 2011. — № 26. — С/С. 45—48.
6. Two Channels Frequency Generator [Электронный ресурс]: Режим доступа: [http://www.cognaxon.com/index.php?page=download\\_educational](http://www.cognaxon.com/index.php?page=download_educational).
7. Вишняков А.В. Физическая химия: Учебник для вузов / А. Вишняков. — М.: Химия (Vishnyakov A.V. Fisicheskaya khimiya: Uchebnik dlya vuzov / A. Vishnyakov. — М.: Khimiya), — 2012. — 840 с/с.
8. Электрохимический импеданс / Стойнов З.Б., Графов Б.М., Савова-Стойнова Б., Елкин В.В. — М.: Наука (Elektrokhimicheskyy impedans / Stoynov Z.B., Grafov B.M., Savova-Stoynova B, Yelkin V.V. — М.: Nauka), — 1991. — 336 с/с. 

Отримано / received: 18.05.2017.

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.

УДК 628.052.7; 629.054; 629.016; 629.018

# УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ КУТА ПОПЕРЕЧНОЇ СТІЙКОСТІ МАШИНИ

**А. Коробко**, кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник, Харківська філія Українського науково-дослідного інституту прогнозування і випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

*Запропоновано удосконалений метод вимірювання кута поперечної статичної стійкості тягово-транспортних і причіпних сільськогосподарських машин. Застосування розробленого методу не потребує визначення координат центру мас машини і використання платформених стендів, а передбачає лише вимірювання маси машини у горизонтальному положенні й під кутом за підйому одного із бортів. Наведено методику розрахунку метрологічних характеристик запропонованого методу.*

*The paper proposed an improved method for the measurement of the angle of transverse static stability of the traction vehicle and towed agricultural machines. Using the developed method*

*does not require determining the coordinates of the center of mass of the machine, use the platform stands. Provides for the mass measurement of the machine in a horizontal position and at an angle while lifting one of the sides. The method for calculating the metrological characteristics of the proposed method is given. The magnitude approximation error angle lateral stability is comparable to the magnitude of error given the existing regulations. Measurement angle transverse static stability and traction transport trailer provides the following vehicles. 1. Measurement of weight machines boards horizontally. 2. Measuring the weight of one of the sides of the machine when lifting less loaded aboard for a corner. 3. Measuring angle calculating machine and transverse static stability angle. Figure — 1. Table 1. References — 8.*

**Ключові слова:** стійкість поперечна, вимірювання, метод експериментально-аналітичний, кут стійкості, приріст ваги.  
**Keywords:** lateral stability, measurement, method experimental and theoretical, stability angle, the increase of weight.

Останнім часом спостерігається тенденція розвитку нових методів і способів оцінювання якості продукції, а саме, експрес-методів (фокус-тестів). Це прискорені методи випробувань або вимірювання деякого параметра, що забезпечують здійснення процедури за короткий термін. Експрес-методи засновано на тих же принципах, що й аналогічні стандартні методи випробувань. Проте вони дають змогу з найменшими витратами (у тому числі часовими) зробити висновок щодо відповідності або невідповідності об'єкта випробувань установленим вимогам [1].

Однією із важливих властивостей транспортно-тягових (автомобіль, трактор) та причіпних сільськогосподарських машин є поперечна стійкість, яка характеризує здатність працювати на поперечних ухилах без перекидання. Поперечна стійкість положення оцінюється статичним кутом поперечного ухилу, на якому може стояти загальмована машина без перекидання.

Наявні стенди для визначення кута поперечної стійкості машин, не зважаючи на їхню мобільність, все ж потребують удосконалення у частині матеріалоемності, математичних моделей випробувань і дослідження точності й достовірності результатів випробувань.

Вимірювання показників поперечної статичної стійкості транспортно-тягових і причіпних сільськогосподарських машин регламентовано Технічними регламентами [2]. Оцінювальним показником поперечної статичної стійкості машини є кут



© Коробко А., 2017



поперечної статичної стійкості, методи визначення якого регламентовано ГОСТ 12.2.002 [3]. Відомі три основних методи вимірювання кута поперечної статичної стійкості: інструментальний, математичного моделювання і дослідно-аналітичний. Випробування на платформеному стенді дають найбільш достовірні результати, оскільки проводяться за реальних умов. Проте недоліком таких випробувань є те, що необхідно утримувати дороговартісне випробувальне устаткування, і машину, що випробовується, необхідно доправляти до місця розташування стенда. А за нинішніх умов випробувальні лабораторії декларують випробування на місці розташування замовника (поза межами випробувальної лабораторії). Метод математичного моделювання не завжди може дати достовірний результат, оскільки неможливо врахувати усі параметри під час створення моделі. Дослідно-аналітичні методи найбільш прийнятні за сучасних умов. У роботах [4, 5] проведено детальний аналіз наявних методів визначення показників поперечної статичної стійкості сільськогосподарських тягово-транспортних машин. Указано їх переваги і недоліки. Акцентовано увагу на тому, що дослідно-аналітичні методи вимірювання кута поперечної стійкості забезпечують необхідну точність проведення вимірювання. Проте у зазначених роботах не наведено інформації щодо числових значень показників точності вимірювань досліджуваного параметра.

Авторами роботи [6] запропоновано дослідно-аналітичний метод визначення кута поперечної стійкості й запропоновано конструкцію мобільного стенда для його визначення. Проте, на нашу думку, такий стенд теж має недоліки. А саме, те, що для його роботи необхідно мати окрему тягово-транспортну

машину (у цьому випадку трактор ЮМЗ-6) і причіп, на якому він розміщується в транспортному положенні. Математична модель об'єкта випробувань розглядається у виді кубу рівної густини, координати центру мас якого відомі.

У роботі [7] запропоновано експериментально-аналітичний метод вимірювання кута поперечної стійкості машини, заснований на припущенні, що під час перекидання машини її вага розподіляється по бортах за лінійною залежністю. Пропонований метод, на відміну від наявних, не потребує проведення розрахунків координат центра мас машини та застосування великогабаритних платформених стендів. Проте запропонований метод потребує удосконалення у частині обґрунтування поправок на метрологічну похибку і валідацію методу.

*Мета статті* — удосконалення методу випробувань із визначення кута поперечної статичної стійкості колісних машин. Для її досягнення необхідно удосконалити математичну модель випробувань.

#### МОДЕЛЬНЕ РІВНЯННЯ ВИМІРЮВАННЯ КУТА ПОПЕРЕЧНОЇ СТІЙКОСТІ МАШИНИ

У [7] запропоновано схему вимірювання кута поперечної стійкості на припущенні, що за нахилу машини на будь-який борт її вага розподіляється за лінійною залежністю (рисунок).

Максимальним значення приросту ваги борта машини буде у випадку, коли машина перебуватиме у стані «байдужої рівноваги» (радіус-вектор сили тяжіння проходить через точку опору машини), тобто уся вага розподілятиметься на борт машини, який міститься нижче за схилом. Величина кута поперечного ухилу  $\alpha$  при цьому дорівнюватиме величині кута поперечної стійкості машини  $\alpha_{cc}$  [7]:

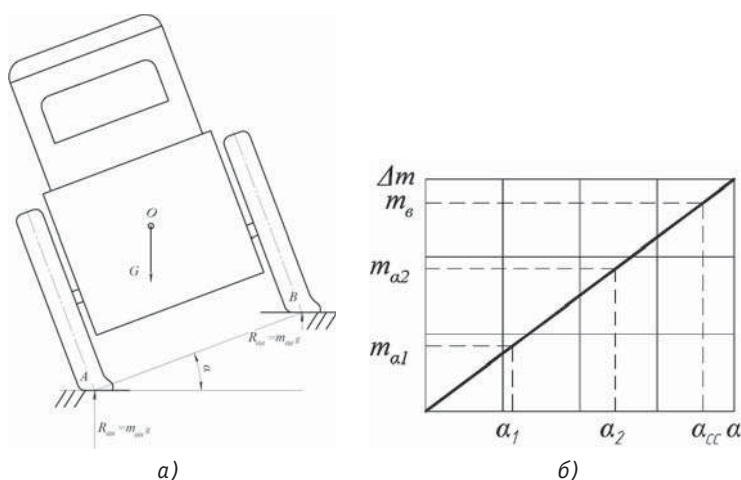
$$\alpha_{cc} = (m_b / \Delta m_{\alpha 2}) \alpha_2, \quad (1)$$

де  $\alpha_2$  — довільний кут, на який здійснюється підйом одного із бортів машини (згідно з методом), град;

$m_b$  — значення маси борта машини, розташованого вище за схилом, вимірене за горизонтального положення машини, кг;

$\Delta m_{\alpha 2}$  — величина, на яку збільшилося вимірене значення маси борта машини, що міститься нижче за ухилом, за її підйому на кут  $\alpha_2$ , кг.

Величину  $\Delta m_{\alpha 2}$  можна визначити двома способами, залежно від



а) Схема перерозподілу ваги машини за осями а) і залежність величини приросту маси від кута ухилу б) [7]  
Scheme redistributing weight of the machine axes a) and dependence of weight gain on the angle of slope b) [7]

того, масу якого борта вимірюють за підйому машини:

$$\Delta m_{\alpha_2} = m_{n\alpha_2} - m_n, \quad (2)$$

$$\Delta m_{\alpha_2} = m_B - m_{B\alpha_2}, \quad (3)$$

де  $m_{n\alpha_2}$ ,  $m_{B\alpha_2}$  — маси бортів машини, що містяться нижче або вище, відповідно, за підйому машини на кут  $\alpha_2$ , кг;

$m_n$  — маса борта машини, розташованого нижче за схилом, вимірена за горизонтального положення машини, кг.

Вираз (1) незручний у користуванні, оскільки відношення  $m_B/\Delta m_{\alpha_2}$  змінюється у межах  $[\infty; 1]$ , що призводить до оперування з великими числами під час розрахунків, які є індивідуальними для кожної машини, що випробовується. Для усунення зазначеного недоліку, виконаємо перетворення у виразі (1), а саме, виконаємо інверсію відношення мас і підніmemo її до степеня «-1»:

$$\alpha_{cc} = (\Delta m_{\alpha_2}/m_B)^{-1} \alpha_2. \quad (4)$$

За такої умови (4) відношення  $\Delta m_{\alpha_2}/m_B$  змінюється у межах  $[0; 1]$ . Такі межі є зручними для проведення подальших розрахунків. Для зручності користування запропонованим методом можна провести попередні розрахунки кута поперечної стійкості машини залежно від значення довільного кута  $\alpha_2$ , на який здійснюється підйом одного із бортів машини (згідно з методом) за різних значень відношення мас. Результати зручно представити у виді таблиці.

У таблиці в рядках — значення відношення мас, а у стовпчиках — величина кута, на який здійснюється підйом машини в процесі експерименту. Прочерки в окремих чарунках таблиці свідчать, що за певного кута підйому машини і відношення мас кут статичної стійкості перевищуватиме 90°. Теоретично це можливо за умови, якщо центр тя-

жіння машини міститься нижче опорної поверхні. На практиці це неможливо.

**МЕТРОЛОГІЧНА ПОХИБКА І НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ КУТА ПОПЕРЕЧНОЇ СТІЙКОСТІ МАШИНИ**

Для розрахунку похибки вимірювання кута поперечної стійкості машини скористаємося диференціальною формулою оцінки помилки [8]:

$$\varepsilon_{\alpha_{cc}} = \left| \frac{\partial \alpha_{cc}}{\partial \Delta m_{B\alpha_2}} \right| \cdot \varepsilon_{\Delta m_{B\alpha_2}} + \left| \frac{\partial \alpha_{cc}}{\partial m_B} \right| \cdot \varepsilon_{m_B} + \left| \frac{\partial \alpha_{cc}}{\partial \alpha_2} \right| \cdot \varepsilon_{\alpha_2}. \quad (5)$$

де  $\varepsilon_{\Delta m_{\alpha_2}}$ ,  $\varepsilon_{m_B}$ ,  $\varepsilon_{\alpha_2}$  — абсолютні максимальні похибки вимірювання маси машини і кута нахилу, відповідно, кг, кг, град;

$\frac{\partial \alpha_{cc}}{\partial \Delta m_{\alpha_2}}$ ,  $\frac{\partial \alpha_{cc}}{\partial m_B}$ ,  $\frac{\partial \alpha_{cc}}{\partial \alpha_2}$  — частинні похідні модельного рівняння вимірювання кута нахилу машини за кожним параметром:

$$\frac{\partial \alpha_{cc}}{\partial \Delta m_{\alpha_2}} = \frac{m_B \alpha_2}{(m_B - m_{B\alpha_2})^2} = \frac{\alpha_{cc}}{m_B - m_{B\alpha_2}}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial \alpha_{cc}}{\partial m_B} = \frac{m_{B\alpha_2} \alpha_2}{(m_B - m_{B\alpha_2})^2} = \alpha_{cc} \frac{m_{B\alpha_2}}{m_B^2 - m_B m_{B\alpha_2}}, \quad (7)$$

$$\frac{\partial \alpha_{cc}}{\partial \alpha_2} = \frac{m_B}{m_B - m_{B\alpha_2}} = \frac{\alpha_{cc}}{\alpha_2}, \quad (8)$$

У формулі (5) окремо враховуються похибки вимірювання маси борта машини і маси, на яку збільшується маса борта машини за її нахилу. Це зумовлено тим, що ваги для вимірювання маси машин можуть мати різну похибку в різних діапазонах вимірювання.

Під час розрахунку невизначеності вимірювання внесок вхідних величин до результату вимірювання розраховується за (6)—(8).

*Розрахункові значення кута статичної стійкості  
Estimated values of the angle of static stability*

	$\alpha$ , град	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$\Delta m_{\alpha_2}/m_B$	0,1	50	60	70	80	90	-	-	-	-	-	-
	0,12	42	50	58	67	75	83	-	-	-	-	-
	0,14	36	43	50	57	64	71	79	86	-	-	-
	0,16	31	38	44	50	56	63	69	75	81	88	-
	0,18	28	33	39	44	50	56	61	67	72	78	83
	0,2	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
	0,22	23	27	32	36	41	45	50	55	59	64	68
	0,24	21	25	29	33	38	42	46	50	54	58	63
	0,26	19	23	27	31	35	38	42	46	50	54	58
	0,28	18	21	25	29	32	36	39	43	46	50	54
	0,3	17	20	23	27	30	33	37	40	43	47	50


У результаті моделювання встановлено таке. За значень величини кута, на який здійснюватиметься підйом машини в процесі випробувань, не більших за  $15^\circ$ , відносна похибка вимірювання кута статичної стійкості не перевищуватиме 3% ( $30''$ ). Маса машини практично не впливає на величину похибки, оскільки під час її розрахунку враховується величина, на яку змінюється вага машини, а не її абсолютне значення.

Згідно із [3] відносна похибка вимірювання кута поперечної стійкості машини не повинна перевищувати 1%. Проте, враховуючи той фактор, що за запропонованим методом підйом борта машини здійснюється не до критичного кута, а на значно менший кут, абсолютні величини похибок є співставними.

## ВИСНОВКИ

Розроблений експериментально-аналітичний метод вимірювання кута поперечної стійкості машини, порівняно з наявними, має переваги. А саме, не потрібно використовувати платформенні стенди і не потрібно розраховувати координати центра мас машини, відповідно зменшується похибка непрямих вимірювань. Величина абсолютної похибки вимірювання кута поперечної стійкості є співставною з величиною похибки, заданою в наявних нормативних документах. Розроблений метод можна застосовувати в процесі проведення наукових досліджень, за прискореного оцінювання якості машини (фокустестом) і під час проведення випробувань з метою підтвердження відповідності вимогам.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Техническая диагностика тракторов и зерноуборочных комбайнов / Под общ. ред. В. М. Михлина. — М.: Колос (Technical diagnostics of tractors and combine harvesters / edited by V. M. Mihlin. — М.: Kolos), 1978. — 287 с/р.
2. Технічний регламент щодо складових частин і характеристик колісних сільськогосподарських та лісгосподарських тракторів. — Затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 28 грудня 2011 р. № 1368 (Parts and characteristics of wheeled agricultural and forestry tractors: Technical Regulation. — Approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine of 28 December 2011. Number 1368). Режим доступу [http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1368-2011-п].
3. Система стандартов безопасности труда. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности: ГОСТ 12.2.002-86. — [Дата введения 01.07.87]. — М.: ИПК Издательство стандартов, (Межгосударственный стандарт) (Occupational safety standards system. Agricultural tractors and powered machines. General safety requirements: GOST 12.2.002-86. - [Date of introduction 07.01.87]. — Moscow: IPC Publishing house of standards, (Interstate standard)), 2003. — 18 с/р.
4. Таркиевский В.Е. Стенд для определения угла поперечной статической устойчивости агрегата // В.Е. Таркиевский, Н.А. Лапшин // Техника и оборудование для села: информационный и научно-производственный журнал (Tarkievsky V. E. Stand for determination of the angle of the transverse static stability of the aggregate // V. E. Tarkievsky, N. A. Lapshin // Engineering and equipment for the village: information and scientific and industrial journal). — 2011. — № 11 (173). — С/Р. 26–27.
5. Лапшин Н. А. Обзор методов и средств определения поперечной статической устойчивости / Лапшин Н.А., Дьяченко Р. А. // II Международная научно-практическая конференция молодых ученых, посвященная 51-й годовщине полета Ю. А. Гагарина в космос, филиала Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил. «Военно-воздушная академия им. Профессора Н. Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 12 апреля 2012 г.: сборник научных статей. — Краснодар (Lapshin N.A. Review of methods and tools for determining transverse static stability / Lapshin N.A., Dyachenko R.A. // II International Scientific and Practical Conference of Young Scientists dedicated to the 51st anniversary of Yu. A. Gagarin's flight into space The Military Air Force Training and Research Center of the Air Force Academy of Air Force. Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin, April 12, 2012: a collection of scientific articles. — Krasnodar), 2012. — С/Р. 236–240.
6. Таркиевский В.Е. Конструкция мобильного стенда для определения угла поперечной статической устойчивости агрегатов / Таркиевский В.Е., Лапшин Н.А. // Техника и оборудование для села (Tarkivsky V.E. Construction of a mobile stand for determining the angle of transverse static stability of aggregates / Tarkivsky V.E., Lapshin N.A. // Engineering and equipment for the village). — 2012. — № 5. — С/Р. 22–23.
7. Подригало М.А. Экспериментально-аналитический метод вимірювання кута поперечної статичної стійкості колісних машин / Коробко А.І., Подригало М.А., Назарько О.О., Радченко Ю.А. // Перспективні технології та прилади. Збірник наукових праць (Podrigalo M.A. Method of measuring angle of lateral static stability experimental and analytical of wheeled vehicle / Podrigalo M.A., Korobko A.I., Nazarko O.O., Radchenko Yu.A. // Perspective technologies and devices. Collected scientific papers). — Луцьк: Луцький НТУ. — 2016. — № 9 (2). — С/Р. 49–52.
8. Щиголов Б.М. Математическая обработка наблюдений. Издание 2-е. Стереотипное / Щиголов Б.М. — М.: Государственное издательство физико-математической литературы (Shchigolev B. M. Mathematical processing of observations. Edition 2. Stereotype / Shchigolev B.M. — М.: State Publishing House of Physical and Mathematical Literature), 1962. — 344 с/р. 

Отримано / received: 07.06.2017.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. М.П. Артьомовим (Україна).  
Prof. M.P. Artyomov, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.

УДК 629.7

# ВПЛИВ ПОХИБОК ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ АТМОСФЕРИ НА ШВИДКІСТЬ ПРИЗЕМЛЕННЯ ОБ'ЄКТА, ЯКИЙ ДЕСАНТУЄТЬСЯ

**Ю. Адамов**, старший науковий співробітник,

**О. Дяченко**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
Одеська державна академія технічного регулювання та якості,

**В. Завальнюк**, кандидат фізико-математичних наук, доцент,  
Військова академія, м. Одеса

*Розглянуто залежність швидкості приземлення об'єкта від похибок в оцінці температури повітря та атмосферного тиску за визначення необхідної довжини щупів парашутно-реактивної системи.*

*The influence of the atmospheric state (air temperature, pressure, humidity and vertical air flow velocity) on the performance of parachute-retrorocket system 915 (PRS-915), used for vehicle airdropping operations, is studied. Particular emphasis is placed on the effect of atmospheric state determination errors on the vehicle vertical landing velocity. It is shown that the account of these errors is important for setting the PRS' ground seeking probes to the appropriate length and provides the basis for an additional improvement of safety and efficiency of the vehicle airdrop missions using PRS-915 [1—4].*

*The optimal altitude of retrorocket ignition depends on the weight and descent velocity of the load, and the retrorocket engine thrust. The descent terminal velocity is determined by the geometrical*

*parameters of parachute and the weight of vehicle, air density and vertical air flow velocity (1), (2).*

*The probes' length required for the soft landing is usually determined on the basis of prediction of atmospheric state in the mission region. The errors of such a prediction may lead to substantial difference between the predicted and actual landing speed and, as a result, to hard landing of the object (4), (5).*

*As a result, the development of new methods of retrorocket engine launching at optimal altitude, which eliminate the need for advance prediction of the atmospheric state, is extremely actual for reliability and safety improvement of parachute-retrorocket systems.*

*The situation is essentially aggravated by the presence of other possible errors or strong vertical air flows.*

**Ключові слова:** парашутно-реактивна система, термінальна швидкість зниження, швидкість зниження, атмосферний тиск.

**Keywords:** parachute-retrorocket system, terminal velocity of landing, landing velocity, atmospheric pressure.

**Д**есантування важких об'єктів з літаків пов'язано з необхідністю доставлення їх у район застосування за призначенням у найкоротші терміни. Певні напрями з цих питань висвітлюється у публікаціях, в матеріалах раціоналізаторської та винахідницької роботи [1—3] тощо. При цьому започатковуються нові напрями розвитку засобів десантування.

На сьогодні найбільшу швидкість, надійність та точність приземлення об'єктів, які десантуються, забезпечують парашутно-реактивні системи (ПРС). Для своєчасного запалення порохового заряду реактивного двигуна ПРС особливо важливим є питання визначення та установа необхідної довжини її щупів [4].

Наявний варіант ПРС комплектується (зазвичай) двома щупами, що ініціюють запуск гальмівної системи у момент механічного контакту з поверхнею землі (або іншою перешкодою). Довжина щупів виставляється перед десантуванням



Ю. Адамов



О. Дяченко



В. Завальнюк

з урахуванням як маси об'єкта, так і температурних умов, за яких відбувається його десантування: температури атмосферного повітря та температури пороку реактивної гальмівної системи. Основними недоліками такої системи є неможливість точного передбачення температури повітря в точці десантування, неможливість урахування наявності та потужності висхідних потоків повітря, висока ймовірність похибки у визначенні повної маси об'єктів перед десантуванням та інші, в тому числі й необхідність заміни щупів після десантування [4].

Проблема визначення необхідної довжини щупів ПРС розглядається у навчальних посібниках із питань забезпечення десантування важкої повітряно-десантної техніки та в останніх публікаціях із визначення впливу похибок на швидкість приземлення об'єкта [5—8].

Актуальність питання розвитку засобів десантування спеціальної техніки і вантажів, спонукає до продовження роботи у цьому напрямку з метою підвищення надійності, точності та безпечності десантування. Певні напрацювання з цих питань висвітлюються у публікаціях [4, 6, 7].

Останні досягнення техніки та висвітлені в наукових роботах недоліки наявного механізму ввімкнення гальмівної реактивної системи роблять актуальною задачу подальшого удосконалення засобів десантування та пошуку нових напрямів їх розвитку.

*Мета (задача) цієї роботи* — подальший аналіз наявної методики визначення необхідної довжини щупів парашутно-реактивної системи ПРСМ-915 та пошук шляхів розроблення безконтактної системи запуску двигунів ПРС з автоматичним коригуванням висоти їх спрацювання.

У попередніх дослідженнях з'ясовано, що чинна методика визначення необхідної довжини щупів не дозволяє врахувати реальні помилки визначення різниці температур порохового заряду і повітря у районі десантування, визначення дійсної маси техніки, яка десантується, та інші фактори, які у підсумку визначають її реальну швидкість зниження. Одночасне виникнення декількох із зазначених помилок призводить до аварій під час приземлення та виходу техніки з ладу [4].

## ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

### 1. Швидкість зниження та основні чинники, що на неї впливають

Термінальна швидкість зниження (максимальна швидкість тіла, що рухається у повітряному середовищі під дією сталої сили) визначається балансом сили тяжіння та сил опору повітря  $F_T = F_{on}$ .

Залежність сили опору повітря від швидкості руху відносно повітря визначається виразом:

$$F_{on}(v) = \beta v^2,$$

де  $\beta$  — коефіцієнт опору повітря, а  $v$  — швидкість спуску (відносно повітря). Відповідно, термінальну швидкість зниження тіла маси  $m$  можна визначити за формулою ( $g$  — прискорення вільного падіння):

$$v = \sqrt{mg/\beta}. \quad (1)$$

Коефіцієнт опору  $\beta$  залежить від геометричних параметрів парашута  $\Omega$  та машини  $\Theta$ , що десантується, а також від щільності повітря  $\rho$ :

$$\beta = (\Omega + \Theta)\rho/2. \quad (2)$$

Опір, створюваний корисним навантаженням, є на порядок меншим від опору, створюваного парашутом, проте продовжує впливати на рух об'єкта (хоча й дуже слабо) навіть після увімкнення реактивної гальмівної системи (коли парашут перестає впливати на подальший рух машини).

Щільність сухого повітря є обернено пропорційною до його температури та визначається із рівняння стану ідеального газу:

$$\rho_c = p/R_{sp}T, \quad (3)$$

де  $R_{sp} = 287,058$  Дж/(кг·К) — індивідуальна газова стала для повітря,  $T$  — температура повітря в абсолютній шкалі температур,  $p$  — атмосферний тиск.

У випадку вологого повітря його густина визначається емпіричною формулою [9]:

$$\rho = 1,2929 \cdot \frac{273,15}{T} \cdot \frac{p - 0,3783 p v}{1,013 \times 10^5},$$

де  $p v = 610,7 \times 10^{\frac{7,5(T-273,15)}{T-35,85}}$  — тиск насиченої водяної пари за температури  $T$  [10].

Поєднуючи дві попередні формули, отримуємо вираз для густини повітря за температури  $T$  та відносної вологості  $x$  (у %)

$$\rho = \frac{p - 2,31028 \times 10^{\frac{7,5 \cdot \frac{T-273,15}{T-35,85}}{x}}}{286,84 T}.$$

Варто відзначити, що наявність вологи у повітрі призводить до зменшення його щільності та, відповідно, до збільшення термінальної швидкості спуску. Проте цей вплив стає відчутним лише за високих температур та близької до 100% відносної вологості. Так, за температури 30 °C 100% відносна вологість повітря призводить до зміни термінальної швидкості приблизно на 1% (тобто близько 20 см/с).

Окрім щільності повітря, сильний вплив на термінальну швидкість зниження має наявність вертикальних потоків повітряних мас та їх швидкість. Створюваний повітрям опір залежить саме від швидкості руху об'єкта відносно повітряних мас, а не від швидкості зниження відносно поверхні Землі.

Відповідно, наведені вище формули для швидкості зниження в дійсності дають значення швидкості саме відносно повітряних мас. У разі висхідних повітряних потоків швидкості руху парашута відносно землі та повітря додаються, що призводить до зростання сили опору та зменшення швидкості зниження відносно землі. Проте, за потрапляння у сферу упорядкованого руху повітря вниз швидкість руху парашута відносно повітря стає меншою від швидкості зниження, що призводить до зростання останньої.

Найбільш важливими в процесі десантування є вертикальні потоки термічної природи, які виникають внаслідок нагрівання шарів повітря, розташованих безпосередньо близько землі. Нагрівання газу за сталого тиску призводить до зменшення його густини та подальшого конвекційного виштовхування вгору більш холодним газом, розташованим у верхніх шарах атмосфери.

Типові швидкості вертикальних потоків термічної природи коливаються поблизу 1 м/с, проте опівдні сонячного дня можуть сягати (3—4) м/с [11]. Радіус термальних колон (стовпів повітря, в яких відбувається впорядкований рух нагрітого повітря вгору, а навколо яких — холодного повітря — вниз) становить близько 1 км, а їх висота сягає рівня нижніх купчастих хмар ((1000—2000) км) [11], тобто повністю покриває стандартні висоти десантування техніки. Окрім того, внаслідок відносно малого радіуса термальних колон та відносно високої швидкості руху літака, ймовірними є ситуації, за яких у точках десантування різних одиниць техніки стан вертикально руху атмосферного повітря істотно відрізняється.

Треба зазначити, що різниця між температурами теплого повітря, що підіймається, та холодного повітря, що опускається, як правило, становить близько 2 °С, призводячи до деякої компенсації ефекту зміни швидкості зниження (більш холодне повітря має більшу густину, тобто створює більший опір руху), проте її величина є значно меншою (близько 10 см/с за швидкості руху 20 м/с) від зміни швидкості внаслідок самого вертикального руху повітря.

У найпростішому наближенні вплив чинників, пов'язаних із похибками визначення температури та тиску на швидкість приземлення, можна представити у виді:

$$v_n = v_{n,0} + \Delta v_{T,зар} + \Delta v_{T,пов} + \Delta v_{p,пов}$$

де  $\Delta v_{T,зар}$ ,  $\Delta v_{T,пов}$ ,  $\Delta v_{p,пов}$  — поправки до швидкості приземлення внаслідок похибок у визначенні температури порохового заряду, температури повітря та атмосферного тиску відповідно;  $v_{n,0}$  — очікуване значення швидкості приземлення машини внаслідок похибок у визначенні польотної маси та ін-

ших, проте за відсутності похибок у визначенні температур та тиску.

## 2. Вплив похибок у визначенні стану атмосфери на швидкості зниження та приземлення

Зміна термінальної швидкості польоту внаслідок зміни температури повітря або атмосферного тиску істотно впливає на процес уповільнення: зростання швидкості зниження призводить до збільшення кінетичної енергії, яку необхідно погасити під час гальмування, та зменшення наявного для гальмування часу (вважаючи висоту увімкнення реактивної гальмівної системи незмінною).

Відхилення реальної польотної маси машини від розрахункової також призводить до зміни оптимальної висоти увімкнення гальмівної системи — в іншому випадку зміниться швидкість приземлення машини  $v_n$ .

У роботі [4] отримано вираз для визначення швидкості приземлення внаслідок зміни термінальної швидкості польоту з  $v_0$  на  $v$  за фіксованої висоти  $h_0$  увімкнення порохової системи, що є оптимальною для швидкості  $v_0$  та оціночної повної польотної маси машини з парашутною системою  $m_0$  ( $m_{пар}$  — маса парашутної системи,  $m$  — реальна польотна маса системи):

$$v_n = \sqrt{2h_0g(1-\delta) + v^2 - (v_0^2 - v_{n,0}^2)\delta}, \quad \delta = \frac{m_0 - m_{пар}}{m - m_{пар}}. \quad (4)$$

Якщо зміна польотної швидкості зумовлена не зміною маси машини, а зміною стану атмосфери, то у формулі (4) можна покласти  $m = m_0$ , що призводить до її істотного спрощення:

$$v_n = \sqrt{v_{n,0}^2 + v^2 - v_0^2}. \quad (5)$$

Звернемо увагу, що обчислена за формулою (5) швидкість приземлення приймає дійсні значення лише у випадку  $v^2 > v_0^2 - v_{n,0}^2$  та зростає зі збільшенням швидкості парашутного спуску об'єкта  $v$ .

У випадку  $v^2 < v_0^2 - v_{n,0}^2$  швидкість об'єкта може зрівнятися з нулем ще до моменту приземлення. Після цього, припускаючи тягу порохової системи сталою, реактивна система дещо підійме машину вгору і, після повного вичерпання порохового заряду, машина вільно впаде на землю зі швидкістю приземлення, залежною від висоти над землею та вертикальної швидкості у момент вимкнення порохової системи. Проте, в реальності процес згоряння пороху не є рівномірним, тому тяга реактивної системи, ближче до її вимкнення, не дорівнюватиме її максимальній тязі, й суттєвий підйом машини вгору не є ймовірним. Для точного аналізу такого випадку

необхідне знання (хоча б приблизне) залежності тяги конкретної порохової реактивної системи від часу з моменту її увімкнення, що виходить за рамки цієї роботи.

Розглянемо більш детально перший із зазначених варіантів:  $v^2 > v_0^2 - v_{n,0}^2$ .

По-перше визначимо вплив конвекційних потоків. Припустимо, що зниження відбувається у стовпі повітря, що рухається вниз зі швидкістю  $v_{air} = 0,5$  м/с (несприятливі умови). Тоді, з формули (5) випливає:

$$v_n = \sqrt{v_{n,0}^2 + (v_0 + v_{air})^2 - v_0^2} \approx \sqrt{v_{n,0}^2 + 2v_0 v_{air}}$$

У випадку  $v_{n,0} = 0$  м/с,  $v_0 = 20$  м/с реальна швидкість приземлення становитиме  $v_n \approx \sqrt{2v_0 v_{air}} \approx 4.5$  м/с, тобто майже сягатиме максимально допустимого значення (і то за умови відсутності будь-яких інших похибок).

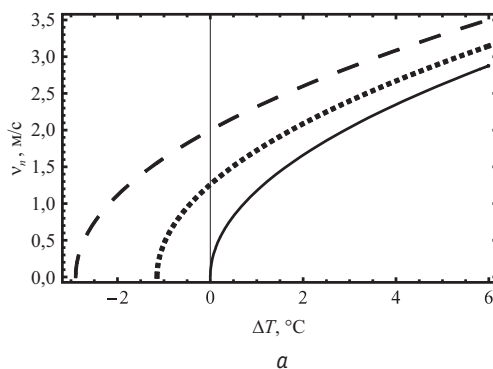
З іншого боку, підставляючи у формулу (5) вирази для  $v_0$  та  $v$  через параметри стану атмосфери (тиск та температуру) та параметри парашутної системи (формули (1)–(3)), маємо:

$$v = \sqrt{2gR_{sp} \frac{m}{(\Omega + \Theta)} \cdot \frac{T}{p}}, v_0 = \sqrt{2gR_{sp} \frac{m}{(\Omega + \Theta)} \cdot \frac{T_0}{p_0}} \quad (6)$$

де  $2gR_{sp} = 2 \cdot 9,81 \cdot 287,058 \approx 5632$  — стала;  $m/(\Omega + \Theta)$  — множник, що повністю визначається параметрами об'єкта та парашутної системи;  $T$  та  $p$  — температура повітря та атмосферний тиск у місці десантування, які є основними параметрами, що визначають вплив стану атмосфери.

З урахуванням формул (6), вираз (5) набуває виду (рис. 1):

$$v_n = \sqrt{v_{n,0}^2 + \frac{2mgR_{sp}}{\Omega + \Theta} \left( \frac{T}{p} - \frac{T_0}{p_0} \right)} = \sqrt{v_{n,0}^2 + v_0^2 \left( \frac{T}{T_0} \cdot \frac{p_0}{p} - 1 \right)} \quad (7)$$



Якщо припустити, що значення висоти  $h_0$  увімкнення порохової гальмівної системи підбрано ідеально, відповідно до прогнозованих параметрів атмосфери та польотної маси системи, то доданок  $v_{n,0}$  (очікувану швидкість приземлення) можна уважати рівним нулю — м'яке приземлення. Тоді формула (7) спрощується:

$$v_n = v_0 \sqrt{T/p \times p_0/T_0 - 1} \quad (8)$$

або

$$v_n \approx 75 \sqrt{m/(\Omega + \Theta)} \sqrt{T/p - T_0/p_0}$$

Вираз (8) можна звести до більш зручного виду з урахуванням того, що зміни атмосферного тиску зазвичай не перевищують кількох міліметрів ртутного стовпчика за його абсолютного значення приблизно 760 мм. рт. ст., тобто, не перевищують 1% від абсолютного значення. Похибка у визначенні локальної температури повітря в місці десантування може становити декілька градусів за абсолютного значення в інтервалі від  $-15$  до  $+30$  °C залежно від пори року, тобто також становить близько одного відсотка. Проте, зміна тиску зазвичай є значно більш повільною, ніж зміна температури, тому, як правило, відповідна похибка повинна бути меншою. З урахуванням зазначеного, формулу (8) можна перетворити у такий спосіб без втрати її точності:

$$v_n = v_0 \sqrt{\frac{T_0 + \Delta T}{T_0} \cdot \frac{p_0}{p_0 + \Delta p} - 1} \approx v_0 \sqrt{\left(1 + \frac{\Delta T}{T_0}\right) \left(1 - \frac{\Delta p}{p_0}\right) - 1}$$

$$v_n \approx v_0 \sqrt{\frac{\Delta T}{T_0} - \frac{\Delta p}{p_0} - \frac{\Delta T}{T_0} \cdot \frac{\Delta p}{p_0}} \approx v_0 \sqrt{\frac{\Delta T}{T_0} - \frac{\Delta p}{p_0}} \quad (9)$$

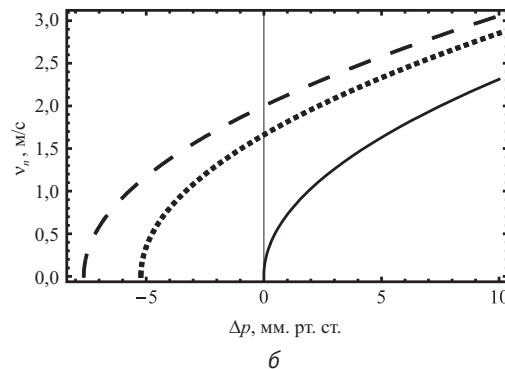


Рис. 1. Залежності швидкості приземлення від похибки в оцінці температури (а) та тиску (б), побудовані із застосуванням формули (7) за нормального атмосферного тиску та  $T = 17^\circ\text{C}$ ,  $P = 750$  мм.рт.ст.

Суцільні лінії відповідають відсутності будь-яких інших похибок; штрихові лінії — за значення розрахункової швидкості приземлення  $v_{n,0} = 2$  м/с внаслідок наявності будь-яких інших похибок (наприклад, у визначенні маси); точкові лінії — розрахункової швидкості приземлення  $v_{n,0} = 0$  м/с, проте наявні додаткові похибка визначення тиску  $\Delta p = -3$  мм. рт. ст. (а) та похибка визначення температури  $\Delta T = +2^\circ\text{C}$  (б).

Fig. 1. Dependences of the speed of landing on the error in the evaluation of temperature (a) and pressure (b), constructed using the formula (7) at normal atmospheric pressure and  $T = 17^\circ\text{C}$ ,  $P = 750$  mm Hg

де враховано, що добуток двох малих величин є малою величиною більшого порядку малості, яким можна знехтувати.

У випадку  $v_{n,0} > 0$  із (7) з урахуванням (9) впливає:

$$v_n = \sqrt{v_{n,0}^2 + v_0^2 (\Delta T/T_0 - \Delta p/p_0)}. \quad (10)$$

Наприклад, похибка у визначенні тиску склала  $\Delta p = +2$  мм рт. ст. (мається на увазі, що реальний тиск виявився на 2 мм рт. ст. вищим за прогнозований, тобто  $p > p_0$ ), а похибка у визначенні температури склала  $\Delta T = +3$  °C за очікуваної температури повітря  $T_0 = 17$  °C ( $T > T_0$ ). Тоді

$$v_n \approx 0,088v_0,$$

тобто, за значення прогнозованої термінальної швидкості зниження  $v_0 \approx 20$  м/с та очікуваної швидкості приземлення  $v_{n,0} = 0$  м/с, реальна швидкість приземлення становитиме  $v_n \approx 1,8$  м/с.

У випадку тієї ж самої похибки в оціненні температури  $\Delta T = +3$  °C (за  $T_0 = 17$  °C), проте завищеній оцінці атмосферного тиску та, відповідно,  $\Delta p = -2$  мм рт. ст. (тобто  $p < p_0$ ), матимемо:

$$v_n \approx 0,114v_0$$

та  $v_n \approx 2,3$  м/с (за умови  $v_0 \approx 20$  м/с,  $v_{n,0} = 0$  м/с).

За наявності будь-яких інших похибок під час обчислення висоти  $h_0$  увімкнення порохової гальмівної системи (довжин щупів), очікувана швидкість приземлення  $v_{n,0}$  відмінна від нуля. Відповідно, реальна швидкість приземлення опиниться ще більшою, ніж у наведених вище прикладах.

Припустимо, для прикладу,  $v_{n,0} = 2$  м/с (що добре потрапляє в дозволений діапазон швидкостей приземлення) внаслідок наявності похибок визначення польотної маси машини та температури порохового заряду, проте до цих похибок додалися також і похибки прогнозування температури та тиску повітря у сфері десантування, вказані у попередньому прикладі. Тоді  $v_n \approx 3$  м/с.

Аналогічно, для  $v_{n,0} = 5$  м/с, близької до верхньої межі рекомендованих швидкостей приземлення, маємо (рис. 2):  $v_n \approx 5,5$  м/с.

Зазначимо, що результат приземлення залежить як від власне швидкості руху в момент контакту з землею (впливає на час зіткнення, тобто на сили та перевантаження, що діють на окремі частини підвіски та корпусу бойової машини), так і від кінетичної енергії в момент перед приземленням (пропорційної квадрату швидкості зниження), яка повинна бути повністю поглинена ресорами підвіски. Так, здавалося б незначне (10%) зростання швидкості приземлення від 5 до 5,5 м/с (що призводить до пропорційного, 10%, зменшення часу зіткнення та зростання навантажень на елементи конструкції)

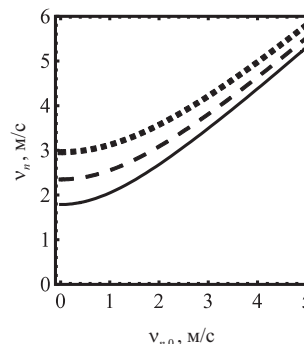


Рис. 2. Залежність реальної швидкості приземлення від розрахункової швидкості приземлення за нормального атмосферного тиску та  $T = 17$  °C за наявності додаткових похибок:

- за визначення тиску (суцільна лінія,  $\Delta p = -6$  мм. рт. ст.);
- за визначення температури (штрихова лінія,  $\Delta T = +4$  °C);
- за обох вказаних похибок одночасно (точкова лінія)

Fig. 2. The dependence of the actual landing speed on the estimated landing speed at normal atmospheric pressure and  $T = 17$  °C in the presence of additional errors

супроводжується вже 21% збільшенням кінетичної енергії машини.

Можна побачити, що внесок похибок, пов'язаних із визначенням температури та тиску повітря, може бути навіть більшим за внески від інших похибок. У рамках наведених вище прикладів ці додаткові похибки (взяті відносно малими) не призводили до фатального збільшення швидкості приземлення, проте цілком можуть до них призвести за більших значень  $\Delta T$ , більших за абсолютною величиною за від'ємні  $\Delta p$ , й, особливо, у разі наявності інших можливих похибок (визначення маси машини, виставлення довжини щупів, оцінення швидкості згорання порошу) та неврахованих параметрів (наявності відчутного вертикального руху повітря у сфері десантування).

## ЗАКЛЮЧНА ЧАСТИНА

► Похибка у визначенні температури дає більший внесок у зміну термінальної швидкості зниження та швидкості приземлення ніж похибка у визначенні тиску. За низьких значень температури (взмику) внесок можливих похибок є відчутнішим;

► збільшення температури за одночасного зменшення атмосферного тиску (відносно прогнозованих значень) призводять до відчутного зростання термінальної швидкості зниження;

► зменшення температури за одночасного збільшення тиску призводять до відчутного зменшення термінальної швидкості зниження та, відповідно, до передчасного увімкнення гальмівної системи,



що, в свою чергу, може знову призвести до збільшення швидкості приземлення відносно її ідеального значення;

► одночасні збільшення (або зменшення) температури та тиску компенсують один одного та призводять до дуже малих змін у швидкості зниження та, відповідно, швидкості приземлення;

► за малих очікуваних швидкостей приземлення похибки, пов'язані з визначенням температури та тиску повітря в місці десантування, призводять до помітного, але не критичного, збільшення швидкості приземлення (на (1—3) м/с), проте за відносно великих очікуваних швидкостей приземлення (близько верхньої границі рекомендованого діапазону  $\approx 5$  м/с) наявність розглянутих похибок призводить до додаткового збільшення швидкості приземлення на приблизно (0,5–1) м/с, виводячи реальну швидкість приземлення за межі рекомендованого діапазону;

► абсолютне збільшення кінетичної енергії машини в момент приземлення (відносно її оптимального значення) внаслідок наявності розглянутих похибок є істотним та незалежним від наявності інших похибок.

З урахуванням проведеного вище аналізу впливу стану атмосфери в районі десантування та ймовірних похибок його визначення на швидкість приземлення важкої десантної техніки, можна зробити такі **висновки**:

1. Для забезпечення надійного та безпечного приземлення техніки за умов можливих похибок у визначенні стану атмосфери у районі десантування необхідно коригувати висоту запуску реактивних двигунів ПРС залежно від актуального значення термінальної швидкості.

2. Наявні ПРС та методика визначення довжини механічних висотомірів-щупів через їх фіксовану установку в районі завантаження у літак не можуть забезпечити оперативне коригування висоти запуску реактивних двигунів відповідно до дійсного значення термінальної швидкості.

3. Одним із можливих шляхів удосконалення сучасних однокупольних парашутно-реактивних систем (ПРС) десантування військових машин є заміна механізму увімкнення гальмівної реактивної системи (механічних висотомірів-щупів) на прилади безконтактного визначення моменту запуску двигунів ПРС.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Куянов О.Ю., Александров В.Е. Основные направления развития средств десантирования озброєння та військової техніки // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України (Куянов О.Ю., Alexandrov V.E. The main ways of development of means of arms and military equipment landing // Science and technics of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine). 2010. — №1 (1) — С/Р. 49—54.
2. Дмитрієв В.А. Методи випробувань парашутних систем для повітряного десантування // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України (Dmitriev V.A. The ways of parachute system tests for air landing. Science and technics of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine). 2013. — №1(3) — С/Р. 41—43.
3. Автономна дистанційно керована транспортна модульна платформа супроводження повітряного десанту. Патент № 111571 від 10.05.2016 (Autonomous distance and directed, transport and module platform of air landing convoy. Patent №111571, 10.05.2016).
4. Адамов Ю.І., Дяченко О.Ф., Завальнюк В.В. Визначення впливу похибок на швидкість приземлення об'єкту, який десантується за допомогою парашутно — реактивної системи при розрахунках реальної маси // Збірник наукових праць (Adamov Y.I., Dyachenko O.F., Zavalniuk V.V. The determination of errors influence on the speed of landing objects by parachute and reactive systems calculating its real mass // Science works). — 2016. — №1(5) — С/Р. 83—90.
5. Соломатин І.І., Арабин М.В. Учебное пособие по тяжёлой воздушно-десантной технике / Под общ. ред. Гуськова Н.Н. Часть 5. Управление командующего ВДВ. — М.: Воениздат (Solomatin I.I., Arabin M.V. Tutorials of heavy airborne equipment/ by Guskov N.N. Part 5. The control of the Airborne troops Commander. — М.: Voениzdat), — 1980 — 152 с/р.
6. Соломатин І.І., Арабин М.В. Учебное пособие по тяжёлой воздушно-десантной технике / Под общ. ред. Лисова И.И. Часть третья. Управление командующего ВДВ. — М.: Воениздат (Solomatin I.I., Arabin M.V. Tutorials of heavy airborne equipment/ by Lisova I.I. Part 3. The control of the Airborne troops Commander. — М.: Voениzdat), — 1967. — 168 с/р.
7. Иванов П.И., Ситайло М.В., Иванов Р.П. Методы уменьшения минимально безопасной высоты применения (десантирования) парашютных систем // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України (Ivanov P.I., Sytaylor M.V., Ivanov R.P. The ways of decreasing of minimum secure altitude of parachute system landing // Science and technics of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine). — 2013. — №4 (13) — С/Р. 40—45.
8. Иванов П.И., Летные испытания парашютных систем: монография // Феодосия: ДНВЦ (Ivanov P.I., Flight tests of parachute systems: monograph// Feodosiya: DNVС). — 2001 — 332 с/р. — ISBN 966-7832-09-0.
9. Haynes W.M. (Ed.). Handbook of Chemistry and Physics: A Ready-Reference Book of Chemical and Physical Data. 97th edition // CRC Press Inc.; Boca Raton, Florida, USA, 2016. — 2652 pp.
10. Monteith J.L., Unsworth M.H. Principles of environmental physics // Edward Arnold Publishers Ltd; London, 1990. — 290 pp.
11. Грищенко Н.А., Кобелев И.А., Поляк В.Ю. Курс метеорологии и аэронавигации // ОНТИ НКТП СССР (Hryshchenko N.A., Kobelev I.A., Polyak V.Y. The course of meteorology and aero navigation // ONTI NKTP USSR), 1938. 📄

Отримано / received: 12.06.2017.

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

УДК 303.21

# ЗМІНА ПАРАДИГМИ МЕТРОЛОГІЇ

**В. Чалий**, кандидат технічних наук, головний науковий співробітник,  
Державне підприємство «Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних і управляючих систем»  
(ДП НДІ «Система»), м. Львів,

**О. Чала**, кандидат економічних наук, доцент,  
Харківський національний університет радіоелектроніки

*У результаті короткого ретроспективного аналізу сучасного стану метрології з урахуванням характерних особливостей вимірювання, місця і ролі метрології у системі наук та їх взаємного впливу показано, що перехід від концепції істинного значення до концепції невизначеності (непевності) цілком вкладається у схему теорії наукових революцій. Концепція істинного значення формувалася за умов уявлень стосовно навколишнього світу, які суттєво відрізнялися від нинішніх. Нові відкриття у фізиці, математиці, кібернетиці, інших науках радикально змінили сучасні світоглядні установки і призвели до формування нової парадигми метрології. Остаточно нова парадигма сформувалася на Заході у виді концепції GUM і прийшла на пострадянський простір якби ззовні, де нова «психологічна парадигма» ще не сформувалася остаточно. Це зумовило різке несприйняття концепції непевності у деяких спеціалістів.*

*As a result, of a short retrospective analysis of the current state of metrology in view of the characteristic features of the measurement, the place and role of metrology in the sciences and their mutual influence is shown that the transition from the true meaning concept to the GUM concept of completely fits into the scheme of the theory of scientific revolutions. The true value concept was formed under conditions of conceptions about the world that were significantly different from today's. New discoveries in physics, mathematics, cybernetics and other sciences have radically changed modern worldviews and led to the formation of a new metrology paradigm. The new paradigm took shape in the West in the form of the GUM concept, and came to the post-Soviet space, as it were from the outside, where a new «psychological paradigm» has not yet formed completely. This caused a sharp non-perception of the GUM concept in some experts.*

**Ключові слова:** метрологія, вимірювання, непевність вимірювання, похибка, парадигма, точність.  
**Keywords:** metrology, measurement, the uncertainty of measurement, error, paradigm, accuracy.

**К**онцепція невизначеності (непевності<sup>1</sup>) у вимірюванні [2, 3], яка прийшла на зміну концепції похибки, концепції істинного значення, і сьогодні, як і два десятиліття тому, сприймається у нас деякими метрологами неоднозначно. Наприклад, у черговій дискусії [4] автор вважає, що «введение нового понятия «неопределенность» вредно ..., так как окончательно запутывает стройную (!?) терминологию классической теории погрешностей», і пропонує «срочно переработать, исключить из употребления или скорректировать нормативные документы, где используется термин «неопределенность измерения». У [5] автор рішуче виступає проти розширення метрології на вимірювання нефізичних величин, на області економіки, соціальних наук тощо і оцінює це не як «крок у майбутнє», як стверджується у [5], а як «два кроки в минуле». Навряд чи таке несприйняття концепції непевності можна пояснити просто «лінивістю думки», «захистом честі мундиру» чи ідеологічними нашаруваннями. Причини ховаються, мабуть, набагато глибше і стосуються фундаментальних основ теорії вимірювання.



В. Чалий



О. Чала

<sup>1</sup> Термін «непевність» є синонімом до терміну «неопределенность», проте останній не відображає повністю сутності поняття і не зовсім вдалий з лінгвістичної точки зору [1].

Основні ідеї концепції непевності роз'яснено у першій частині документа *GUM* [6]. Але він, на наш погляд, не повністю охоплює всі особливості нового підходу. Наприклад, у ньому недостатньо пояснено суть складової непевності типу *B*, яка оцінюється, на відміну від непевності типу *A*, «іншими методами». Які це «інші методи»? За якою класифікаційною ознакою ці методи об'єднані в один — тип *B*? Залишається незрозумілим.

Тому, щоби об'єктивно оцінити ситуацію, яка склалася, дуже важливо розглянути проблему за всіма її аспектами.

### ХАРАКТЕРНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ

Складність поняття «вимірювання» полягає у його уявній простоті. Проте, насправді, вимірювання, — це складний, багатогранний і діалектично суперечливий процес кількісного оцінювання властивостей об'єктів реального світу [7]. Його, очевидно, потрібно розглядати, як мінімум, за трьома аспектами:

- як один із основних емпіричних способів пізнання властивостей об'єктів навколишнього світу;
- як технічну процедуру отримання і представлення вимірювальної інформації;
- як спосіб оцінки прагматичної інформації стосовно властивостей об'єктів, процесів, речовин з метою прийняття надійних рішень у практичній діяльності.

Необхідно також відзначити, що вимірювання — це процес антропометричний; без присутності людини (безпосередньої чи опосередкованої) вимірювання не має сенсу.

Вимірювання серед емпіричних методів пізнання, таких як спостереження, порівняння, рахунок, контроль й інші, посідає найважливіше місце і спільно з іншими засобами пізнання (науковими приладами, вимірювальними системами, а також науковими теоріями, моделями, знаковими системами тощо) є «інструментальним» блоком наукового методу. За допомогою вимірювання отримують цінну кількісну вимірювальну інформацію. Проте у структурі наукового методу фундаментальну роль відіграють ще два компоненти — це світоглядні установки (представлення) і нормативно-методологічні принципи [8]. Тому аналіз процесу вимірювання, мабуть, варто проводити із урахуванням цих особливостей вимірювання у комплексі з іншими компонентами наукового методу пізнання.

Метрологія як наука про вимірювання й їх використання посідає особливе місце серед інших наук,

таких як математика, фізика, філософія тощо, обслуговуючи кожну із них і тісно переплітаючись з ними. Науково-технічний прогрес, ті чи інші принципи зміни в цих науках призводять до відповідних змін у метрології — до змін в аксіоматиці, еволюції базових і появи нових понять і термінів.

### РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ

Розглянемо коротко (схематично) становлення і розвиток теорії вимірювання. Вивчення процесу вимірювання бере початок у Стародавній Греції [9]. І тоді вже відбувається поділ проблеми вимірювання на прикладну (у виді набору певних правил) і фундаментальну, яка стає у центрі уваги античної математики. Тобто наука про вимірювання розвивалася спочатку переважно як математична теорія і засновувалася на математичних абстракціях — у тому числі на можливості «абсолютно точного» порівняння двох величин.

Початок розвитку промислового виробництва і міжнародної торгівлі (приблизно з кінця 18-го століття), коли виникає гостра необхідність установа мнотності мір для різних величин, співпадає із зародженням точних наук, зі швидким розвитком фізики і техніки. У цей період розроблено систему одиниць фізичних величин і перші еталони. На перший план виходять прикладні фізичні задачі вимірювання. Зароджується нова сфера науки — метрологія, однією з центральних задач якої постає забезпечення єдності вимірювання. Наука про вимірювання в цей період розвивається переважно як прикладна фізична теорія.

Незалежно від фізичної теорії розвивалася математична теорія вимірювання, яка базувалася на математичному сприйнятті навколишнього світу. Були сформульовані аксіоми порівняння величин: тотожності, рангового порядку й адитивності, а також аксіома про «істинне значення».

Існує єдине, істинне значення вимірюваної величини, яке постійне, проте невідоме (знайти його неможливо). Вимірювана величина й одиниця вимірювання розглядаються також постійними. Відхилення результату вимірювання від істинного значення вважалось «прикрою» помилкою (похибкою), яка, звичайно, також детермінована. Вимірювальними є лише фізичні величини.

Оскільки істинне значення величини невідоме, то для визначення похибки було введено поняття «дійсного значення» вимірюваної величини, яке нібито «настільки близьке до істинного значення, що може використовуватися замість нього» (в який

спосіб устанавлюється ця «близькість» — питання риторичне). Дійсне значення — це фактично значення вимірюваної величини, відтворюване первинним еталоном, а точніше — це опорне значення ключового звірення первинних національних еталонів, проведених під егідою Міжнародного Комітету з Мір і Вагів.

Аксиома про існування істинного значення і можливість вимірити величину абсолютно точно передбачає, що вимірювані величини мають континуіальний характер і як елементарну міру (одиницю вимірювання) начебто можливо брати нескінченно малу величину, яка зберігає властивість усього об'єкта.

Проте, переконання в тому, що як елементарну міру можна взяти нескінченно малу величину, протирічить базовим положенням діалектики. За Гегелем [10], «буття ... включає в себе три ступені: якість, кількість і міру. Якість ... тотожна з буттям визначеності, так що дещо перестає бути тим, чим воно є, коли воно втрачає свою якість. Кількість є, навпаки, зовнішньою буттю, байдужою для нього визначеністю. Міра є єдністю перших двох — якісно визначеною кількістю. Всі речі мають свою міру, якісно визначену кількість ..., але тут існує межа, у разі порушення якої (за подальшого збільшення чи зменшення) речі перестають бути тим, чим вони були». Тобто, у такому випадку зменшення розміру елементарної міри для підвищення точності має межу [11], яка визначається, очевидно, властивостями реального світу. Перехід цієї межі і подальша дискретизація призводять до якісних змін. Вимірювана величина як така (тобто властивість явища, тіла чи речовини) втрачає свій сенс.

Для підвищення точності почали проводити багаторазові вимірювання і застосовувати, з часом, досконаліші вимірювальні прилади. Але результати вимірювання (за достатньої роздільної здатності приладів) кожного разу відрізнялися між собою. Поступово формувалася думка, що похибка є немінучою в процесі вимірювання. На практиці її почали розглядати як величину випадкову, як параметр розсіювання результатів вимірювання, що суперечило прийнятій аксіомі щодо постійності похибки як постійного відхилення від істинного значення.

Успіхи у розвитку науки і техніки в 20-му столітті, у першу чергу, у квантовій механіці призвели до «кризи» у фізиці й математиці. «Криза» у математиці була тісно пов'язана з методологічним базисом теорії вимірювання. На її подолання у математиці виник конструктивний напрям, за яким поняття актуальної безмежності довелось відкинути. У квантовій механіці було сформульовано принцип невизна-

ченості Гейзенберга, який устанавлював межі точності одночасного вимірювання пари спостережуваних, які характеризують систему, котрий записується через стандартні відхилення [12]:

$$\langle (x - x_0)^2 \rangle \langle (p - p_{x_0})^2 \rangle \geq \frac{h^2}{4},$$

де  $x, p$  — математичні сподівання координати й імпульсу частинки, відповідно;  $h$  — фундаментальна стала Планка; кутові дужки означають усереднення.

Принцип невизначеності Гейзенберга став квантово-механічною формою постулата щодо неминучості похибки за вимірювання [9].

«Кризи» у математиці й фізиці не могли не вплинути на розвиток теорії вимірювання, з якими вона тісно пов'язана.

Удосконалення засобів пізнання (вимірювальних приладів і вимірювальних систем, наукових теорій, нормативно-методологічних принципів) дозволило висунути і реалізувати у природознавстві Нового часу ідею стосовно можливості подолання приблизності в описанні природи шляхом створення «математизованої» онтології природи. Світом опановує ідея точності, й на зміну світу «приблизності» приходять світ прецизійності, — пише в «Нарисах історії філософської думки» А. Койре [13].

Вимірювання проникають у нові для традиційної метрології сфери, такі як охорона здоров'я, безпека, охорона довкілля, а також соціологія, економіка, психологія тощо. Почалося інтенсивне зближення прикладного і фундаментального напрямів у теорії вимірювання, які до того часу розвивалися окремо. Розробляються шкали вимірювання. Різко зростає число фізичних (хімічних, біологічних та інших) вимірюваних величин [14].

У 1999 році на Генеральній Конференції з Мір і Вагів схвалено думку, згідно з якою метрологія нині зачіпає майже всі сфери науки. Повільне, але неперервне розширення сфери діяльності у рамках Конвенції, яке продовжувалося понад сто років, перейшло нині у фазу широкого і значно швидшого розвитку.

Класичний підхід, заснований на концепції істинного значення вимірюваної величини, який почав формуватися майже два століття тому, уже не міг адекватно відповісти на нові виклики. Накопичувалися нові факти, істотні аномалії, котрі суперечили загальноприйнятим поняттям і базовим положенням класичної метрології. З'явилися нові конкуруючі теорії вимірювань (аксіоматична, інформаційна, алгоритмічна, репрезентативна, гарантувальний підхід тощо), і сформувався новий підхід до вимірювання — концепція GUM або концепція непевності [2, 3].

Концепція GUM (непевності) відрізняється від концепції істинного значення не лише своєю аксіоматикою, але й світоглядними установками і нормативно-методологічними принципами, що, в основному, й ускладнює, на наш погляд, її сприйняття.

За сучасними уявленнями фізичний світ описується законами квантової механіки. Лише у граничному випадку, коли постійна Планка наближається до нуля, квантова механіка переходить у класичну механіку Ньютона. Тобто, реальний світ структурований, має квантовий характер, на відміну від уявлення, яке має місце у класичному підході.

Із появою квантової теорії (і квантової механіки) Н. Бор запропонував на додаток до класичного способу описання явищ природи (КСО), який використовується у класичній фізиці, інший, названий концепцією додатковості. Концепція додатковості була необхідна для описання явищ, характерних для новітнього розвитку фізики, і могла б радикально вплинути на основні положення всієї метрології. Проте, в метрології було прийнято користуватися у подальшому КСО і прийняті основні постулати, визначення і наслідки, якими користуються у класичній фізиці, що ще більше віддалило класичний підхід від реальності.

На відміну від прийнятої у класичному підході аксіоми стосовно існування істинного значення вимірюваної величини і можливості вимірювати абсолютно точно без похибки, у концепції GUM прийнято постулат відносно того, що вимірити абсолютно точно без похибки неможливо, який узгоджується із базовими положеннями діалектики і підкріплений експериментально.

#### МЕТРОЛОГІЯ І ТЕОРІЯ НАУКОВИХ РЕВОЛЮЦІЙ

Метрологія, як і будь-яка наука, розвивається й удосконалюється, не стоїть на місці. Цікаво розглянути процеси, які відбуваються в метрології, з позиції загальної теорії розвитку науки. Розвиток науки відповідно до теорії наукових революцій [15] визначається зміною панівних парадигм і відбувається як зміна, в першу чергу, «психологічних парадигм» — поглядів на наукову проблему, які породжують нові гіпотези і теорії. Тобто, розвиток знань згідно з [15] визначається не простим сумуванням знань, і відбуваються не лише і не стільки кількісні, як якісні зміни у структурі наукових знань. І панівна парадигма переживає кризу. Протягом кризи випробовуються нові ідеї, які, можливо, не бралися до уваги чи навіть були відкинуті. У результаті формується нова парадигма, яка здобуває власних прихильників. Між прихильниками нової і прихильниками старої парадигми розпочинається інтелекту-

альна битва. Силою переконання найчастіше виступає час. Т.Кун з цього приводу цитує Макса Планка:

«Нова наукова істина не досягає тріумфу шляхом переконання своїх опонентів й їх прояснення, це скоріше відбувається тому, що її опоненти в кінці-кінців вимирають і виростає нове покоління, з нею знайоме».

Накопичення «аномальних» фактів, які не вписуються в наявну систему основних положень класичної метрології, поява конкуруювальних теорій вимірювання, обговорення фундаментальних положень, звернення до філософії — все це симптоми «кризи» у метрології [15]. Тобто, сучасний розвиток метрології повністю вкладається у класичну схему теорії наукових революцій. Перед нами у наявності цілком закономірний процес зміни парадигми метрології, свідками й учасниками якої ми з вами є [16].

Нова парадигма остаточно оформилася на Заході у виді концепції непевності й прийшла на пострадянський простір якби ззовні, де нова «психологічна парадигма» ще не сформувалася. Це зумовило різке несприйняття концепції непевності деякими спеціалістами. Висловлюючись образно, можна стверджувати, що сучасна метрологія міститься на трьох «ки-тах»: на непевності вимірювання; на метрологічній простежуваності результатів вимірювання до еталонів одиниць системи *SI*; на системі управління вимірюваннями (якістю) згідно з *ISO/IEC 10012* та *ISO/IEC 17025*.

Непевність вимірювання можна трактувати по-різному залежно від того, з якої точки зору розглядати саме вимірювання:

\* якщо вимірювання розглядають як технічну процедуру, то непевність — це параметр розсіювання результатів вимірювання;

\* якщо вимірювання вважається одним із основних емпіричних способів кількісного пізнання властивостей об'єктів навколишнього світу, то непевність — це залишкова кількість ентропії (незнання), яке залишилося після акту проведеного вимірювання;

\* якщо вимірювання — це спосіб оцінки прагматичної інформації стосовно властивостей об'єктів, процесів тощо з метою прийняття надійних рішень у практичній діяльності, то непевність — це кількісна оцінка невпевненості експериментатора (чи «споживача вимірюваної інформації») в отриманих результатах.

Простежуваність результату вимірювання до еталонів одиниць системи *SI* — це властивість результату вимірювання, за якого показання приладу порівнюють зі значенням величини, встановленої первинним

еталоном, шляхом неперервного документованого ланцюга калібрувань із урахуванням їх непевностей.

Система управління вимірюваннями (якістю) встановлює вимоги до компетентності лабораторій і кваліфікації їх персоналу, до процесів вимірювання і вимірювального обладнання з метою дотримання метрологічних вимог.

**ВИСНОВКИ**


Проведено ретроспективний аналіз сучасного стану метрології як науки про вимірювання й їх застосування із урахуванням специфічних особливостей вимірювання, ролі і місця метрології серед інших наук для в'яснення глибинних причин несприйняття концепції GUM деякими метрологами.

Показано, що вимірювання — це складний, багатогранний і діалектично суперечливий антропоморфний процес кількісного оцінювання властивостей об'єктів реального світу. Вимірювання можна розглядати у трьох аспектах: як спосіб кількісного пізнання властивостей об'єктів; як технічну процедуру; як спосіб оцінки прагматичної інфор-

мації з метою прийняття рішень у практичній діяльності.

Метрологія як наука про вимірювання й їх використання посідає особливе місце серед інших наук, обслуговуючи кожен із них і тісно переплітаючись із ними. Метрологія як один із головних компонентів у структурі наукового методу пізнання взаємопов'язана з двома іншими: світоглядними установками і нормативно-методологічними принципами. Система поглядів на світобудову в той історичний період, коли виникла концепція істинного значення, значно відрізнялася від сучасної. Досягнення у суміжних науках, відкриття у фізиці, космології й інших науках кардинально змінили сучасні світоглядні установки. Але це не знайшло свого часу адекватного відображення в метрології. У результаті накопичувалися нові суперечливі факти, «аномалії», почалася «криза» в метрології. Сформувалася нова парадигма, котра остаточно оформилася на Заході у виді концепції GUM. Тому, окрім гострої полеміки і гарячих дискусій, характерних для періоду «кризи» і формування нової парадигми, ситуація на пострадянському просторі ускладнилася ще й тим, що концепція GUM прийшла, якби ззовні.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES**

1. Чалий В. Похибка, невизначеність чи непевність у вимірюванні? / В. Чалий, С. Чалий // Метрологія та прилади (Chalyu V. Error, uncertainty or doubt in measurements? / V. Chalyu, S. Chalyu // Metrology and instruments). — 2008. — № 2 — С/Р. 3—9.
2. ISO/IEC Guide 98. Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995) (Частина 3: Настанови з подання непевності у вимірюванні).
3. International vocabulary of basic and general terms in metrology (VIM). (Міжнародний словник основних і загальних термінів у метрології). ISO, 1993.
4. Дискусія. Существует ли необходимость введения в метрологию нового термина [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу (Discussion. Is there a need to introduce a new term in metrology): www.khlop.in.ru/discuss.php.
5. Сулаберидзе В.Ш. О попытках аксиоматического изложения современной метрологии// Законодательная и прикладная метрология (Sulaberidze V. Sh. About attempts of an axiomatic exposition of modern metrology // The legislative and applied metrology), — 2015. — № 5. — С/Р. 31—39.
6. ISO/IEC Guide 98. Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement, ISO (Частина 1. Вступ до подання невизначеності у вимірюванні).
7. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно — измерительной техники. Киев. «Вища школа» (Ornatsky P.P. Theoretical foundations of information and measurement technology. Kiev. «Vyshcha school»). — 1983. — 455 с/р.
8. Свириденко В.М. Логико — гносиологический аспект проблемы точности измерения// Измерительная техника (Sviridenko V.M. Logic-gnosiological aspect of a problem of accuracy of measurement // The Measuring technics). — 1971, — № 5. С/Р. 6—8.
9. Стахов А.П. Введение в алгоритмическую теорию измерения. М., «Сов. Радио» (Stakhov A.P. Introduction to the algorithmic theory of measurement. M., «Sov. Radio»), — 1977, — 288 с/р.
10. Гегель. Энциклопедия философских наук. Т 1. Наука логики. — М.: «Мысль» (Hegel. Encyclopedia of Philosophical Sciences. T 1. The science of logic. — М.: «Thought»), — 1974. — 452 с/р.
11. Чалий В. Деякі філософсько-інтерпретаційні та прикладні аспекти концепції непевності у вимірюванні / В. Чалий // Метрологія та прилади (Chalyu V. Some philosophical interpretation and practical aspects of the concept of uncertainty in measurement / V. Chalyu // Metrology and instruments). — 2011. — №4. — С/Р. 3—10.
12. Білий М. У., Охрименко Б. А. Атомна фізика. — К.: Знання (Bilyu M.U., Okhrimenko B.A. Nuclear Physics. — Knowledge), — 2009. — 559 с/р.
13. Коуре А. Очерки истории философской мысли. О влиянии философских концепций на развитие научных теорий. — М. (Koуре A. Essays on the history of philosophical thought. On the influence of philosophical concepts on the development of scientific theories), — 1985. — 219 с/р.
14. Чалий В.П. Гносеологічні корені «кризи» в сучасній метрології на пострадянському просторі/ В.П. Чалий, С.Ф. Чалий // Системи обробки інформації. — Х.:ХУПС (Chalyu V.P. Epistemological roots of «Crisis» in modern metrology in the former soviet union / V.P. Chalyu, S.F. Chalyu // Systems of information processing. — Kharkiv: KhUAF). — 2015. — № 2 (127). — С/Р. 13—16.
15. Кун Т.С. Структура научных революций [Электронный ресурс]. — Режим доступа к ресурсу (Kun T.S. Structure of scientific revolutions [Electronic resource]). — Mode of access to the resource): (http://psylib.org.ru/books/kunts01/index/htm)
16. Чалый В. П. О смене парадигмы метрологии/ В.П. Чалый, О.В. Чала // Неопределенность измерений: научные, законодательные, методические и прикладные аспекты (UM-2016): XIII международный научно-технический семинар. Минск (Chalyu V.P. Shift of the metrology Paradigm / V.P. Chalyu, O.V. Chala // Uncertainty of dimensions: scientific, legislative, methodological and applied aspects (UM-2016): XIII International Scientific and Technical Seminar. Minsk). — 2016. — С/Р. 131—135. 

Отримано / received: 15.06.2017.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., Н.Є. Гоц (Україна).  
N.Ye. Gots, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.

УДК 681.786.23.22

# СУЧАСНИЙ СТАН ІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ВИМІРЮВАЧІВ ШВИДКОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДИСТАНЦІЙНИХ В УКРАЇНІ

**А. Іващенко**, начальник відділу,  
**Г. Моторний**, заступник начальника відділу,  
**О. Міненко**, начальник лабораторії,  
ДП «Укрметрестандарт», м. Київ

*Розглянуто сучасний стан із застосування вимірювачів швидкості транспортних засобів в Україні, досвід інших країн, тенденції розвитку.*

*The article considers the experience of application of vehicle speed cameras in Ukraine and in foreign countries. Comparison of requirements for speed cameras in different countries is made. The trends in the development of speed cameras are analyzed.*

**Ключові слова:** вимірювачі швидкості, транспортні засоби.  
**Keywords:** speed cameras, vehicle, traffic enforcement devices.

Згідно з інформацією Пулітцерівського центру (Pulitzer Center, <http://roadskillmap.com/>) число загиблих на дорогах внаслідок дорожньо-транспортних пригод (ДТП) вже досягло 1,24 млн на рік і має тенденцію, щоби потроїти цю сумну статистику до 3,6 млн. на рік до 2030 року.

У країнах, що розвиваються, де ця пандемія вдарила найважче, вона стане п'ятою причиною смерті, випередивши ВІЛ/СНІД, малярію, туберкульоз, інших відомих вбивць, за даними Всесвітньої організації охорони здоров'я.

Кількість смертельних випадків в ДТП на 100 000 населення у різних країнах наведено на рис. 1. Як видно з рис. 1, сумна статистика щодо України невтішна. Разом із тим кількість автомобілів на 1 000 населення є найнижчою серед країн, представлених на рис. 1. Відповідну діаграму представлено на рис. 2. Україна в той же час є єдиною на Європейському континенті країною, де поліція не контролює швидкості руху транспортних засобів (ТЗ). Причиною тому є наявне законодавство.

Згідно з рішенням Генеральної прокуратури України притягти до відповідальності порушника правил дорожнього руху можливо лише за умови безпомилкової ідентифікації особи порушника. За автоматичної фото- чи відеофіксації порушень правил дорожнього руху (ПДР) фіксується лише державний номер ТЗ, а хто був за кермом виявити не так вже і просто. Згідно зі статтею 63 Конституції України [1] особа не несе відповідальності за відмову давати показання або пояснення щодо себе, членів сім'ї чи близьких родичів. Тобто власник ТЗ може заявити, що за кермом був не він, а хтось із близьких родичів, але хто саме, він не скаже, бо має право не давати показання щодо близьких родичів.



А. Іващенко



Г. Моторний



О. Міненко



Рис. 1. Кількість загиблих на дорогах внаслідок ДТП на 10 000 населення  
 Fig. 1. The number of road deaths as a result of an accident on 10 000 people

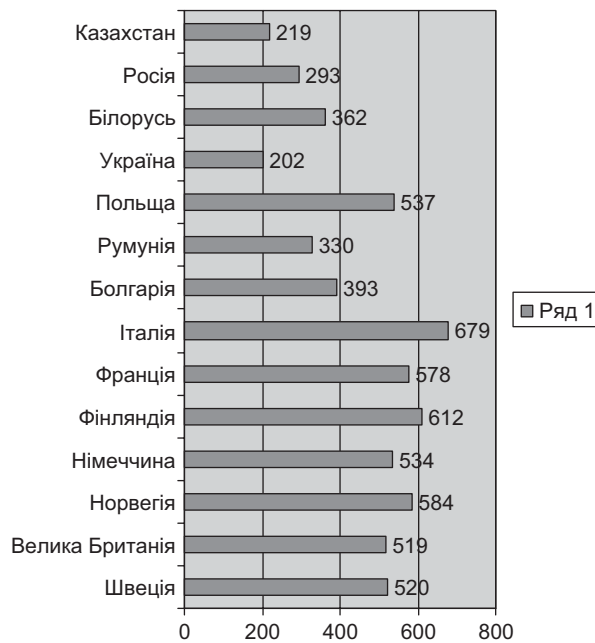


Рис. 2. Кількість автомобілів на 1 000 населення  
 Fig. 2. Number of cars per 1 000 population

З іншої сторони, згідно зі статтею 40 Закону України «Про Національну поліцію» [2] поліція для забезпечення публічної безпеки і порядку може закріплювати на форменому одязі, службових транспортних засобах, монтувати/розміщувати за зовнішнім периметром доріг і будівель автоматичну фото- і відеотехніку, а також використовувати інформацію, отриману із автоматичної фото- і відеотехніки, що перебуває в чужому володінні. Це означає, що поліція може використовувати лише автоматичні засоби фотофіксації.

Наразі МВС України, Мінекономрозвитку України разом з іншими зацікавленими організаціями і громадськими об'єднаннями готують зміни до законодавства, аби ввести на дорогах України контроль, принаймні за швидкісним режимом.

Згідно зі статтею 3 Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [3] контроль безпеки дорожнього руху та технічного стану транспортних засобів відноситься до сфери законодавчо регульованої метрології. Відповідно до постанови Кабінету Міністрів України № 374 від 04.06.2015 вимірювачі швидкості транспортних засобів дистанційні відносяться до законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки (ЗВТ).

У Технічному регламенті законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки [4] наведено суттєві вимоги до таких ЗВТ.

**АНАЛІЗ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ**

Наразі існує лише один міжнародний стандарт, що регламентує вимоги до вимірювачів швидкості. Це стандарт Міжнародної організації законодавчої метрології *OIML R 91* [5], який не переглядався із 1990 року. Він поширюється лише на однонаправлені радіолокаційні вимірювачі швидкості, що працюють на ефекті Допплера. Його прийнято як державний стандарт в Україні. Але завдяки технічному прогресу з 1990 року розроблено багато вимірювачів швидкості, що працюють на різноманітних фізичних принципах. Тому цей стандарт є вже морально застарілим.

У 2014 році була спроба розробити нову, сучасну редакцію зазначеного стандарту. Було створено робочу групу із провідних фахівців різних країн. Деякі напрацювання опубліковано, але далі проекту справа так і не посунулася.

Зараз у кожній країні існує власне законодавство щодо вимірювачів швидкості.

Наразі можливо запропонувати таку класифікацію вимірювачів швидкості:

- 1) за ознакою мобільності: мобільні, стаціонарні, пересувні;
- 2) за рівнем автоматизації вимірювань:
  - \* ручні — вимірюють швидкість ТЗ за участю оператора;



\* автоматичні — вимірюють швидкість ТЗ без участі оператора;

3) за фізичним принципом дії:

\* радіолокаційні, які поділяються на однопроменеві та сканувальні;

\* лазерні, які поділяються на однопроменеві та багатопроменеві сканувальні;

4) вимірювачі, що використовують аналізування послідовності кадрів відеоряду із однієї відеокамери;

5) хронометражні, що вимірюють час проїзду ТЗ повз щонайменше двох давачів, умонтованих в дорожнє полотно або розміщених на зовнішніх периметрах доріг на відомій відстані між ними (як правило, — це декілька метрів). Використовуються такі давачі:

\* індуктивні;

\* магнітні;

\* тиску;

\* фотоелектричні;

6) вимірювачі, засновані на принципі вимірювання «відстань/час», що вимірюють час проїзду ТЗ за ділянкою дороги відомої довжини. Проводиться аналізування відеоряду, розпізнавання державних реєстраційних номерів, вимірюється час проїзду ТЗ повз щонайменше двох відеокамер, розміщених на відомій відстані між ними (як правило, це ділянка дороги довжиною від декількох кілометрів до декількох десятків кілометрів);

7) вимірювачі, що використовують датчики швидкості (як правило, імпульсні), встановлені на патрульний автомобіль поліції. Вимірювання реалізується під час переслідування патрульним поліцейським автомобілем ТЗ порушника;

8) комбіновані, що можуть використовувати різні фізичні принципи дії.

Сучасною тенденцією є використання у вимірювачі двох незалежних каналів вимірювань швидкості ТЗ, реалізованих на різних фізичних принципах.

Проведемо аналіз вимог до вимірювачів швидкості ТЗ міжнародного стандарту *OIML R 91* та правил, що діють в деяких країнах.

### 1. Міжнародний стандарт *OIML R 91*

Діапазон вимірювань швидкості: щонайменше (30...150) км/год.

Максимально допустима похибка:  $\pm 3$  км/год в інтервалі до 100 км/год;  $\pm 3\%$  в інтервалі понад 100 км/год за ймовірності 0,998.

### 2. Проект міжнародного стандарту

#### *OIML R 91*, опублікований у 2015 році

Діапазон вимірювань швидкості: (30...200) км/год.

Максимально допустима похибка:  $\pm 3$  км/год

в інтервалі до 100 км/год,  $\pm 3\%$  в інтервалі понад 100 км/год, за ймовірності 0,998.

Рекомендовано використовувати два незалежні канали вимірювань швидкості. Максимально допустима похибка вимірювань другого каналу вимірювань:  $\pm 10\%$  за ймовірності 0,95.

### 3. Німеччина

Регламентувальний документ: *PTB-A 12.01* «Вимірювальні прилади в громадському русі. Прилади для контролю швидкості» [6].

Діапазон вимірювань: до 250 км/год.

Максимально допустима похибка:  $\pm 3$  км/год в інтервалі до 100 км/год;  $\pm 3\%$  в інтервалі понад 100 км/год за ймовірності  $P = 0,998$ .

### 4. Велика Британія

Регламентувальний документ: «Керівництво з оцінки відповідності вимірювачів швидкості», *Home Office Scientific Development Branch* (Науково-дослідний підрозділ *Home office*, Велика Британія), публікація №15/05 [7].

Максимально допустима похибка:

$\pm 2$  милі на годину (3,2 км/год) в інтервалі до 66 миль на годину (106 км/год),  $\pm 3\%$  в інтервалі понад 66 миль на годину (106 км/год). Ймовірність не вказана, за нашою оцінкою 0,9974.

### 5. Росія

Регламентувальний документ: ГОСТ Р 57144-2016 [8].

Діапазон вимірювань: (20 ... 250) км/год.

Максимально допустима похибка:

$\pm 2$  км/год в інтервалі до 100 км/год,  $\pm 2\%$  в інтервалі понад 100 км/год для вимірювачів швидкості з алгоритмом трекінгу ТЗ;

$\pm 3$  км/год в інтервалі до 100 км/год,  $\pm 3\%$  в інтервалі понад 100 км/год для вимірювачів швидкості без алгоритму трекінгу ТЗ.

Ймовірність не вказана.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ВИМІРЮВАЧІВ СЕРЕДНЬОЇ ШВИДКОСТІ У ВЕЛИКІЙ БРИТАНІЇ

Найбільш детальні дослідження стосовно ефективності використання вимірювачів швидкості проводяться у Великій Британії.

Згідно із цими дослідженнями [9] найбільш ефективними з точки зору зменшення швидкості є вимірювачі, засновані на принципі вимірювання «відстань/час». Принцип дії цих вимірювачів представлено на рис. 3. Ці вимірювачі змушують водіїв знижувати швидкість не лише в конкретному місці, де встановлено вимірювач швидкості, а й на всій ділянці; контролюється швидкісний режим усього двома відеокамерами.

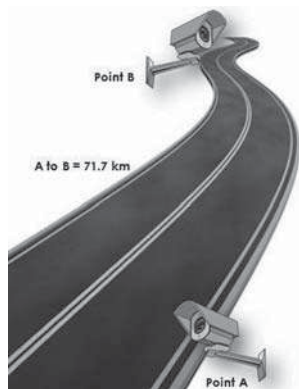


Рис. 3. Принцип вимірювання середньої швидкості двома відеокамерами  
 Fig. 3. The principle of measuring the average speed by two cameras

**Ефективність вимірювачів середньої швидкості, заснованих на відеокамерах (Average Speed Cameras)**

Британські дослідники зробили такі висновки щодо ефективності відеокамер для вимірювання середньої швидкості:

- 1) кількість загиблих та важко травмованих на відповідних ділянках дороги зменшилася на 36,4 % (за ймовірності 0,95 довірчий інтервал (25 ... 46) %);
- 2) кількість аварій зменшилася на 16 % (за ймовірності 0,95 довірчий інтервал (9 ... 22) %). Наслідки аварій були менш тяжкими.

Обидва результати класифіковані як високо статистично значимі й майже напевно не випадковими.

На рис. 4 наведено діаграму, що демонструє, як збільшувалася кількість установлених камер середньої швидкості кожного року та протяжність до-

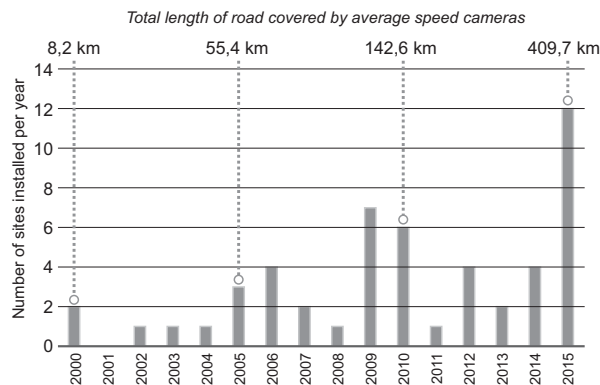


Рис. 4. Кількість установлених камер середньої швидкості за рік та протяжність доріг, що контролюється у Великій Британії  
 Fig. 4. The number of medium-speed cameras installed per year and the length of roads controlled in the UK

рід, що контролюється цими камерами у Великій Британії.

Разом із тим кількість стаціонарних вимірювачів швидкості, заснованих на інших фізичних принципах, у Великій Британії після досягнення в 2015 році кількості близько 4000 не збільшується, а навпаки, має тенденцію на зменшення.

**ВИСНОВКИ**

В Україні потрібно негайно впроваджувати контроль поліції швидкісного руху на дорогах.

Необхідно розробити національний стандарт щодо вимог до вимірювачів швидкості дистанційних.

Упровадження автоматичних систем для вимірювання швидкості бажано починати зі встановлення відеокамер для вимірювання середньої швидкості, які є найдешевшими.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES**

1. Конституція України (The Constitution of Ukraine).
2. Закон України «Про Національну поліцію» (Law of Ukraine «On National Police»).
3. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» (Law of Ukraine «On Metrology and Metrological Activity»).
4. Технічний регламент законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 13 січня 2016 року за № 94 (Technical Regulation of Legally Regulated Measuring Instruments, approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine, dated January 13, 2016, No. 94).
5. OIML R 91. Edition 1990. International recommendation. Radar equipment for measurement of the speed of vehicles.
6. PTB-Anforderungen PTB-A 12.01. Messgeräte im öffentlichen Verkehr Geschwindigkeitsüberwachungsgeräte.
7. Home Office speedometers handbook. Fourth edition. Publication No.15/05. A Guide to Type Approval Procedures for Speedometers Used for Road Traffic Law Enforcement in Great Britain. Fourth edition. Published — 16 May 2014.
8. ГОСТ Р 57144-2016. Специальные технические средства, работающие в автоматическом режиме и имеющие функции фото- и киносъемки, видеозаписи, для обеспечения контроля за дорожным движением. Общие технические требования (GOST R 57144-2016. Special automatic traffic enforcement devices with photo, filming and recording features. General technical requirements).
9. R. Owen, G. Ursachi and R. Allsop. The Effectiveness of Average Speed Cameras in Great Britain. The Royal Automobile Club Foundation for Motoring Ltd (RAC Foundation). September 2016.

Отримано / received: 17.07.2017.

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

УДК 006.3/8:086.68:621.373.826

# НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ОПТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ ЧАСТОТЫ

**Ю. Мачехин**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой фотоники и лазерной инженерии,  
**Л. Хоролец**, аспирант кафедры,  
Харьковский национальный университет радиоэлектроники

*Проанализированы основные направления создания стандартов частоты в радио и оптическом диапазонах. Цель настоящей работы заключалась в выяснении особенностей конструкции нанолазеров, на основании которых планируется разработать наноразмерный стандарт частоты. Сформулированы основные требования к оптическим стандартам частоты для информационных каналов.*

*Basic directions of creation of standards of frequency are in-process analysed in radio and optical ranges. The aim of the real work consisted in finding out of features of construction of nanolasers on the basis of that it is planned to work out the nanosize standard of frequency. The basic requirements are set forth to the optical standards of frequency for to the informative channels.*

**Ключевые слова:** стабильность частоты, нанолазеры со стабильностью частоты излучения, принципы работы радио и оптических стандартов

**Keywords:** stability of frequency, nanolasers with stability of frequency of radiation, principles of work of radio and optical standards

**Р**азвитие одного из направлений фотоники как самостоятельного научно-инженерного направления связано с созданием оптических устройств по передаче и обработке оптических высокостабильных информационных сигналов [1—4]. Кроме того, возможность создания фотонных устройств, аналогичных электронным приборам, — оптических стандартов частоты, позволяет реализовать новый класс информационно-измерительных и контрольно — диагностических приборов. Для расширения функциональных возможностей фотонных устройств их реализации могут осуществляться в компактных, миниатюрных конструкциях [5, 6]. За последние годы созданы несколько конструкций нанолазеров, которые можно использовать для создания нанолазеров со стабилизацией частоты. В этом случае существует реальная возможность уменьшить размер оптического стандарта частоты до долей длины волны генерируемого излучения.

На каждом этапе развития физических принципов и конструктивных особенностей работы нанолазеров решалась задача получения максимальной мощности излучения при сохранении когерентности частоты излучения [7, 8]. Стабильность и воспроизводимость частоты излучения рассматривалась только в отдельных случаях [см., напр., 9].

Расширение возможностей применения лазеров в информационных технологиях все в большей степени основывается на чистоте спектра излучения лазеров. В этой связи можно обратить внимание на особенность спектра излучения лазеров, которые применяются в оптической связи, основанной на спектральном уплотнении каналов — *WDM (Wavelength Division Multiplexing)* или *DWDM* частотных каналов [10]. Требования к лазерному излучению обусловлены частотной шириной



Ю. Мачехин



Л. Хоролец

каждого из каналов, которые в случае *WDM* установлены в 100 ГГц [11]. Используемые полупроводниковые лазеры работают в одночастотном и одномодовом режиме генерации. При этом ширина линии излучения составляет величину около 1 МГц. Возможность генерации нанолазерами когерентного излучения изучена в самых общих чертах, без уточнения спектральных свойств излучения. В связи с необходимостью формирования излучения нанолазерами, *целью настоящей работы стало изучение условий высокой стабильности и воспроизводимости частоты излучения*. Необходимо разработать наноструктуры, которые будут выполнять задачу стабилизации частоты излучения нанолазеров.

### СТАНДАРТЫ ЧАСТОТЫ РАДИОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

Начальный этап развития стандартов частоты соответствует техническим задачам обеспечения генерации высокостабильных радиочастотных сигналов. Разработки стандартов частот в радиодиапазоне получили свое первоначальное развитие в 30—40-х годах прошлого века. В этот период начаты работы по созданию водородного, рубидиевого и цезиевого стандартов частоты. К этому времени была изучена сверхтонкая структура веществ, отмеченных выше в качестве частотных реперов. Эти линии поглощения исполняют роль опорных частотных реперов, на основе которых реализуются системы стабилизации частоты генераторов радиосигналов. Эти стандарты частоты имеют достаточно большие габариты, что в настоящее время становится проблемой при их использовании в современных прецизионных приборах.

Поскольку стабильность частоты кварцевых стандартов достаточна для рабочих средств измерений и рабочих эталонов, но не удовлетворяет современным требованиям к первичным эталонам единиц времени и частоты, развитию подлежали радиочастотные стандарты, которые основывались на водородных, рубидиевых или цезиевых частотных реперах. Эти радиочастотные стандарты относились к квантовым стандартам частоты, дальнейшее развитие которых началось в 60-х с созданием лазеров как источников когерентного оптического излучения. С этого периода все создаваемые стандарты частот относились к оптическому диапазону и основывались на лазерных источниках.

### ОПТИЧЕСКИЕ СТАНДАРТЫ ЧАСТОТЫ

Следующий этап развития стандартов частоты наступил, когда лазеры с одночастотным и одномодовым излучением научились стабилизировать

по частотным реперам [12]. Учитывая параметры газовых лазеров, первыми стандартами частоты стали He-Ne, Ar и CO<sub>2</sub> лазеры с внутренними и внешними поглощающими ячейками стандартов частоты [5]. Размеры этих ячеек либо соизмеримы с размерами лазера, либо много больше него.

К 2000 году уже были разработаны стандарты частоты с использованием охлажденных, практически до абсолютного нуля, атомов и ионов. К настоящему времени у почти половины из рекомендованных *CIPM* [1] стандартов оптических частот используются частотные реперы на основе охлажденных атомов и ионов, удерживаемых либо в магнитооптической ловушке [2], либо лазерным излучением в оптической палочке [3].

К настоящему времени у стандартов оптических частот стандартная относительная неопределенность частоты излучения находится в пределах нескольких единиц пятнадцатого знака. Такая неопределенность вполне достаточна для большинства практических и исследовательских задач. Тем не менее конструктивные особенности многих из этих стандартов частоты не позволяют их использовать в большинстве современных и перспективных измерительных устройств. Поэтому крупногабаритные оптические стандарты частоты становятся сдерживающим фактором в развитии микро- и наногабаритных средств измерений.

При использовании частотных реперов на основе охлажденных атомов размеры стандартов не могут быть меньше размера вакуумной камеры частотного репера.

Таким образом, пока не удастся одновременно и улучшить стабильность частоты излучения, и существенно уменьшать габариты стандарта частоты. В последнее десятилетие развиваются методы применения фотонных кристаллов с дефектами в устройствах хранения одиночных атомов и ионов [4]. Одиночные атомы помещаются в дефектах фотонных кристаллов при условии удержания атомов и ионов с помощью запердельного поля.

### ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКИ ОПТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ ЧАСТОТЫ

Перспективные направления развития оптических стандартов частоты связаны непосредственно с процессами миниатюризации лазерных источников и частотных реперов. Главные направления создания лазеров основываются на микро- и нанотехнологиях. Использование микро- и нанолазеров в прецизионных средствах измерений основывается на возможности стабилизации частоты этих лазеров.

Развитие нанолазеров, габариты которых меньше размеров полупроводниковых лазеров в тысячи раз, позволяет расширить сферу применения нанолазеров.

К примеру, диаметр металлической, золотой, сферической частицы (основы для плазмонных эффектов) составляет 44 нанометра. Плазмонные эффекты обеспечивают генерацию оптического излучения с длиной волны 530 нм. Для стабилизации частоты с относительной неопределенностью  $10^{-10}$  необходимо контролировать длину резонатора в пределах интервала  $10^{-18}$  м.

В тоже время применение этих средств измерений ограничено в применении из-за технических параметров конструкции и параметров излучения. Использование одиночных атомов в физических процессах представляет собой новое направление в использовании лазеров в задачах нанофотоники. Захват охлажденных атомов и контроль их положения внутри дефекта в фотонном кристалле может осуществляться благодаря полям [5], которые формируются в этих дефектах.

Непрерывное развитие лазеров как в конструктивном исполнении, так и в используемых физических явлениях и процессах позволяет расширять области применения лазеров во многих технологиях, в том числе и информационно-измерительных. Эта область применения очень чувствительна к конструктивному исполнению лазеров, поскольку сбор информации и обработка результатов измерений все чаще закладываются в технологии реального времени. Самым последним примером развития лазеров являются нанолазеры. Несколько исследовательских групп в США, России и Южной Корее разработали и продолжают совершенствовать оригинальные технологии изготовления нанолазеров. К настоящему времени параметры лазерного излучения, такие как стабильность и воспроизводимость, не обсуждались в связи с конструктивными особенностями разрабатываемых лазеров. Основным и наиболее сложным с точки зрения управления параметром является стабильность и воспроизводимость частоты излучения. Как известно [1], лазерные источники излучения практически заняли всю нишу оптических стандартов частоты, тем не менее, с появлением новых типов лазеров, возникают новые возможности по созданию не только оптических стандартов частоты с высокой стабильностью, но и существенно малых размеров (нанолазеров).

С созданием и развитием нанолазеров, которые могут быть использованы в высокоскоростных вычислительных процессах, стабильность оптической

частоты излучения становится основным параметром, обеспечивающим скорость передачи информации.

Создание оптических стандартов частоты на основе нанолазера представляет собой непросто инженерную задачу, которая включает в себя как создание самого лазера, так и необходимого частотного репера.

Современные лазеры, используемые в оптических стандартах частоты, слишком велики для того, чтобы использовать их в конструкциях полупроводниковых чипов. Однако, переход к наномасштабам дает возможность, применяя нанолазеры, создавать оптический стандарт частоты. Несколько коллективов ученых уже смогли создать нанолазеры (так, первый ультрафиолетовый лазер из оксида цинка получен еще в начале двухтысячных [13]). Для их включения и выключения была необходима оптическая накачка, где применялось излучение другого лазера; в то же время, в подавляющем количестве приложений, требовались лазеры, управление которыми можно было бы осуществлять электрически.

Несколько научных групп в США, Южной Корее и России разрабатывали разные физические принципы работы нанолазеров [6–15]. К ним можно отнести *три направления разработок*.

*В основе первого направления* лежат плазмонные явления, которые позволяют создать устройство, которое работает за счет нового типа фотон-плазмонного возбуждения; оно получило название «плазмонной решетки». По мнению ученых [16], в будущем оно поможет развитию следующего поколения информационных технологий, в которых фотоны, а не электроны, станут основными компонентами вычислительных схем.

*Устройства второго направления* состоят из набора металлических наночастиц, окруженных усиливающей средой, состоящей из органических молекул, возбуждаемых при помощи некогерентного света, представляют собой одну из работающих структур нанолазера [17].

*К третьему направлению* можно отнести лазеры на основе нановолокна из сульфида кадмия, находящегося на кремниевой подложке [18]. Электрический контакт здесь осуществляется при помощи слоя металлического проводника, нанесенного поверх нановолокна. Если на него подать напряжение, сквозь структуру начинает проходить ток, а концы нановолокон испускают голубовато-зеленый свет с длиной волны около 490 микрометров. По достижении током определенного предела излучение становится

почти монохроматическим, что есть верным признаком индуцированного лазерного излучения.

Здесь квантовые точки служат в качестве активной среды, а резонатором является наночастица металла, в которой возникают поверхностные волны — плазмоны. Они обусловлены коллективными колебаниями электронов проводимости относительно ионов. Квантовые точки служат донорами энергии для плазмонных колебаний. Мода электромагнитных колебаний, возникающая в таком нанолазере, соответствует длине волны света плазмонного резонанса, который определяется родом металла и формой наночастиц. И если брать разные металлы, то и нанолазеры будут получаться разного цвета: серебро дает синий цвет, золото — зеленый, а медь — красный.

На данный момент сформированы нанолазеры в виде золотых наночастиц размером в 10 нанометров, вокруг которых сформирована 6-нанометровая кремнеземная оболочка, заполненная красителем. Нанолазеры размещаются в порах тонкой твердой пленки так называемого «фотонного кристалла», который значительно снижает порог лазерной генерации и формирует направленное излучение нанолазеров.

В подавляющем большинстве случаев все созданные на настоящий момент времени нанолазеры, лазеры, имеющие микроскопические размеры, приводятся в действие за счет внешнего источника света, еще одного лазера, правда, уже не наноразмерного. Такие нанолазеры не выделяют тепла и не рассеивают много поступающей к ним энергии, за счет чего они успешно работают при комнатной температуре. Несмотря на такие характеристики, использование таких нанолазеров не везде приемлемо, особенно в области микроэлектроники, из-за необходимости использования дополнительного лазера. Ученые уже достаточно давно разработали нанолазеры, которые работают просто от электрического тока, но и, как любой другой полупроводниковый прибор, такие нанолазеры выделяют достаточно большое количество тепла, которое требуется от них отводить. Поэтому они не могут нормально работать при комнатной температуре из-за значительного перегрева их микроскопической структуры.

Также нанофотонные устройства позволяют манипулировать светом на уровне отдельных фотонов. Манипулирование квантами света в фотонных устройствах происходит с помощью не линз и зеркал, а наноразмерных объектов, таких как фотонные кристаллы и нанолазеры. Фотонные кристаллы — это твердые тела, имеющие структуру напо-

добие обычной кристаллической решетки большинства твердых тел, однако в узлах этой решетки находятся не отдельные атомы, а наночастицы, состоящие из десятков и сотен атомов. Такая структура создает в фотонном кристалле периодические изменения коэффициента преломления, так что волны света определенной длины свободно в нем распространяются, тогда как другие фотоны распространяться в фотонном кристалле не могут и поэтому отражаются

### ОСОБЕННОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГЕНЕРАЦИИ

Последние 10–12 лет группы физиков в ведущих университетах мира активно работали в направлении поиска физических процессов, позволяющих обеспечить лазерную генерацию путем использования нанообъектов и нанопроцессов. Большая часть полученных результатов к настоящему времени основана на успехах наноплазмоники. Наноплазмоника изучает явления, связанные с колебаниями электронов проводимости в металлических наноструктурах и наночастицах и взаимодействием этих колебаний со светом, с целью создания сложных оптических наноустройств.

Важнейшая черта явлений в наноплазмонике — это сочетание сильной пространственной локализации электронных колебаний с высокой частотой этих колебаний. В свою очередь, сильная локализация приводит к гигантскому увеличению локальных оптических и электрических полей. Свойства локализованных плазмонов зависят от формы наночастиц, что позволяет обеспечить взаимодействие со светом или элементарными квантовыми системами.

Наиболее изученным, в теоретическом плане, можно считать дипольный нанолазер, основу которого составляют металлические наночастицы, при возбуждении в них локализованного плазмонного резонанса [14].

Базовые уравнения дипольного нанолазера включали в себя такие понятия, как частота локализованного плазмонного резонанса металлической наночастицы, близкая к частоте перехода двухуровневой системы.

Стабильность частоты лазерного излучения определяется величиной технических шумов и величиной естественных шумов. Технические шумы, как правило, связаны с временной нестабильностью длины резонатора лазера, а естественные шумы — с лоренцевской шириной линии излучения. Эти шумовые характеристики приемлемы для использования

в лазерах макроскопических размеров. Чем меньше размер лазера, тем сложнее обеспечить контроль длины резонатора. К примеру, стабилизация частоты полупроводниковых гетеролазеров обеспечивается благодаря увеличению длины резонатора за счет установки дополнительного зеркала и дифракционной решетки. Использование этих дополнительных элементов позволяет улучшить спектральные свойства излучения этих лазеров. Таким образом, улучшение спектральных свойств полупроводникового лазера, излучающий кристалл которого составляет полупроводниковый кристалл размером (200x200) мкм, возможно благодаря установлению размеров резонатора, близких к размерам стабилизированных He-Ne\I2 лазеров.

В том случае, когда есть необходимость применить нанолазер в качестве стандарта частоты нанометрового размера, необходимо определить, как и в случае макролазеров, условия стабилизации частоты излучения. Задача по применению наностандарта частоты направлена на реализацию системы контроля процессов обмена и хранения информации в квантовых системах.

#### МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТОЙ НАНОЛАЗЕРА

Поскольку к настоящему времени разработаны различные конструкции нанолазеров, работающие на разных физических принципах накачки и генерации, необходимо найти общие принципы стабилизации частоты нанолазера. К этим принципам стабилизации частоты нанолазеров относятся два принципа: формирование максимально узкой линии излучения и выбор эффективного принципа управления частотой излучения.

Возможность управления частотой излучения нанолазера с предельно малой неопределенностью можно реализовать с помощью наноструктур, сформированных с помощью плазмонов (рис. 1). Вторая особенность конструкции должна позволять перестраивать частоту излучения (рис. 2).

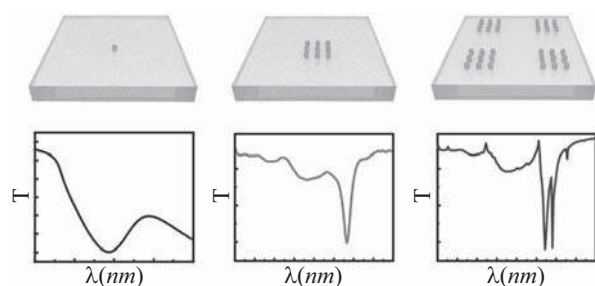


Рис. 1. Периодические структуры и соответствующие им спектры излучения [18]  
Fig. 1. Periodic structures and corresponding to them spectrums of radiation [18]

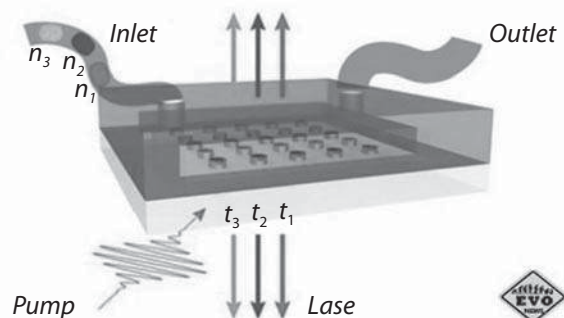


Рис. 2. Структура жидкостного нанолазера [20]  
Fig. 2. Structure of liquid nanolaser [20]

Вспомним конструкцию полупроводниковых лазеров с распределенной обратной связью, предназначенных для оптической связи. Поскольку для каналов связи на основе WDM и DWDM систем необходимы лазеры с узкой линией излучения и технически обеспеченные системами управления частотой излучения, то пассивная стабильность частоты излучения обеспечивается продольной периодической структурой в резонаторе. Период структуры связан с длиной волны генерируемого излучения. Изменение периода структуры приводит к изменению длины волны и ширины полосы излучения. Реализация описанных условий в полупроводниковых лазерах осуществляется без достаточной точности при изготовлении, поэтому ширина линии излучения около 1 МГц. Соответственно стабильность частоты излучения оценивалась с учетом физического процесса управления частотой излучения.

Существует разработка конструкции нанолазера на основе активной среды, находящейся в состоянии жидкой фазы. Осуществляя прокачку жидкой активной среды через резонатор нанолазера, можно изменять концентрацию; с изменением плотности активной среды происходит изменение частоты излучения. Общий диапазон изменений длины волны составляет величину около 50 нм. Использование этой конструкции может позволить сформулировать условия стабилизации частоты лазера.

Ученые из Северо-Западного университета (Northwestern University, USA) разработали и изготовили образцы первых жидких наноразмерных лазеров [14]. Особенностью этих микроскопических устройств является то, что в режиме реального времени можно управлять цветом, излучаемым таким лазером света, и эта особенность позволит применять такие лазеры в практических целях в самых различных областях, к примеру, для создания лабораторий-на-чипе, используемых в медицинских и биохимических исследованиях. Следует отметить, что жидкий нанолазер очень далек от

лазерных указок и лазеров других привычных нам типов. Основой этого устройства является так называемая оптическая впадина, своего рода ловушка, куда попадают фотоны света от внешнего источника, используемого в качестве накачки. Полость этой впадины заполнена множеством золотых частиц определенной формы и размера, имеющих поверхность, обладающую большим коэффициентом отражения. Свет, циркулирующий внутри оптической впадины, концентрируется в местах скопления наночастиц, фокусируется и усиливается. Благодаря такому подходу жидкий нанолазер не нуждается в зеркалах и прочих атрибутах традиционных лазеров. Цвет света, излучаемого таким лазером, регулируется достаточно просто: путем изменения химического состава и концентрации веществ, растворенных в жидкости, заполняющей полость оптической впадины. Такие изменения позволяют регулировать длину волны в пределах 50 нанометров, от 860 до 910 нанометров, а для более глубокого изменения требуется введение в жидкость специальных молекулярных флуоресцентных веществ-красителей.

Помимо способности изменять длину волны в режиме реального времени жидкий нанолазер имеет ряд других преимуществ по отношению к нанолазерам других типов. Конструкция жидкого нанолазера проста до невозможности, что обуславливает дешевизну их производства в любых количествах; такие нанолазеры могут работать при комнатной температуре и при некоторых условиях окружающей среды, выходящих далеко за рамки так называемых «нормальных условий».

Кроме своих особенностей, жидкие нанолазеры обладают всеми преимуществами, которые им придают очень малые размеры. Они способны работать быстрее, точнее модулировать излучаемый ими

свет, нежели обычные лазеры на основе твердых или газообразных материалов. Нанолазеры способны излучать когерентный свет строго определенной длины волны, обусловленной их физическими размерами и оптическими свойствами окружающей их среды. «Все общие и уникальные свойства созданных нами жидких нанолазеров открывают огромные перспективы для дальнейшего их использования», — рассказывает Тери В. Одом (*Teri W. Odom*), ученый, возглавляющая исследовательскую группу. — «Эти лазеры можно использовать в области оптического хранения информации, в литографии и в медицине. Они могут выступать в качестве источников света, встраиваемых прямо в кристаллы полупроводниковых чипов, на их основе можно создавать высокочувствительные элементы лабораторий-на-чипе».

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение лазеров со стабилизированной частотой позволит использовать их в качестве информационного параметра в оптической электронике, накладывает существенные требования на условия стабилизации частоты излучения у нанолазеров.

Следует обратить внимание, что развитие оптических стандартов частоты приводило к повышению стабильности частоты излучения, но технические размеры практически не менялись.

Основная проблема при использовании нанолазеров связана с возможностью (или невозможностью) управлять частотой излучения. Если у первых оптических стандартов частоты управление осуществлялось посредством управляемого изменения длины резонатора, то другой, более сложный метод заключается в изменении показателя преломления активной среды лазера.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. T.J. Quinn, Practical realization of the definition of metre, including recommended radiations of other optical frequency standards, *Metrologia*, 40, 2003, P. 103—133.
2. А.В. Соколов, Н.Н. Колачевский, Е.С. Калганова, А.В.Акимов, В. Н. Сорокин, Субдодплеровское лазерное охлаждение атомов тулия в магнито-оптической ловушке и магнитное удержание атомов тулия в низкоградиентной магнитной ловушке, *Наносистемы: физика, химия, математика* (A.V.Sokolov, N.N.Kolachevsky, E. S. Kalganova, A.V.Akimov, V. N. Sorokin, SubDoppler laser cooling of atoms of thulium in a magneto-optical trap and magnetic withholding of atoms of thulium in low gradient to the magnetic trap, *Nanosystems: physics, chemistry, mathematics,*), 2012, 3 (1), С/Р. 125—131
3. Raab E. L. , Prentiss M., Cable A., Chu S., Pritchard D.E. (1987). «Trapping of neutral sodium atoms with radiation pressure». *Physical Review Letters* 59 (23): 2631–2634. DOI:10.1103/Phys. Rev. Lett. 59.2631. Bibcode: 1987 Ph. Rv. L. 59.2631R.
4. Летохов В. С., Миногин В. Г., Павлик Б. Д. Охлаждение и пленение атомов резонансным световым полем // *Журнал экспериментальной и теоретической физики* (V.S. Letohov, V.G. Minogin, B.D. Pavlik, Cooling and capture atoms by the resonant light field // *Journal of experimental and theoretical physics*). 1977. Т/В. 72. С/Р. 1328–1341.
5. В.В. Котляр. Нанопотоника — манипулирование светом с помощью наноструктур. *Компьютерная оптика* (V.V. Kotliar. A Nanophotonics is manipulation light by means of nanostructures, *Computer optics*), 2008, Т/В. 32, № 2, С/Р. 119–122.
6. G. Ortner, C. Ni, Allen, C. Dion at all External cavity InAs/InP quantum dot laser with a tuning range of 166 nm *Applied Physics Letters* 88, 121119-1 (2006).
7. Tuning the Thickness and Orientation of Single Au Pyramids for Improved Refractive Index Sensitivities. *The journal*



- of physical chemistry. *C, Nanomaterials and interfaces*. 113:2205-2207. 2009.
8. Н.В. Крыжановская, С.А. Блохин, А.Г. Гладышев, Лазерная генерация на длине волны 1.3 мкм при комнатной температуре в микродиске с квантовыми точками, *Физика и техника полупроводников* (N.V. Krizhanovskaia, S.A. Blohin, A.G. Gladihev, Lasing on the wavelength of 1.3 мкм at a room temperature in microdisks with quantum points, *Physics and technique of semiconductors*), 2006, T/V. 40, № 9, С/Р. 1128—1132.
  9. D. DeMille, Quantum computation with trapped polar molecules. *Phys. Rev. Lett.* 88, 067901 (2002).
  10. А. Жирар, Руководство по технологии и тестированию систем WDM. — М (A. Zirar, *Guidance on technology and testing of the systems WDM*. — М): EXFO, 2001, С/Р. 214.
  11. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. — М.: Радио и связь (N.N. Slepov, *Modern technologies of digital optical fiber communication*. — М.: Radio and communication). 2001.
  12. Охалкин М.В. Диссертация. Высокостабильные лазеры и их применение в оптических стандартах частоты и прецизионных физических экспериментах, Новосибирск (M.V. Okhapkin, *Dissertation: High-stable lasers and their application in the optical standards of frequency and прецизионных physical experiments, Novosibirsk*), 2011.
  13. Ankun Yang, Thang B. Yjang, Teri W. Odom, Real-time tunable lasing from plasmonic nanocavity arrays/ *Nature communication*, 2015, DoI:10.1038/ncomms7939.
  14. А.В. Савельев, И.И. Новиков, М.В. Максимов и др. Температурная и токовая зависимость ширины спектра генерации в лазерах на квантовых точках, *Физика и техника полупроводников* (A.V. Savelev, I.I. Novikov, M.V. Maksimov and all, *Temperature and current dependence of width of spectrum of generation in lasers on quantum points, Physics and technique of semiconductors*), 2009, T/V. 43, №12, С/Р. 1641–1645.
  15. Н.В. Крыжановская, М.В. Максимов, А.Е. Жуков. Лазеры на основе квантовых точек и микрорезонаторов с модами шепчущей галереи, *Квантовая электроника* (N.V. Krizhanovskaia, M.V. Maksimov, A.E. Zukov, *Lasers on the basis of quantum points and microresonator with the fashions of whispering galler, Quantum electronics*), 2014, T/V. 44, №3, С/Р. 189–200.
  16. А.Н. Ораевский, М.С. Скалли, В.Л. Величанский, Лазер на квантовой точке, *Квантовая электроника* (A.N. Oraevskii, M.S. Skalli, V.L. Velichanskii, *Laser on a quantum point, Quantum electronics*), 1998, T/V. 25, №3, С/Р. 211–216.
  17. Кузьмина И.П., Никитенко В.А., Окисьцинка А.С. SU #1668495 A1, 1989г. Способ получения монокристаллов оксида цинка для лазеров (I.P. Kuzmina, V.A. Nikitenko, A.C. Okiszinka. SU #1668495 A1, 1989г. Method of receipt of single-crystals of oxide of zinc for lasers).
  18. Л.И. Гуринович, А.А. Лютич, А.П. Ступак. Люминесценция квантово-размерных нанокристаллов и наностержней селенида кадмия во внешнем электрическом поле. *Физика и техника полупроводников* (L.I. Gurinovich, A.A. Lutych, A.P. Stupac. *Luminescence of quantum-size nanocrystals and nanobars of селенида of cadmium is in the external electric field. Physics and technique of semiconductors*), 2009, T/V. 43, № 8, С/Р. 1045–1053. 📄

Отримано / received: 13.06.2017.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. М.І. Дзюбенком (Україна).  
Prof. M.I. Dzyubenko, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України  
Департамент технічного регулювання

Державне підприємство «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів» (ДП «Укрметртестстандарт»)

**Десята Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми обліку теплоти та води»  
Київ, 12—13 вересня 2017 року**

У конференції братимуть участь фахівці з України та інших країн.

На конференції передбачається розглянути такі питання:

- стан та перспективи метрологічного забезпечення у сфері обліку споживання теплоти та води;
- удосконалення еталонної бази у сфері вимірювань температури, теплоти та витрати рідин;
- порядок проведення процедури та доказова база для підтвердження відповідності технічним регламентам;
- порядок проведення перевірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації;
- облік споживання теплоти та води в багатоквартирних будинках;
- загальні вимоги ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій;
- нові засоби обліку споживання теплоти та води;
- енергоаудит будівель та споруд;
- загальні підходи до калібрування засобів вимірювань.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова: Сабатович Д.А., генеральний директор ДП «Укрметртестстандарт»

Члени: представник департаменту технічного регулювання Мінекономрозвитку; Кузьменко Ю.В., заступник генерального директора ДП «Укрметртестстандарт»; Глебов А.Б., директор НВІ-2 ДП «Укрметртестстандарт».

Відповідальний секретар: Ісхакова О.Б., начальник сектору ДП «Укрметртестстандарт».

Адреса оргкомітету:

03143, Україна, м. Київ, вул. Метрологічна, 4

E-mail: heatflowlab@gmail.com

www.ukrcsm.kiev.ua

тел./факс (044) 526-53-89; тел.: (044) 526-34-36

Вирішення організаційних питань з проведення конференції доручено ТОВ «Центр безперервної освіти «Спектр знань»: директор Гулько Ярослава Омелянівна

E-mail: spektrznau@ukr.net

тел. (044) 383-00-75; тел./факс (044) 249-43-42;

тел. (067) 456-77-63

УДК 006.91:63.519.85

# АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ВІЙСЬКОВО-МЕТРОЛОГІЧНОГО СУПРОВОДЖЕННЯ ЗРАЗКІВ (КОМПЛЕКСІВ) ОЗБРОЄННЯ І ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ НА ЕТАПАХ РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ Й ВИГОТОВЛЕННЯ ДОСЛІДНОГО ЗРАЗКА ТА ПОПЕРЕДНІХ ВИПРОБУВАНЬ

**В. Бойко**, начальник науково-дослідного відділу військових еталонів — заступник начальника Метрологічного центру військових еталонів,  
**А. Гаврилов**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
**О. Ноженко**, старший науковий співробітник,  
**Ю. Рондін**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Метрологічний центр військових еталонів Збройних Сил України

*Визначено й обґрунтовано основні завдання метрологічного супроводження зразка (комплексу) озброєння і військової техніки на етапах розроблення конструкторської та експлуатаційної документації, виготовлення дослідного зразка озброєння і військової техніки, проведення попередніх випробувань.*

*The primary goals of metrological support of the sample (complex) of arms and the military techniques at development cycles of the design and operational documentation, manufacturing of a pre-production model of arms and the military techniques and carrying out of preliminary tests are defined and proved.*

**Ключові слова:** зразки (комплекси) озброєння, військово-метрологічне супроводження, метрологічне забезпечення.  
**Keywords:** samples (complexes) of arms, military-metrological support, metrological maintenance

**Т**рансформація Збройних Сил України (ЗСУ) визначає як актуальну проблему створення нових зразків озброєння і військової техніки (ОВТ) протягом 2016—2020 років та є одним із головних пріоритетів Стратегії національної безпеки України [1].

Аналіз проведення антитерористичної операції визначив ряд недоліків у оснащенні Збройних Сил ОВТ. У першу чергу необхідно визначити низький рівень сучасних видів озброєння, високоточних засобів ураження, засобів розвідки, навігації тощо. Вирішення проблем створення сучасних зразків (комплексів) ОВТ пов'язано з вирішенням цілого комплексу науково-технічних проблем, включаючи проблему метрологічного забезпечення (МлЗ) розроблення, виробництва та експлуатації ОВТ — основних етапів їх життєвого циклу [2].

Ефективне вирішення проблем МлЗ повинно гарантувати повноту, точність та достовірність вимірювань (контролю) характеристик ОВТ у процесі їхнього технічного обслуговування на етапі експлуатації, підготовки до застосування і використання за призначенням [3].

Оцінка правильності та якості МлЗ зразків (комплексів) ОВТ здійснюється під час проведення планових метрологічних експертиз, у ході яких фактично визначається відповідність досягнутого рівня МлЗ оперативнотехнічним вимогам та вимогам тактико-технічних характеристик (ТТХ), заданих у тактико-технічному завданні (ТТЗ) на розроблюваний зразок (комплекс) ОВТ [4].

Аналіз проведених метрологічних експертиз документації (МЕД) виявив ряд істотних недоліків, включаючи навіть факти відсутності у ряді ТТЗ на розроблення зразків ОВТ завдань на МлЗ зразка.

На етапах розроблення конструкторської та експлуатаційної документації відзначається недостатнє опрацювання вимог до системи контролю технічного стану розроблюваного зразка (комплексу) ОВТ на етапі експлуатації, що особливо необхідно в процесі переведення зразка (комплексу) ОВТ на експлуатацію за технічним станом.

*Мета статті* — визначення та обґрунтування основних завдань МлЗ зразка (комплексу) ОВТ на етапах розроблення конструкторської та

експлуатаційної документації, виготовлення дослідного зразка і проведення попередніх випробувань.

### ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

Вирішення концептуальних проблем розвитку ОВТ зумовлює [5, 6] необхідність принципового удосконалення всіх видів забезпечення ЗС України, у тому числі системи МлЗ, спрямованої на забезпечення і досягнення єдності вимірювань та достовірності контролю параметрів об'єктів вимірювань військового призначення у ЗС України та інших військових формуваннях.

Узагальнену логіко-структурну схему процесу розроблення (модернізації) зразка (комплексу) ОВТ на початкових етапах і на етапі приймання на озброєння представлено на рис. 1.

Процес військово-метрологічного супроводження (ВМЛС) розроблення (модернізації) ОВТ повинен включати виконання таких основних заходів:

- проведення наукових досліджень з аналізу, узагальнення досвіду, визначення сучасного стану та перспектив, напрямів і шляхів розвитку (удосконалення) методів і засобів МлЗ складних технічних систем, сучасних та перспективних зразків ОВТ;
- задання вимог щодо МлЗ у ТТЗ (ТЗ) на розроблення (модернізацію) зразків ОВТ;
- поточний контроль виконання та уточнення вимог щодо МлЗ зразків ОВТ;
- поетапний (за етапами, а також НДДКР у цілому) контроль виконання та уточнення вимог щодо МлЗ зразків ОВТ;
- метрологічну експертизу документації на зразки ОВТ на відповідних етапах (стадіях) їхнього життєвого циклу.

Заходи ВМЛС під час безпосереднього розроблення (модернізації) зразка ОВТ проводяться на етапах життєвого циклу: ескізного проекту, технічного проекту, розроблення конструкторської й експлуатаційної документації, виготовлення дослідного зразка ОВТ та проведення попередніх випробувань. Рівень виконання ро-



Рис. 1 Узагальнена логіко-структурна схема процесу розроблення (модернізації) зразка (комплексу) ОВТ

Fig. 1. Generalized logic-structure diagram for the process of development (modernization) of armament and military equipment specimen (complex)

біт на цих етапах багато в чому визначає якість і ефективність виконання заходів заключного етапу розроблення — проведення державних випробувань зразка (комплексу) ОВТ та приймання на озброєння.

На етапі ескізного проектування ВМЛС здійснюється з метою оцінювання правильності прийнятих розробником принципових, схемних та конструктивно-технічних рішень у частині МлЗ виробу (його складових частин), які дають загальне уявлення стосовно принципів та побудови зразка ОВТ.

Рекомендований перелік типових завдань із МлЗ на етапі ескізного проектування виробу, які вирішуються:

- перевірка правильності розроблення та прийняття технічних рішень, які повинні забезпечити отримання визначених у ТТЗ (ТЗ) значень параметрів та характеристик виробу;
- перевірка складання переліку параметрів, які повинні вимірюватися (контролюватися) у процесі розроблення, виробництва, випробувань та експлуатації виробу ОВТ та допустимих похибок вимірювань для кожного параметра;
- перевірка складання переліку обраних засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), які повинні використовуватися під час розроблення, виробництва,

випробувань та експлуатації виробу, та правильності їх вибору відповідно до точності вимірювань;

- перевірка необхідності розроблення спеціальних або нестандартизованих ЗВТ.

На етапі технічного проектування ВМЛС повинно здійснюватися з метою оцінювання правильності прийнятих розробником кінцевих (остаточних) конструктивно-технічних рішень у частині МЛЗ виробу (його складових частин), які дають повне уявлення щодо конструкції та побудови зразка ОВТ.

Перелік типових завдань з МЛЗ виробу, які вирішуються:

- \* перевірка правильності розроблення та прийняття технічних рішень, які забезпечують отримання визначених у ТТЗ (ТЗ) значень параметрів та характеристик виробу;

- \* перевірка правильності визначення переліку параметрів, які вимірюються (контролюються) у процесі розроблення, виробництва, випробувань та експлуатації виробу ОВТ та допустимих похибок вимірювань для кожного параметра;

- \* перевірка достатності обраних ЗВТ, які використовуються під час розроблення, виробництва, випробувань та експлуатації виробу, та правильності їх вибору відповідно до точності вимірювань;

- \* перевірка правильності передавання розмірів одиниць фізичних величин згідно з військовими метрологічними схемами, сумісності ЗВТ із виробом та можливості метрологічного обслуговування за допомогою обраних ЗВТ під час експлуатації;

- \* перевірка необхідності та достатності обґрунтування щодо доцільності розроблення спеціальних або нестандартизованих ЗВТ, а також методик виконання вимірювань.

На етапі розроблення робочої конструкторської документації ВМЛС здійснюється з метою оцінювання відповідності розробленої конструкторської та експлуатаційної документації вимогам з МЛЗ зразка ОВТ, регламентованим чинними керівними та нормативними документами, а також вимогам ТТЗ (ТЗ) на виконання ДКР.

Рекомендований перелік типових завдань з МЛЗ виробу, які вирішуються на цьому етапі:

- ▶ перевірка повноти і достатності обраного переліку параметрів, які повинні вимірюватися (контролюватися), правильності встановлення їхніх значень та значень допустимих відхилень з метою визначення технічного стану виробу;

- ▶ перевірка правильності встановлення значень похибок вимірювання кожного параметра, що вимірюється (контролюється);

- ▶ перевірка правильності визначення номенклатури ЗВТ, які підлягають періодичній повірці (калібруванню) в процесі експлуатації, та правильності встановлення періодичності повірки ЗВТ в експлуатаційних документах;

- ▶ перевірка сумісності виробу із ЗВТ, включеними до його складу, та зручності проведення вимірювань;

- ▶ перевірка наявності та достатності обраного переліку ЗВТ та вимірювального обладнання, які повинні використовуватися для проведення попередніх випробувань виробу;

- ▶ перевірка повноти та якості викладення питань із МЛЗ виробу в конструкторській та експлуатаційній документації та правильності встановлення назв і позначень одиниць фізичних величин.

На етапі виготовлення дослідного зразка ОВТ та проведення попередніх випробувань ВМЛС здійснюється з метою оцінювання відповідності розробленої конструкторської та експлуатаційної документації, експериментальних даних, отриманих у процесі попередніх випробувань, вимогам з МЛЗ виробу ОВТ, регламентованим чинними керівними та нормативними документами, а також заданим у ТТЗ (ТЗ) на виконання ДКР.

Рекомендований перелік типових завдань з МЛЗ виробу, які вирішуються на етапі:

- ▲ перевірка відповідності отриманих значень параметрів (характеристик) виробу, які вимірюються (контролюються), визначеним у ТТЗ (ТЗ);

- ▲ перевірка повноти та достатності викладення питань з МЛЗ виробу в експлуатаційній документації щодо правильності встановлення значень параметрів та значень їх допустимих відхилень, які вимірюються (контролюються) для визначення технічного стану виробу;

- ▲ перевірка номенклатури обраних ЗВТ, які використовуються в процесі експлуатації та підлягають періодичній повірці (калібруванню), та правильності вибору періодичності їх повірки (калібрування);

- ▲ перевірка повноти та достатності викладення питань МЛЗ у технічних умовах на виріб;

- ▲ перевірка правильності встановлення в конструкторській та експлуатаційній документації назв і позначень одиниць фізичних величин;

- ▲ перевірка правильності вибору і застосування ЗВТ та вимірювального обладнання, які використовувалися під час проведення попередніх випробувань, та матеріалів щодо їх атестації (повірки, калібрування).

Для отримання достовірності інформації щодо якості МЛЗ зразків ОВТ на всіх розглянутих у статті

етапах процес ВМЛс передбачає контроль за такими формами: поточний, поетапний і проведення МЕД на зразки ОВТ.

Поточний контроль здійснюється безперервно та постійно службою метрології та стандартизації, фахівцями розробника зразка ОВТ та військовими представництвами МО України. Поетапний контроль ВМЛс спрямовано на контроль виконання та уточнення вимог до МЛЗ зразків ОВТ під час приймання відповідних етапів. У процесі ВМЛс розроблення (модернізації) ОВТ важливим є організація та проведення МЕД на відповідних етапах життєвого циклу створення зразків ОВТ [6, 10].

Проведений аналіз засвідчив, що ВМЛс є важливою складовою частиною науково-технічного супроводження розроблення (модернізації) ОВТ і є цілеспрямованим процесом контролю та управління науковими та організаційно-технічними заходами із забезпечення необхідної єдності й точності вимірювань та достовірності вимірювального контролю параметрів (характеристик) зразків ОВТ, відповідності ТТХ вимогам ТТЗ (ТЗ) і чинним нормативним документам на відповідних стадіях (етапах) їх розроблення (модернізації).

Найважчий стан науково-методичних, організаційно-технічних та нормативних основ ВМЛс не дозволяє реалізувати його як повноцінну систему цілеспрямованих дій із управління якістю зразків ОВТУ; необхідне суттєве удосконалення усіх його складових частин. [7, 8].


#### ВИСНОВКИ

1. Визначено та систематизовано типові завдання з МЛЗ зразків (комплексів) ОВТ на етапах розроблення конструкторської та експлуатаційної документації, виготовлення дослідного зразка та попередніх випробувань.

2. Упровадження наведених результатів досліджень із розроблення та обґрунтування пропозицій щодо основних наукових і організаційно-технічних завдань дозволить створити систему ВМЛс та забезпечити високу ефективність вирішення завдань МЛЗ зразків ОВТ, які створюються (модернізуються).

3. Для успішного вирішення комплексу завдань із ВМЛс та врахування особливостей розроблення ОВТ доцільно розробити «Положення про військово-метрологічне супроводження розроблення (модернізації) ОВТ».

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Рішення Ради національної безпеки і оборони України про Стратегію національної безпеки України від 6 травня 2015 р. / Уведено в дію Наказом Президента України від 26 травня 2015 року за № 287/2015 (The decision of Council of national safety and defense of Ukraine on Strategy of national safety of Ukraine from May, 6th, 2015 / Is installed by the Order of the President of Ukraine from May, 26th, 2015 № 287/2015).
2. Постанова Кабінету Міністрів України № 1152 від 22.12.2015 «Про особливості метрологічної діяльності у сфері оборони» (The decision of the Cabinet of Ukraine from 22.12.2015 № 1152 «About features of metrological activity in defense sphere»).
3. Положення про організацію розроблення (модернізації) озброєння і військової техніки / Затверджено наказом Міністра оборони України від 10.08.2010 за № 416 (Position about the organization of working out (modernization) of arms and the military techniques / Is confirmed by the order of the Minister of Defense of Ukraine from 10.08.2010 № 416).
4. Положення про організацію наукової та науково-технічної діяльності у Збройних Силах України / Затверджено наказом Міністра оборони України від 13.06.2007 за № 9 (Position about the organization of scientific and scientific and technical activity in Armed forces of Ukraine / Is confirmed by the order of the Minister of Defense of Ukraine from 13.06.2007 № 9).
5. Демидов Б.А. Системно-концептуальные основы деятельности в военно-технической области / Б.А. Демидов, А.Ф. Величко, И.В. Волощук; под редакцией Демидова Б.А. — К.: Технол. Парк (Demidov B.A. System-conceptual bases of activity in military-technical area / B.A. Demidov, A.F. Velichko, I.V. Voloshchuk; under Demidov B.A.'s edition — K: Technological Park), 2006. — 1152 с/р.
6. Наказ МО України від 15.12.2006 за № 731 «Про затвердження нормативних документів з метрології та метрологічної діяльності»; розділ «Положення про проведення метрологічної експертизи документації на озброєння та військово-техніку» (The order of the Minister of Defense of Ukraine from 15.12.2006 № 731 «About the statement of standard documents from metrology and metrological activity»; section «Position about carrying out of metrological examination of the documentation on arms and the military techniques»).
7. Наказ МО України від 18.01.2010 за № 12 «Про затвердження Концепції розвитку системи метрологічного забезпечення у сфері оборони на період до 2015 року та на перспективу до 2025 року» (The order of the Minister of Defense of Ukraine from 18.01.2010 № 12 «About the statement of the Concept of development of system of metrological maintenance in defense sphere for the period till 2015 and on prospect till 2025»).
8. Хижняк В.В. Завдання метрологічного забезпечення військ та напрями їх виконання в умовах реформування Збройних Сил України / В.В. Хижняк, В.Ю. Камінський // Наука і оборона (V.V. Hizhnyak Problem of metrological maintenance of armies and a direction of their performance in the conditions of reforming of Armed forces of Ukraine / V.V. Hizhnyak, V.J. Kaminsky // The Science and defense). — 2009. — № 2. — С/Р. 55—60.
9. Буренок В.М. Управление качеством вооружения и военной техники / В.М. Буренок, А.А. Ивлев, С.С. Смирнов // Военная мысль (Burenok V.M. Quality management of arms and the military techniques / V.M. Burenok, A.A. Ivlev, S.S. Smirnov // Military thought). — 2006. — № 8. — С/Р. 18—23.
10. Гаврилов А.Б. Деякі погляди на проблемні питання організації метрологічного забезпечення через призму метрологічної експертизи документації на озброєння і військово-техніку, що розробляється (модернізується) / А.Б. Гаврилов, С.В. Красинський // ХУПС. — Системи озброєння і військова техніка (Gavrilov A.B. Some sights at problem questions of the organization of metrological maintenance through a prism of metrological examination of the documentation on arms and the military techniques which is developed it (is modernized) / A.B. Gavrilov, S.V. Krasinsky // HUPS. — Systems of arms and the military ethnics). — 2010. — № 1(21). — С/Р. 48—54. 

Отримано / received: 23.03.2017.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Л.Ф. Купченком (Україна).  
Prof. L.F. Kupchenko, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.

УДК ( 546.21 + 543.272.3 + 66.074.36 + 543.632.40 ) : ( 035.684 + 032.36 )

# ВМІСТ КИСНЮ, АЗОТУ, ВОДНЮ, ВУГЛЕЦЮ, СІРКИ В КОКСАХ ТА ГРАФІТОВИХ МАТЕРІАЛАХ\*

**М. Калинюк**, кандидат технічних наук, завідувач лабораторії,  
Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України, м. Київ

*Представлено огляд літератури з технології коксування вугілля та нафти, виготовлення графітових матеріалів, методів та приладів для аналізу коксів, графітів, нафтопродуктів на вміст С, Н, N, S, O. Показана недостатність інформації стосовно вмісту газових домішок (С, Н, N, S, O) у продуктах коксування й графітових тиглях, що використовують для аналізу газів у металах та інших неорганічних матеріалах. Розроблено методики аналізів коксів та графітових матеріалів на вміст С, Н, N, S, O на приладах CHN600, TC436, TN114, CHNS628 фірми LECO.*

*Literature review on technology of the coking of coal and petroleum, manufacture of graphite materials on methods and instruments for analyses of cokes, graphites, oil products on C, H, N, S, O contents are presented. Insufficiency of conformation about gaseous admixtures (C, H, N, S, O) in coking products and graphite crucibles, that are used for analyses gases in metals and others inorganic materials, are pointed. Methods of the analyses of cokes and graphite materials on C, H, N, S, O contents in CHN600, TC436, TN114, CHNS628 firm LECO are prepared.*

**Ключові слова:** визначення, кисень, азот, водень, вуглець, сірка, кокс, графіт.  
**Keywords:** determination, oxygen, nitrogen, hydrogen, carbon, sulphur, coke, graphite.

У роботах [1—4] наведено основні технології виробництва коксів. Сировиною для графітових матеріалів (ГМ) слугують продукти нафтової та кам'яно-вугільної промисловості [5—8]:

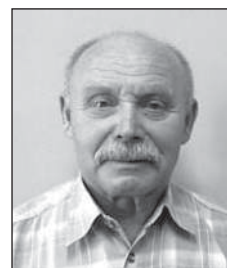
- піролізні та крекінгові нафтові кокси;
- антрацит та термоантрацит;
- пекові кокси;
- зв'язувальні матеріали (кам'яновугільні пеки та смолопеки).

ГМ використовують у металургії, машинобудуванні, хімічній та напівпровідниковій промисловості, авіа- та ракетобудуванні, електротехніці та електроніці, ядерній енергетиці. Такий широкий діапазон застосування ГМ пояснюється їхніми унікальними властивостями [5—8]:

- щільністю та пористістю, які можна регулювати в широкому інтервалі;
- високими міцністю, електро- та теплопровідністю, вогнетривкістю, зносо- та теплостійкістю в діапазоні температур від кімнатної до 3000 °С;
- низьким коефіцієнтом лінійного розширення (незмінністю розмірів зі зміною температури);
- можливістю точної механічної обробки.

У роботах [5—8] наведено технології вироблення різноманітних марок ГМ та виготовлення із них виробів. Основні фізико-механічні характеристики графітових матеріалів такі:

\* Автор висловлює щирі подяку Кріпаку В.Л. за консультації з технології коксування вугілля та нафтопродуктів і Кравченку В.О. за допомогу в проведенні аналізів коксів та графітових матеріалів на вміст сірки.



- ♦ щільність — (1,5...1,8) г / см<sup>3</sup>;
- ♦ зольність — ≤ 0,03 % мас.;
- ♦ механічна міцність на стискання — (100...1000) кгс/см<sup>2</sup>;
- ♦ пористість — (25...30) % мас.;
- ♦ питомий електроопір — (10...40) ом·мм<sup>2</sup>/м.

Для визначення вмісту газових домішок (O, N, H) у металах та інших неорганічних матеріалах використовують графітові тиглі (ГТ), які нагрівають у печах опору або в індукційних печах [9—11]. Ці тиглі виготовляють із графітових матеріалів (ГМ). Найбільш прийнятні для ГТ з точки зору аналізу газів у металах — марки МГ-1, МПГ-6-ОСЧ, МПГ-8-ОСЧ, основою яких є нафтові кокси [5—8].

Вуглець та сірку в неорганічних та органічних матеріалах визначають у тиглях, виготовлених із вогнетривів (ZrO<sub>2</sub> або SiO<sub>2</sub>).

Хімічний склад коксів, вміст та кількість домішок мають великий вплив на якість ГМ та ГТ [5—11].

Під час аналізу ГТ повинні досліджуватися [9—11, 43]:

1. контейнер для розміщення зразка, що аналізується;
2. нагрівач, через який проходить змінний електричний струм або який нагрівають у в/ч індукторі;
3. джерело постачання вуглецю в металевий розплав, у якому він розчиняється й реагує з неметалевими включеннями, що містяться у розплавленому металі, з утворенням молекул CO, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>. Останні потоком газу-носія (гелію, азоту, аргону) переміщують в детектори для визначення вмісту O, N, H.

Із часів СРСР до сьогодні аналізатори та ГТ для визначення вмісту газів у металах та неметалевих матеріалах — імпорتنі. У 70-80 роках минулого сторіччя в СРСР були намагання створити вітчизняні ГТ на заводах, що виробляли ГМ й виробили з них (у Новочеркаську, Електровугілля, Москві, Челябінську). В цих роботах брав активну участь і автор цієї статті [12, 13]. Погане розмежування функцій між підприємствами, що належали до різних міністерств, низький рівень обладнання та технологічної дисципліни, постійні та не завжди контрольовані коливання якості початкових компонентів стали на заваді повному виконанню цієї роботи. Але були й досягнення:

- \* підібрано основні компоненти ГМ для вироблення ГТ;
- \* визначено основні показники якості тиглів (табл. 1);
- \* досліджено вплив конструктивних особливостей тиглів та способів оброблення їхніх контактних поверхней на величину електричного струму, що проходить крізь ці тиглі;

Таблиця 1. Технічні характеристики графітових тиглів [12,13]

Table 1. Technical descriptions of the graphite crucibles [12,13]

Характеристика	Величина	
Густина, г/см <sup>3</sup>	> 1,50	
Пористість, % мас.	< 30	
Питомий електроопір, ом·мм <sup>2</sup> /м	15...30	
Механічна міцність на стискання, кгс/см <sup>2</sup>	≥ 150	
Вміст газових домішок, % мас.	Кисень	< 0,0005
	Азот	< 0,0005
	Водень	< 0,00005

\* вивчено взаємодію тиглів із розплавленими металами (сплавами на основі Fe, Ni, Co, Ti, Zr, Nb, V, W та інших);

\* визначено максимально допустимі рівні вмісту газів у графітових тиглях (аналіз тигля без металу);

\* проаналізовано метали та сплави на їх основі з високими та низькими вмістами O, N, H, неметалеві з'єднання (оксиди, нітриди, гідриди);

\* створено різні конструкції ГТ та визначено їх оптимальні розміри для аналізування металів з різними фізико-хімічними властивостями (температурами плавлення, випаровуваннями рідких металів, взаємодіями з графітом тощо);

\* виготовлено перші партії ГТ для аналізування металів та неорганічних матеріалів на вміст газових домішок.

Аналізи металів та неорганічних матеріалів на вміст O, N, H, виконані в імпорتنих та експериментальних вітчизняних графітових тиглях, засвідчили добру узгодженість результатів [12, 13].

На ринку ГТ часто зустрічається контрафактна продукція: розміри тиглів, їхня механічна міцність, електропровідність (електроопір), рівень холостої поправки та інші характеристики не відповідають навіть мінімальним вимогам (табл. 1).

Вихід із цієї ситуації — розроблення вітчизняних стандартів на ГТ, створення їхнього виробництва, розроблення еталонів коксів, графітів, вугілля на вміст кисню, азоту, водню, вуглецю та сірки.

У таблиці 2 наведено основні характеристики аналізаторів фірм *Leco, Eltra, Carlo Erbo, Horiba, Heraeus, Bruker, Velp Scientifica, Ströhlein* для визначення вмісту C, S, H, N, O у коксах, вугілля, нафтопродуктах, ГМ. Цю інформацію взято із рекламних проспектів фірм та інструкцій з експлуатації приладів. Аналітичні зразки спалюють у потоці

Таблиця 2. Аналізатори з визначення вмісту C, H, N, S, O в органічних сполуках (вугіллі, коксі, графіті та інших)

Table 2. Analysers for determination of the C, H, N, S, O contents in organic compounds (coals, cokes, graphites and others)

№	Фірма	Назва приладу	Параметри методики
1	Leco	SC 832 SC 632 TruVac TruSpec	Гориз.під опору, спалюв. проби в O <sub>2</sub> ≥ 99,5 %, маса проби (0,1..0,5) г, C, S (0,0003...100) %, IR детектор, T 1550 °C, τ (4...10) хв
		CHN 600 CHN 2000 CHNS 628 CHNO 2000	Верт. під опору, спалюв. проби в O <sub>2</sub> ≥ 99,5 %, проба (0,5...2) г, C (0,001 ...100) %, N, H, S, O (0,01...100) %, N-дет.теплопровід., O — піроліз, C, S — IR детектор, T 1000 °C, τ (4...10) хв
2	Eltra	CS 500 CS 2000	Гориз. під опору, спалюв. проби в O <sub>2</sub> ≥ 99,5 %, проба — до 0,5 г, C (0,0025...100) %, S (0,001.. 100) %, C, S — IR детект., T 1550 °C, τ (5..10) хв
3	Carlo Erbo	NA 1500 (H, N, C, S, O)	Верт. під опору, нагрів. проби в He 99,995 %, уведен. дози O <sub>2</sub> у момент спалюв., маса проби до 0,5 г, C,H,N,S,O (0,01...100) %, C,H,N,S — хроматограф, колонка, O — піроліз, T 1000 °C, τ (6...10) хв
		Thermoflash CHNSO EA1112	
4	Horiba	EMIA 8100 Series	Верт. під опору, спалюв. проби в O <sub>2</sub> ≥ 99,5 %, маса проби ~ 1,0 г, C (0...6) %, S (0...1) %, IR — детектор, T 1450 °C, τ (4...10) хв
5	Heraeus	CHN Rapid CN Rapid N Rapid	Верт. під опору, спалюв. проби в суміші O <sub>2</sub> 99,995 % + He 99,995 %, проба (0,5...25) мг, C,H (0,001...100) %, IR — детект., N (0,001... 50) %, детектор з теплопровідн., поглинання на сілікогелі, T 950 °C, τ (10...14) хв
6	Bruker	G4 Icarus TF	Гориз. під опору, спалюв. проби в O <sub>2</sub> ≥ 99,5 %, проба (0,1...0,5) г, C, S (0,0005...100) %, IR — детектор, T 1550 °C, τ (4...6) хв
7	Velp Scientifica	NDA 701	Верт. під опору, спалюв. проби в O <sub>2</sub> ≥ 99,5 %, маса проби до 0,2 г, N (0,003...50) %, детектор з теплопровідності, T 1000 °C, τ (4...6) хв
8	Str hlein	C - mat 500 S - mat 500	Гориз. під опору, спалюв. проби в O <sub>2</sub> ≥ 99,5 %, маса проби (0,1...0,5) г, C,S (0...4) %, IR — детектор, T 1350 °C, τ 4 хв
		Coulomat 702	Гориз. під опору, спалюв. проби в O <sub>2</sub> ≥ 99,5 %, маса проби 0.2 г, C (0...10) %, S (0...5) %, IR — детектор, T 1350 °C, τ 4 хв

кисню з використанням горизонтальних чи вертикальних печей опору. Фірма Carlo Erbo пропонує нагрівання проби, що аналізується, в потоці He ≥ 99,995 % мас. із уведенням дози кисню в момент спалювання цієї проби. На приладах фірми Heraeus пробу спалюють у суміші He з O<sub>2</sub> (чистота газів ≥ 99,995 % мас.). Використання кисню чистотою < 99,5 % мас. не дозволяє визначати вміст азоту в органічних матеріалах [43]. Для всіх приладів температури аналізів коливаються в інтервалі (950...1550) °C, а маси наважок — 0,5 мг...2,0 г. Прилади, зазначені в табл. 2, створено для аналізів органічних матеріалів. Із неорганічних сполук лише гідриди деяких перехідних металів (Ti, Zr, Nb тощо) можна аналізувати на вміст водню шляхом спалювання аналітичної наважки в потоці кисню [43].

Існує багато стандартів різних країн (США, Китаю, Польщі, України, РФ, інших) із методів визначення вмісту O, N, H, C, S у вугіллі, коксах, нафтових та графітових матеріалах:

Наприклад, щодо вуглецю [14, 15, 19, 24, 32—37, 39, 40];

водню [14, 15, 19, 24, 32—34, 39, 41];

азоту [14, 15, 23, 24, 26, 30—34, 37—39];

кисню [25, 38, 41, 42];

сірки [17, 22, 29, 35, 36];

вологи [18, 21, 27];

підготування проби [16, 20, 28].

На жаль, є дуже мало публікацій із практичного застосування цих стандартів. У роботах [30, 31] використано модифікований метод Кьельдаля для визначення вмісту азоту в коксах, вугіллі, нафтопродуктах. У роботах [41, 42] представлено методики визначення вмісту кисню й водню у вуглецевих матеріалах та нафтових залишках. У роботах [32—39] наведено методичні рекомендації з визначення C, H, N, O, S у коксах, вугіллі, нафтопродуктах на приладах фірми LECO.

За використання температур спалювання (нагрівання) проб до 1550 °C можна визначити вміст кисню



та азоту, які містяться лише в органічній частині вугілля, коксу, ГМ, ГТ, нафтопродуктів. Кисень й азот, що містяться в мінеральній частині цих матеріалів у виді оксидів і нітридів, не можуть бути визначені за таких температур у процесах аналізів [9—11, 43]. За термічного розкладання аналітичної наважки в потоці інертного газу (аргону, азоту) кисень із палива виділяється у виді  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  [25]. Ці оксидні сполуки відновлюються над розжареною гранульованою чистою чи платинованою (із нанесенням платини) сажею до  $\text{CO}$  і  $\text{H}_2$ . Температура відновлення на чистій сажі (1100...1200) °С, а на платинованій — (900...1000) °С. Такі температури низькі для відновлення оксидів і нітридів, що містяться як домішки у мінеральній частині вугілля, коксу, нафтопродуктів [9—11].

Автори роботи [39] визначали вміст кисню й азоту в коксі, графіті та вуглеці шляхом нагрівання аналітичних зразків, розміщених у графітових тиглях, у потоці гелію. Але замість температур дегазації тиглів й аналізу зразків вони наводять потужність електричного струму, який проходить крізь ці тиглі. Такої інформації недостатньо для судження щодо температури нагрівання тиглів під час дегазації й аналізу [43].

У роботах [23, 26, 30, 31] вміст азоту в коксах, вугіллі, нафтопродуктах визначали методом Кьельдаля. Час аналізу за цим методом  $\geq 2$  години. У цьому методі використовують кислоти, луги, інші шкідливі хімічні речовини, що вимагає суворої техніки безпеки

Із літературного огляду можна зробити такі висновки:

1. За спалення (термічного розкладання в інертному газі) аналітичних наважок із коксу, вугілля, нафтопродуктів в атмосфері кисню можна визначити вміст кисню й азоту лише в органічній частині матеріалу. Із оксидів та нітридів, що містяться в мінеральній частині, кисень й азот не можуть бути екстраговані в газову фазу, а їхні концентрації не можуть бути визначені.

2. Вміст вуглецю, водню й сірки в коксах та ГМ можна визначити шляхом спалення аналітичних наважок у кисні.

3. У хімічних методах аналізів, для визначення вмісту кисню й азоту в коксах, вугіллі, нафтопродуктах, використовують шкідливі реактиви (кислоти, луги та інші).

4. Дуже мало інформації стосовно практичного застосування методів визначення вмісту O, N, H, C, S у реальних графітових матеріалах і тиглях.

У нашій роботі використано кокси вітчизняного та зарубіжного виробництва, що пройшли різну технологічну обробку (табл. 3). Зразки коксу масою (0,03...0,5) г сушили в муфельній печі за 110 °С протягом (1,5...2) годин [18, 21, 27]. Ці зразки перед аналізом зберігали в ексикаторі, який заповнювали аргоном. Останній, перед подаванням в ексикатор, осушували фосфорним ангідридом та (або) хлористим кальцієм. Ці хімічні реагенти також закладали в ексикатор. У пробопідготованні враховано рекомендації робіт [16, 20, 28].

Експерименти проведено з використанням приладів фірми LECO: TC436 (кисень, азот), RO316 (кисень), TN114 (азот), CHN600 (вуглець, водень), CHNS628 (сірка). Визначено оптимальні параметри аналізів коксу на вміст O, N, H, C, S:

1. Вміст кисню й азоту в коксах, ГМ та ГТ визначався на приладах TC436, RO316, TN114 із використанням графітових тиглів фірми LECO з урахуванням інформації [38]. На цих приладах можна визначити вміст кисню й азоту, які містяться

Таблиця 3. Матеріали, які використано в роботі

Table 3. Materials, which were used in work

№	Матеріал	Назва
1	Кокс	Красноводський, сирий
2		фракція - 2 + 1
3		відпал у вакуумі 1300 °С
4		фракція - 2 + 1
5		Піролізний, сирий
6		фракція - 4 + 2
7		відпал у вакуумі 1300 °С
8		фракція - 4 + 2
9		Крекінговий, сирий
10		фракція - 2 + 1
11	Графіт	Фірма «Сопосо», марка «Superpremium», КТР $1,7 \times 10^{-7}$ 1/град
12		фракція - 2 + 1
13		фракція - 4 + 2
14		фракція - 2 + 1
15		фракція - 2 + 1
16	Графітовий тигель LECO	фракція - 6 + 1
17	Графітовий тигель LECO після дегазації 2500 °С	- 4 + 2
18	Графітовий тигель НЕЗ	- 2 + 1
19	Графітовий тигель НЕЗ після дегазації 2500 °С	- 1 мм
20	Графітовий тигель ЕЕЗ	фракція - 2 + 1
21	Графітовий тигель ЕЕЗ після дегазації 2500 °С	фракція - 2 + 1

в коксах, ГМ та ГТ у виді оксидів, нітридів, вологи, молекулярних кисню й азоту, адсорбованих їхніми розвиненими поверхнями. Нами визначено, що результати аналізів не залежать від конструкцій тиглів різних фірм-виробників та від температури нагрівання тиглів (2000...2500) °С. Визначено, що аналітичний зразок може складатися із декількох шматочків. Результати аналізів не залежать від маси аналітичної наважки в діапазоні (0,03...0,5) г. Аналізи можна проводити в автоматичному або ручному режимах. Достатньо важко вважати зразки, які аналізувалися, такими, що представляють увесь масив коксу. Тому виконувалися 5—10 паралельних визначень. Великий розкид отриманих результатів можна пояснити нерівномірністю розподілення кисню й азоту в коксах. Це зумовлюється великою пористістю коксів (розвиненими поверхнями коксів).

Кисень у коксах міститься у виді  $H_2O$  та  $O_2$ , адсорбованих із повітря пористою поверхнею коксу, оксидів Si, Ca та інших елементів. Азот у коксах міститься в хімічних сполуках (нітридах) й адсорбованому стані на розвинених поверхнях шматочків коксів [1—8]. Методом Кьельдаля можна визначати вміст азоту, зв'язаного в хімічні сполуки. Аналізи коксів цим методом засвідчили, що в коксах азот не зв'язаний з вуглецем або іншими елементами у хімічні сполуки. У пробах коксів № 1, 3, 5, 7, 8, 9 (табл. 3) вміст азоту не перевищував 0,005 % мас. На мас-спектрометрі МСХ4 з високотемпературною чарункою Кнудсена визначено спектри з'єднань вуглецю з різними елементами (C, CO,  $CO_2$  та іншими). Спектрів типу  $C_nN_m$  не визначено. На растровому електронному мікроскопі JEM840 з аналізатором ORTEC (з хвильовою дисперсією) не виявлено з'єднань вуглецю з азотом. На спектрофотометрі UP20 визначали спектри поглинання інфрачервоного випромінювання. Цианід іону  $[CN^-]$ , який легко ідентифікується на цьому приладі, не визначено. На цих приладах неможливо визначити вміст азоту, зв'язаного в нітриди перехідних металів. Ось чому для визначення вмісту кисню й азоту в коксах, ГМ та ГТ необхідно застосовувати методи екстракції шляхом нагрівання зразка, що аналізується, у графітовому тиглі в потоці газу-носія (прилади TC436, TN114). Нами не визначався вміст азоту в коксах на приладах CHN600, CHNS628 методом спалювання коксу в потоці кисню [43].

Оптимальні параметри аналізів:

► температура дегазації порожнього тиглю 2500 °С;

- температура аналізу 2200 °С;
- маса наважки (0,2...0,3) г;
- час аналізу 40 с.

2. **Вміст вуглецю в коксах, ГМ та ГТ** визначався на приладі CHN600 [43]. Зразок, що аналізується, поміщали в олов'яну чи мідну капсулу. Останню спалювали в кварцовому тиглі в потоці кисню. Газова суміш надходила в детектор, що працює за принципом поглинання інфрачервоного випромінювання вуглекислим газом, який утворюється під час спалювання зразка коксу.

Експериментально визначено оптимальні параметри аналізів:

- ▲ температура спалювання 900 °С;
- ▲ маса наважки (0,05...0,10) г;
- ▲ час аналізу 5 хв.

3. **Вміст водню в коксах, ГМ та ГТ** визначався на приладі CHN600. У роботі [43] показано, що використання аналізаторів RH2, RH402 для визначення вмісту водню в коксах, ГМ та ГТ обмежено. На приладі CHN600 разом із вуглецем визначався вміст водню. Суміш газів, що утворюється під час спалювання зразка, надходить в детектор, у якому пари води поглинають інфрачервоне випромінювання [43]. Оптимальні параметри аналізу наведено вище.

4. **Вміст сірки в коксах, ГМ та ГТ** визначався на приладі CHNS628. Нами враховано рекомендації робіт [17, 22, 29, 35, 36]. Оптимальні параметри аналізів:

- ▼ температура спалювання (1100...1200) °С;
- ▼ маса наважки (0,05...0,10) г;
- ▼ час аналізу (2...3) хв.

У таблиці 4 наведено результати аналізів коксів та ГТ (із табл. 3) на вміст C, H, N, O, S:

1. **Відпалювання** коксу (№ 1, 3, 5) та графітових тиглів (№ 10, 12, 14) у вакуумі дозволяє знизити концентрації O, H, N у коксах (№ 2, 4, 6) та ГТ (№ 11, 13, 15) до рівня імпортованих невідпалених тиглів (№ 7, 8, 9).

2. **В імпортованих** невідпалених коксах (№ 7, 8, 9) концентрації O, H, N значно нижчі, ніж у вітчизняних невідпалених коксах (№ 1, 3, 5).

3. **У невідпалених** коксах (№ 1, 3, 5) великий вміст O, H, N і низький — вуглецю. Вакуумне оброблення коксів за порівняно низької температури (1300 °С) дозволяє знизити вміст газів (O, H, N) та підвищити вміст вуглецю.

4. **У невідпалених** коксах (№ 1, 3, 5) вміст водню в 30 разів вищий, ніж у коксах, які вакуумовано за 1300 °С (№ 2, 4, 6). В останніх вміст водню приблизно такий же, як і в імпортованих коксах (№ 7, 8, 9).

Таблиця 4. Аналіз коксів та графітових тиглів на вміст С, О, Н, N, S. % мас. \*  
 Table 4. Analysis of the cokes and graphite crucibles on C, O, H, N, S content, % mass. \*

№	Вуглець CHN 600	Кисень TC 436 RO 316	Азот TN 114 TC 436	Водень CHN 600	Сірка CHNS 628
1	92,71 ± 0,03	1,70 ± 0,41	1,80 ± 0,41	3,12 ± 0,25	0,67 ± 0,02
2	99,02 ± 0,03	0,03 ± 0,01	0,21 ± 0,08	0,10 ± 0,04	0,64 ± 0,02
3	93,70 ± 0,02	1,75 ± 0,42	1,02 ± 0,35	3,21 ± 0,10	0,32 ± 0,02
4	99,53 ± 0,02	0,04 ± 0,04	0,03 ± 0,01	0,10 ± 0,05	0,30 ± 0,02
5	93,69 ± 0,05	1,23 ± 0,06	1,80 ± 0,35	2,61 ± 0,31	0,67 ± 0,02
6	99,09 ± 0,05	0,02 ± 0,01	0,17 ± 0,05	0,08 ± 0,03	0,64 ± 0,02
7	99,33 ± 0,03	0,03 ± 0,01	0,15 ± 0,04	0,09 ± 0,03	0,40 ± 0,02
8	99,31 ± 0,02	0,03 ± 0,01	0,22 ± 0,05	0,10 ± 0,05	0,34 ± 0,02
9	99,35 ± 0,02	0,03 ± 0,01	0,21 ± 0,05	0,11 ± 0,03	0,30 ± 0,02
10	99,99 ± 0,02	0,0015 ± 0,0002	0,0015 ± 0,0002	0,0015 ± 0,00002	0,0022 ± 0,0005
11	99,99 ± 0,02	0,0005 ± 0,0001	0,0005 ± 0,0001	0,00005 ± 0,00001	0,0006 ± 0,0003
12	99,99 ± 0,02	0,0015 ± 0,0003	0,0015 ± 0,0003	0,0015 ± 0,00005	0,0038 ± 0,0005
13	99,99 ± 0,02	0,0002 ± 0,0001	0,0002 ± 0,0001	0,00005 ± 0,00003	0,0020 ± 0,0004
14	99,99 ± 0,02	0,0005 ± 0,0003	0,0005 ± 0,0003	0,0001 ± 0,00003	0,0019 ± 0,0005
15	99,99 ± 0,02	0,0002 ± 0,0001	0,0002 ± 0,0001	0,00005 ± 0,00003	0,0008 ± 0,0003

\* — середнє із (5...10) паралельних визначень

5. **Вміст сірки** у невідпалених (№ 1, 3, 5) та відпалених (№ 2, 4, 6) коксах практично однаковий, оскільки температура відпалювання (~1300 °C) низька.

6. **Деякі елементи** (кисень, азот й, особливо, сірка) дуже погано видаляються під час коксування вугілля та нафти й вироблення ГМ та ГТ, навіть за температур ~2000 °C [1—8]. Дегазація графітових тиглів (№ 10, 12, 14) за температур ~2500 °C дозволяє значно знизити в них (№ 11, 13, 15) вміст кисню, водню, азоту та сірки.

У таблиці 5 наведено результати аналізів коксів № 1, 2 (із табл. 3), які послідовно виконано через різний час їхньої витримки в ексікаторі в атмосфері осушеного аргону. Перед першим аналізом зразки сушили за температури ~110 °C протягом (1,5...2) годин. Вміст С, Н, N, O, S у коксах не підвищується під час зберігання протягом 48 годин. Це дозволяє ретельно готувати експерименти з визначення концентрацій С, Н, N, O, S у коксах, ГМ та ГТ.

Вміст O, N, H, S, С практично не залежить від розміру фракції коксу (табл. 6).

Таблиця 5. Залежність вмісту O, N, H, S у коксах (№ 1, 2) від терміну їхнього зберігання після аналізу, % мас. \*

Table 5. O, N, H, S contents in cokes (№ 1, 2) on dependence from term of their keeping after analyze, % mass. \*

№ коксу	Термін зберігання, година					Аналізатор
	0	0,2	1,0	4,0	48,0	
1	1,70 ± 0,41	0,0023 ± 0,0013	0,0019 ± 0,0011	0,0020 ± 0,0013	0,0018 ± 0,0010	Кисень TC 436 RO 316
2	0,032 ± 0,014	0,0017 ± 0,0010	0,0019 ± 0,0010	0,0015 ± 0,0009	0,0016 ± 0,0011	
1	1,80 ± 0,41	0,0003 ± 0,0002	0,0003 ± 0,0002	0,0003 ± 0,0001	0,0003 ± 0,0002	Азот TN 114
2	0,21 ± 0,08	0,0004 ± 0,0002	0,0003 ± 0,0002	0,0003 ± 0,0002	0,0003 ± 0,0001	
1	3,12 ± 0,25	0,0010 ± 0,0005	0,0009 ± 0,0004	0,0010 ± 0,0005	0,0011 ± 0,0004	Водень CHN 600
2	0,10 ± 0,04	0,0004 ± 0,0002	0,0005 ± 0,0002	0,0004 ± 0,0002	0,0004 ± 0,0002	
1	0,67 ± 0,02	0,051 ± 0,010	0,051 ± 0,010	0,050 ± 0,011	0,051 ± 0,010	Сірка CHNS 628
2	0,64 ± 0,02	0,049 ± 0,012	0,050 ± 0,010	0,049 ± 0,011	0,051 ± 0,010	

\* — середнє із (5...10) паралельних визначень

Таблиця 6. Залежність вмісту С, О, N, H, S у коксах від розміру фракції, % мас.\*

Table 6. C, O, N, H, S contents in cokes on dependence from fraction, % мас.\*

№ коксу	Аналізатор	Фракція, мм			
		- 6 + 1	- 4 + 2	- 2 + 1	- 1
7	Кисень TC 436, RO 316	0,033 ± 0,007	0,028 ± 0,008	0,033 ± 0,007	0,034 ± 0,006
	Азот TN 114	0,15 ± 0,04	0,17 ± 0,04	0,15 ± 0,03	0,16 ± 0,03
	Водень CHN 600	0,112 ± 0,009	0,069 ± 0,005	0,105 ± 0,027	0,085 ± 0,006
	Сірка CHNS 628	0,422 ± 0,022	0,410 ± 0,017	0,407 ± 0,011	0,411 ± 0,018
	Вуглець CHN 600	99,28 ± 0,03	99,36 ± 0,03	99,28 ± 0,03	99,32 ± 0,03

\* — середнє із (5...10) паралельних визначень

### ВИСНОВКИ

Розроблено методики аналізів коксів, графітових матеріалів та тиглів на вміст С, Н, N, O, S на приладах TC436, RO316, TN114, CHN600, CHNS628.

Вміст С, Н, N, O, S у коксах, графітових матеріалах та тиглях може коливатися у межах:

O — (0,0002...2) % мас.;

H — (0,00005...3) % мас.;

N — (0,0002...2) % мас.;


S — (0,0005...0,7) % мас.;

C — (99,00...99,99) % мас.

i залежить від технології їхнього вироблення.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Speight J.G., The Chemistry and Technology of Coal, CRS Press, Taylor and Francis Group, 2013, 835 s.
2. Speight J.G., The Chemistry and Technology of Petroleum, CRS Press, Taylor and Francis Group, 2006, 955 s.
3. Кауфман А.А., Харлампович Г.Д., Технология коксохимического производства, Екатеринбург, ВУХИННКА (Kaufman A.A., Kharlampovich G.D., Technology of the cokechemical industry, Ekaterinburg VChInNKA), 2005, 288 с/р.
4. Иванов Е.Б., Мучник Д.А., Технология производства кокса, К., Вища школа (Ivanov E.B., Muchnik D.A., Technology of the cokereproduction, K., Vysha shkola), 1976, 232 с/р.
5. Свойства конструкционных материалов на основе углерода, Справочник, Нагорный В.Г., Котосаров А.С., Островский В.С. и др., М., Металлургия (Propertes of the designing materials, basing on carbon, Reference book, Nagorni V.G., Kotosarov A.S., Ostrovski V.S. and others, M., Metallurgy), 1975, 336 с/р.
6. Шулепов С.В., Физика углеграфитовых материалов, М., Металлургия (Shulerov S.V., Physics of the carbographite materials, M., Metallurgy), 1972, 256 с/р.
7. Соседов В.П., Чалых Е.Ф., Графитизация углеродистых материалов, М., Металлургия (Sosedov V.P., Chalykh E.F., Graphitization of the carbonic materials, M., Metallurgy), 1987, 176 с/р.
8. Рогайлин М.И., Чалых Е.Ф., Справочник по углеграфитовым материалам, М., Металлургия (Rogaylyn M.I., Chalykh E.F., Reference book in carbongraphite materials, M., Metallurgy), 1974, 206 с/р.
9. Вассерман А.М., Кунин Л.Л., Суевой Ю.Н., Определение газов в металах, М., Наука (Vasserman A.M., Kunin L.L., Surovoj Y.N., Determination gases in metals, M., Nauka), 1976, 344 с/р.
10. Melnik L.M., Lewis L.L., Holt B.D., Determination of Gaseous Elements in Metals, N.Y., L., S., T., Willey Int Publ., 1975, 751 s.
11. Калинюк М.М., Організація процесу аналізу титанових сплавів на вміст домішок кисню, азоту, водню та вуглецю, Метрологія та прилади (Kalyniuk M.M., Arrangement of the process of the analysis of titanium alloys on contents of the impurities of oxygen, nitrogen, hydrogen and carbon, Metrology and instruments), 2014, № 2, С/Р. 50—57.
12. Глодин Ю.Н., Калинюк Н.Н., Кузнецов Л.Б., Малько Б.И., Разработка отечественных графитовых тиглей для определения газообразующих примесей в неорганических материалах методом восстановительного плавления в вакууме, Электроугли, Известия ВНИЭИ (Glodin Y.N., Kalyniuk N.N., Kuznetsov L.B., Malko B.I., Creation of the home production of graphite crucibles for detervation gaseous impurities in inorganic materials by method of restoration melting in vacuum, Electrocoal, Transactions VNIIE), 1982, № 3, С/Р. 21—25.
13. Калинюк Н.Н., Глодин Ю.Н., Мищенко З.М., Елисеенко А.Г., Исакова С.М., Лачугина Н.И., Отечественные графитовые тигли для анализаторов RO 16, RH 2, Сб. докладов семинара «Опыт ЦЗЛ по совершенствованию и автоматизации методов аналитического контроля качества материалов в черной металлургии «ЧДНТП, Челябинск (Kalyniuk M.M., Glodin N.N., Mishchenko Z.M., Eliseenko A.G., Isakova S.M., Lachugina N.I., Domestic graphite crucibles for analysers RO 16, RH 2, Collecnon of the reports Seminar «Experience Centr.plant laboratories on improvement and avtomation by methods of the analytical control of materials quality in black metallurgy», ChDNTTP, Chelybinsk), 1981, С/Р.
14. ASTM D 5373-14. Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Analyses Samples of Coal and Coke.

15. ASTM D 5291-02. Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Petroleum Products and Lubricants.
16. ASTM D 2013-07. Standard Practice for Preparing Coal Samples for Analysis.
17. ASTM D 4239-08. Standard Test Methods for Sulfur in the Analysis Samples of Coal and Coke, Using High Temperature Tube Furnace Combustion Method.
18. ASTM D 3173-03. Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke.
19. GB/T 476-2008. Determination of Carbon and Hydrogen in Coal.
20. ДСТУ 4389-2005. Кокс пековий електродний. Технічні умови (DSTU 4389-2005. Coke pek elektrodic. Technical conditions).
21. ДСТУ/ISO 579-2002 зм.1. Кокс. Метод визначення загальної вологи (DSTU/ISO 579-2002 ch.1. Coke. Method of the determination of total moisture).
22. ДСТУ 3528-97. Паливо тверде мінеральне. Визначення загальної сірки. Метод Ешка (DSTU 3528-97. Fuel solid mineral. Determination of the total sulphur. Method Eshka).
23. Polska norma PN-79 G-04523. Oznaczenie zawarości azotu metoda Kjeldahla.
24. ГОСТ Р 54244-2010 (ИСО 29541-2010). Топливо твердое минеральное. Инструментальный метод определения углерода, водорода и азота (GOST R 54244-2010 (ISO 29541-2010). Fuel solid mineral Instrumental method of the determination of carbon, hydrogen and nitrogen).
25. ГОСТ 2408.3-95 (ИСО 1994-76). Топливо твердое. Методы определения кислорода (GOST 2408.3-95 (ISO 1994-76). Fuel solid. Methods of the oxygen determination).
26. ГОСТ 28743-93 (ИСО 333-96). Топливо твердое минеральное. Методы определения азота (GOST 28743-93 (ISO 333-96). Fuel solid mineral. Methods of the determination of nitrogen).
27. ГОСТ 27589-91 (ИСО 687-74). Кокс. Метод определения влаги в аналитической пробе (GOST 27589-91 (ISO 687-74). Coke. Method of the determination of moisture in analytical sample).
28. ГОСТ 23083-78 изм. 1, 2, 3. Кокс каменноугольный и термоантрацит. Методы отбора и подготовки проб для испытаний (GOST 23083-78 ch.1, 2, 3. Coalcoke and thermoanthracite. Methods of the selection and preparation of the samples for testing).
29. ГОСТ 2059-95 изм. 1. Топливо твердое минеральное. Метод определения общей серы сжиганием при высокой температуре (GOST 2059-95 ch.1. Fuel solid mineral. Method of the determination of total sulphur by burning with high temperature).
30. Krejzenewska T., Kubica K., Oznaczenie azotu w weglu I produktach jego uplanicoia, koks, smola, gaz. 1978, № 11—12.
31. Jaha A., Lrebek L., Analiza elementarna paliv stalyh, Zmodifikovana metoda Kjeldahla, Koks, smola, gaz. 1978, № 11—12.
32. Form № 203-601-028. Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Cokes. Application bulletin. LECO Corp., July, 1984.
33. Form № 203-821-272. Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Coal. Application bulletin. LECO Corp., October, 2010.
34. Form № 203-821-402. Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Coke. Application bulletin. LECO Corp., November, 2013.
35. Form № 203-821-497. Sulfur and Carbon in Coal and Coke. Application bulletin. LECO Corp., October, 2015.
36. Form № 203-821-304. Sulfur and Carbon in Coal, Coke and Graphite. Application bulletin. LECO Corp., October, 2010.
37. Form № 203-821-430. Carbon and Nitrogen in Coal, Coke, Carbon Black and Graphite Application bulletin. LECO Corp., November, 2014.
38. Form № 203-821-037. Oxygen and Nitrogen in Carbon Black, Graphite and Calcined Coke. Application bulletin. LECO Corp., November, 1996.
39. Form № 203-821-356. Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Coke and Graphite. Application. LECO Corp., October, 2009.
40. Айзенберг А.Н., Гончаров Е.И., Ефремов В.А., Применение экспресс-анализатора АН-29 в фазовом анализе графитсодержащих огнеупорных материалов. Производство огнеупоров, Л. (Aizenberg A.N., Goncharov E.I., Efremov V.A., Application of the express-analyzer AN-29 in phase analysis of the refractory materials with graphite. Refractory production, L), 1978, С/Р. 73—80.
41. Егорова В.А., Ефремов Г.М., Петров А.А., Спектрально-изотопное определение водорода и кислорода в углеродных материалах, Ж. аналит. химии (Egorova V.A., Efremov G.M., Petrov A.A. Spectro-izotopical determination of hydrogen and oxygen in carbon materials, J. analyt. chemistry), 1984, 39, № 2, С/Р. 256—261.
42. Кудашева Ф.Х., Гандалипов Ф.А., Журенко И.Ф. Тимербаева А.А., Газохроматографическое определение кислорода в нефтяных остатках, Заводская лаборатория (Kudashova F.Kh., Gandalyrov F.A., Jurenko I.F., Timerbaeva A.A., Gaschromatographical determination of oxygen in petroleum rests, Zavodskaja laboratoria), 1986, 52, № 4, С/Р. 10—12.
43. Калинюк М.М.. Визначення вмісту водню в гідрідах перехідних металів 4А та 5А груп періодичної системи елементів, Метрологія та прилади (Kalyniuk M.M., Determination of hydrogen content in hydride of the transitional metals 4A and 5A groups of periodic system of elements, Metrology and instruments), 2016, № 3, С/Р. 62—70. 

Отримано / received: 19.06.2017.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н. О.Д. Сміяном (Україна).  
D. Sc. (Techn.) O.D. Smiyan, Ukraine, recommended this article to be published.

УДК 006.3/8

# ЩОДО ДІЯЛЬНОСТІ ТЕХНІЧНОГО КОМІТЕТУ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ТК 156

**О. Самойленко**, доктор технічних наук, професор, директор науково-виробничого інституту геометричних, механічних і віброакустичних вимірювань, голова ТК 156,

**С. Ціпоренко**, начальник науково-виробничого відділу вимірювань маси, заступник голови ТК 156,

**Б. Салганик**, провідний інженер з метрології відділу, відповідальний секретар ТК 156, ДП «Укрметртестстандарт», м Київ

*Представлено інформацію щодо структури та діяльності ТК 156 «Прилади для вимірювань маси, сили, деформації та механічних випробувань матеріалів»*

*The information below gives an overview of the structure and activity of TC 156 «Instruments for the measuring of mass, strength, deformation and mechanical testing of materials»*

**Ключові слова:** Технічний комітет, стандартизація, вимірювання, маса, сила, деформація, механічні випробування.

**Keywords:** Technical committee, standardization, measuring, mass, strength, deformation, mechanical testing.

У 1992 році на базі Київського науково-виробничого об'єднання «Веда» (м. Київ) створено технічні комітети стандартизації ТК 34 «Прилади ваговимірювальні» та ТК 35 «Машини й прилади для вимірювання зусиль і деформації», які проводили певні роботи за закріпленими напрямками діяльності.

Але згодом ТОВ «Веда», яке є правонаступником НВО «Веда», з об'єктивних причин перестало виконувати роботи із ведення секретаріатів зазначених вище ТК, й їх діяльність практично припинилася. Останнє негативно позначилося на роботах зі стандартизації у сфері вимірювань маси, сили та деформації, на розроблянні та впровадженні міжнародних, національних і міждержавних нормативних документів за цими видами вимірювань.

Ураховуючи нагальну потребу у відновленні діяльності зі стандартизації у зазначених видах вимірювань, ДП «Укрметртестстандарт», який має висококваліфікованих фахівців у цій сфері, власну унікальну метрологічну та випробувальну бази, в тому числі комплекс силовідтворювальних машин фірми KYOWA (Японія), вторинний еталон одиниці маси — кілограма ВЕТУ 02-01-01-98, установку для відтворення одиниці деформації СЧИ, звернувся у 2006 році до Держспоживстандарту України з пропозицією щодо створення на своїй базі нового технічного комітету стандартизації, діяльність якого охоплюватиме в тому числі об'єкти стандартизації, які були раніше закріплені за ТК 34 і ТК 35.

Наказом Держспоживстандарту від 14.06.2006 № 164 створено ТК «Прилади для вимірювань маси, сили, деформації та визначення механічних характеристик матеріалів» (ТК 156). Здійснення функцій його секретаріату покладено на ДП «Укрметртестстандарт».

Цим же наказом призначено голову, заступників голови, відповідального секретаря ТК. За ТК 156 закріплено такі об'єкти стандартизації:

- гирі еталонні та загального призначення, ваги еталонні, ваги лабораторні загального призначення;
- ваги неперервної дії конвеєрні, дозатори вагові неперервної дії, ваги для зважування транспортних засобів у русі;
- ваги для статичного зважування, пристрої ваговимірювальні, дозатори вагові дискретної дії;



О. Самойленко



С. Ціпоренко



Б. Салганик

- машини еталонні силовідтворювальні, датчики сило- та ваговимірювальні, пристрої силовимірювальні, динамометри та пристрої динамометричні, прилади для вимірювань крутильного моменту сили;

- тензорезистори вимірювальні, стенди для відтворення одиниці деформації;

- машини та прилади для визначення механічних характеристик матеріалів.

Наказом Держспоживстандарту від 30.01.2007 № 12 затверджено положення про ТК 156 та його структуру. Згідно з ним до структури ТК 156 входило 6 підкомітетів:

- ПК 1 Засоби для вимірювань маси еталонні;

- ПК 2 Ваги і дозатори неперервної дії, ваги для зважування транспортних засобів у русі;

- ПК 3 Засоби для вимірювань маси робочі;

- ПК 4 Еталони одиниць сили, датчики сило- та ваговимірювальні, прилади для вимірювань крутильного моменту сили;

- ПК 5 Машини та прилади для визначення механічних характеристик матеріалів;

- ПК 6 Прилади для вимірювань деформації.

На момент створення ТК 156 до його складу входило 26 організацій і підприємств.

Останнім часом стався ряд змін у законодавчому і нормативно-правовому забезпеченні сфери технічного регулювання, а саме:

- \* прийнято Закони України «Про метрологію та метрологічну діяльність», «Про стандартизацію» та «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» [1—3];

- \* затверджено Технічні регламенти щодо неавтоматичних зважувальних приладів, засобів вимірювальної техніки та законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки;

- \* наказами Мінекономрозвитку від 29.06.2016 № 1048, від 01.09.2016 № 1435, від 13.09.2016 № 1512 затверджено переліки національних стандартів, відповідні до яких надає презумпцію відповідності продукції суттєвим вимогам зазначених технічних регламентів;

- \* затверджено національний стандарт ДСТУ 1.14:2015 «Національна стандартизація. Процедури створення, діяльності та припинення діяльності технічних комітетів стандартизації»;

- \* створено Національний орган стандартизації, функції якого наказом Мінекономрозвитку покладено на ДП «УкрНДНЦ».

У 2016 році відбулася реорганізація ТК 156, основною метою якої стало приведення назви та структури ТК 156 у відповідність із «дзеркальними» технічними комітетами стандартизації міжнародних організацій *OIML*, *ISO*, *CENELEC* задля підвищення ефективності діяльності ТК 156 і налагодження більш плідного співробітництва із зазначеними комітетами. Пропозиції щодо реорганізації розглянуто та схвалено на 10-му засіданні ТК 156, і відповідні матеріали направлено секретаріатом ТК до Національного органу стандартизації, який на основі поданих матеріалів видав накази від 24.06.2016 № 188 та від 07.07.2016 № 199. Згідно з ними:

- ♦ назву технічного комітету змінено на «Прилади для вимірювання маси, сили, деформації та механічних випробувань матеріалів»;

- ♦ затверджено уточнені сфери діяльності та об'єкти

стандартизації, закріплені за комітетом (таблиця);

- ♦ замість шести підкомітетів утворено чотири підкомітети, а саме:

- ▶ ПК 1 Неавтоматичні зважувальні прилади та гирі (секретаріат веде ДП «Укрметрестстандарт»);

- ▶ ПК 2 Автоматичні зважувальні прилади (секретаріат веде ДП «Укрметрестстандарт»);

- ▶ ПК 3 Машини та прилади для вимірювань сили та пов'язаних величин (секретаріат веде ДП «Укрметрестстандарт»);

- ▶ ПК 4 Машини та прилади для механічних випробувань матеріалів (секретаріат веде ДП «Харківстандартметрологія»).

Кількість колективних членів ТК 156 на сьогодні становить 35 організацій та підприємств, у тому числі 10 організацій Мінекономрозвитку України, 18 підприємств — розробників і виробників ваго- та силовимірювальної техніки, 3 підприємства — споживачі ваго- та силовимірювальної техніки, 4 науково-дослідні організації.

Організаційною формою роботи ТК є засідання, які проводяться один раз на рік. За 2006—2016 роки проведено 11 засідань, на яких розглядалися різні питання, пов'язані з діяльністю ТК. При цьому 8 засідань проводилося на базі ДП «Укрметрестстандарт» і 3 виїзні — на базі ТОВ «НВП ТехноВаги» (м. Львів), ТОВ Науково-виробнича фірма «Сведа, LTD» (м. Запоріжжя) і ТОВ «Компанія «Ваговимірювальні системи» (м. Дніпро).

Основний напрям роботи ТК 156 — розроблення національних стандартів. Практично всі об'єкти стандартизації, закріплені за ТК 156, є дуже важливими та вкрай необхідними для національної економіки, промисловості, сфери охорони здоров'я тощо. Облік матеріальних ресурсів, здійснення торговельно-розрахункових операцій, виконання вимірювань та випробувань тощо у різних галузях економіки неможливі без застосування сучасної ваго- та силовимірювальної техніки. Не менш важливі й вимірювання інших механічних величин — крутильного моменту, деформації тощо. Суттєве значення у підвищенні якості продукції мають машини та прилади для механічних випробувань матеріалів.

За минулі роки за сферою діяльності ТК 156 розроблено 35 стандартів, у тому числі 27 — безпосередньо ТК 156, 8 — іншими організаціями (ТК 63, ТК 81, ННЦ «Інститут метрології»).

Із 27 стандартів, розроблених ТК 156, 16 гармонізовані з європейськими стандартами та рекомендаціями *OIML*, 2 стосуються державних повірочних схем, 11 — загальних технічних вимог та методів випробувань, 7 регламентують методики перевірки. Наразі затверджено та вийшли з друку всі 27 національних стандартів. Перелік національних стандартів, розроблених ТК 156, наведено на сайті [5].

У зв'язку з обмеженим фінансуванням Мінекономрозвитку запропонувало запроваджувати в Україні певні міжнародні та європейські стандарти мовою оригіналу (методом підтвердження). Відповідними наказами міністерства методом підтвердження як національні стандарти України прийнято такі стандарти:

- ▲ ДСТУ *OIML R 50-1:2014* Ваги автоматичні безперервної дії для сумарного обліку. Частина 1. Загальні технічні вимоги та методи випробувань;

*Сфера діяльності та об'єкти стандартизації, закріплені за ТК 156*  
*Scope of activity and objects of standardization, secured by TK 156*

Сфера діяльності	Назва об'єкта стандартизації
Вимірювання маси	Неавтоматичні зважувальні прилади; гирі класів точності $E_1, E_2, F_1, F_2, M_1, M_{1-2}, M_2, M_{2-3}$ і $M_3$ ; автоматичні прилади для зважування розділених вантажів, автоматичні контрольні ваги, автоматичні ваги з етикетуванням маси, автоматичні ваги з етикетуванням маси/ціни, автоматичні вагові дозатори дискретної дії, автоматичні бункерні ваги дискретної дії для сумарного обліку, автоматичні ваги безперервної дії для сумарного обліку, автоматичні залізничні платформні ваги, автоматичні прилади для зважування дорожніх транспортних засобів у русі та вимірювання навантажень на вісь
Вимірювання сили та деформації	Машини еталонні силовідтворювальні, датчики сило- та ваговимірювальні, пристрої силовимірювальні, динамометри та пристрої динамометричні, прилади для вимірювань крутильного моменту сили, тензорезистори вимірювальні, стенди для відтворення одиниці деформації
Механічні випробування матеріалів	Машини та прилади для механічних випробувань матеріалів

▲ ДСТУ *OIML R 50-2:2014* Ваги автоматичні безперервної дії для сумарного обліку. Частина 2. Форма звіту про випробування;

▲ ДСТУ *OIML R 51-2:2014* Прилади автоматичні для зважування розділених вантажів. Частина 2. Форма звіту про випробування;

▲ ДСТУ *OIML R 65:2014* Силівимірювальна система одноосних машин для випробувань матеріалів (*OIML R 65: 2006, IDT*);

▲ ДСТУ *EN ISO 376:2014* Матеріали металеві. Калібрування силовимірів, застосовуваних для верифікації одноосних випробувальних машин (*EN ISO 376:2011, IDT*).

Відповідно до Програми Кабінету Міністрів та директивного листа Мінекономрозвитку, направлено до технічних комітетів, повинно бути скасовано чинні в Україні стандарти (ГОСТ) бувшого СРСР, розроблені до 1992 року. З урахуванням раніше скасованих стандартів за сферою діяльності ТК скасовано 45 стандартів (ГОСТ). Перелік скасованих стандартів наведено на сайті [5].


До цього переліку серед інших стандартів потрапили і методики повірки засобів вимірювальної техніки. Слід звернути увагу на те, що відповідно до затвердженого Порядку проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів, повірку засобів вимірювальної техніки проводять згідно з методиками повірки, які

містяться в нормативно-правових актах або національних стандартах. Тобто, наявні нині методики повірки у виді МПУ (методики повірки України) або такі, що викладені в експлуатаційних документах, повинні бути замінені відповідними нормативно-правовими актами або національними стандартами. Наразі проводиться певна робота із планування розроблення нових документів на методики повірки. Але при цьому дуже гостро постає питання джерел фінансування розроблення цих методик, оскільки на державне фінансування цієї роботи розраховувати не слід.

З 2016 року почала проводитися певна робота з планового перегляду раніше затверджених стандартів, яка відповідно до ДСТУ 1.2:2016 має проводитися принаймні один раз на 5 років із дати набуття чинності або останньої перевірки. Відповідно до затверджених Національним органом стандартизації Планів перевірки національних нормативних документів у 2016 році проведено перевірку 8 стандартів, а в 2017 році повинна бути проведена перевірка ще 5 стандартів, закріплених за ТК 156. Перелік відповідних нормативних документів наведено на сайті [5].

У 2017-2018 роках планується розробити проекти 10 стандартів, гармонізованих з європейськими стандартами та рекомендаціями *OIML*. Перелік відповідних проектів стандартів наведено на сайті [5].

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 05.06.2015 № 1314-VII.
2. Закон України «Про стандартизацію» від 05.06.2014 № 1315-VII.
3. Закон України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» від 15.01.2015 № 124-VIII.
4. ДСТУ 1.14:2015 «Національна стандартизація. Процедури створення, діяльності та припинення діяльності технічних комітетів стандартизації».
5. <http://www.ukrcsm.kiev.ua/> → Стандартизація → Технічні комітети → ТК 156 «Прилади для вимірювання маси, сили, деформації та механічних випробувань матеріалів». 

Отримано / received: 19.04.2017.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. М.Д. Гераймчуком (Україна).  
 Prof. M.D. Gerayimchuk, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.