

Вимірюйте
усе доступне вимірюванню
й робіть недоступне вимірюванню
доступним.

Галілео Галілей

ISSN 2307-2180

Метрологія



Та прилади

№ 2(64), 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 «Укрметрестандарт»),
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.
Радев 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 №9 від 27.04.2017)

Адреса редакції:

61002, Харків, вул. Свободи, 32б;
Тел.: (057) 714-23-07, (095) 00-68-665
E-mail: metrolog-prylady@ukr.net
http://www.amu.in.ua/journal1

Видавець та виготовлювач:

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

Підписано до друку 10.05.2017.
Формат 60×84/8. Папір крейдований.
Ум. друк. арк. 8,43. Обл.-вид. арк. 7,13.
Друк офсетний. Тираж 400 прим.
Замовлення № 14.

© «Метрологія та прилади», 2017

Журнал зареєстровано
у Державній реєстраційній
службі України, свідоцтво серія
КВ № 20033-8933ПР від 17.05.2013;
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

Зквітня Кабінет Міністрів України затвердив Середньостроковий план пріоритетних дій до 2020 року та план пріоритетних дій на 2017 рік, до розроблення якого долучилися всі міністерства.

До плану дій Уряду в сфері діяльності Міністерства економічного розвитку і торгівлі України увійшли шість напрямів: дерегуляція, управління державною власністю та приватизація, публічні закупівлі, розвиток інновацій, покращення інвестиційного клімату та розвиток українського експорту.

Дерегуляція, розвиток підприємництва та конкуренції. Головна мета, якої планується досягти: перетворення економіки України на висококонкурентну економіку, зменшення втручання держави в економічну діяльність, розвинута, високоорієнтована та інтегрована у світовий ринок галузь туризму і курортів. Кроками її досягнення стане зменшення кількості регуляторних бар'єрів для створення та розвитку бізнесу; зменшення надмірного рівня концентрації та монополізації окремих ринків товарів і послуг; створення всеохоплюючої та ефективної системи підтримки малого та середнього підприємництва з боку держави та міжнародної спільноти; розвиток галузей, орієнтованих на експорт сировини.

Управління державною власністю та приватизація. Головна мета: максимально усунути доступ політиків до державних підприємств/активів, щоби мінімізувати вплив держави на діяльність держпідприємств; підвищити конкуренцію у відповідних секторах та конкурентоздатність української економіки в цілому; збільшити надходження – чи то від продажу цих підприємств/активів, чи то від податків, які сплачуватимуть підприємства, що залишаться державними, але стануть ефективними.

Розвиток публічних закупівель. Головна мета: побудова здорової екосистеми публічних закупівель, що спирається на взаємодію бізнесу, влади та громадянського суспільства, є простою, прозорою, справедливою та сучасною, дозволяє купувати з оптимальним співвідношенням "ціна/якість". Ключові кроки: підвищення рівня професіоналізму закупівельників; збільшення рівня конкуренції в тендерах, завдяки збільшенню рівня довіри бізнесу до держави.

Розвиток інновацій та реформа у сфері інтелектуальної власності. Головна мета: трансформація економіки України із сировинної в інноваційну. Досягти цього планується внаслідок запровадження ефективної державної політики у сфері інновацій для розвитку стартапів та інноваційного бізнесу, створення моделі державної підтримки розвитку інновацій та припинення відтоку талантів у всіх сферах діяльності.

Розвиток промислового виробництва та залучення інвестицій. Головна мета: перетворення моделі економіки України зі сировинної на високотехнологічну та висококонкурентну. Ключові напрями для її досягнення: розвиток промислового виробництва та інфраструктури, захист пранвесторів та розвиток державно-приватного партнерства, зняття бар'єрів для експорту українським бізнесом.

Розвиток експорту та розширення зовнішньоекономічних зв'язків. Головна мета: розширення та диверсифікація зовнішньоекономічних зв'язків України, розвиток експорту товарів та послуг. Інструментами її досягнення виступають збільшення можливостей для преференційного експорту українських товарів із високою доданою вартістю та їх присутності на міжнародних ринках, створення ефективної системи розвитку та підтримки експорту, гармонізація українського законодавства із законодавством ЄС у сфері технічного регулювання та оновлення гармонізованих європейських стандартів.

(За матеріалами Мінекономрозвитку України)

МІЖНАРОДНІ ЗВІРЕННЯ	INTERNATIONAL COMPARAISONS
Гаврилкін В., Кулик С., Овчар Л. Міжнародні звірення у сфері вимірювання вмісту нітрогену в сільськогосподарській продукції3	Gavrylkin V., Kulyk S., Ovchar L. International Comparisons in the Sphere of Nitrogen Determination in Agriproduct
МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	METROLOGICAL ASSURANCE
Величко О., Вендичанський Р. Оцінювання стану метрологічного забезпечення вимірювання високої напруги постійного струму9	Velychko O., Vendychanskiy R. The Evaluation of the Metrological Assurance of of High-Voltage Direct Current Measuring State
ТОЧНІСТЬ ТА ДОСТОВІРНІСТЬ	ACCURACY AND RELIABILITY
Балабан В., Купко О., Тимофеев Є. Придатність монохроматичної моделі для спектрів кольорових світлодіодів14	Balaban V., Kupko O., Tymofeev E. Suitability of Monochromatic Model for Spectrum of Colored LEDs
МЕТОДИ ТА МЕТОДИКИ	METHODS AND PROCEDURES
Іванов С., Воробйов Л., Декуша Л., Декуша О. Методи компенсації впливу неідентичних умов теплообміну у вимірювальних комірках диференціального калориметра19	Ivanov S., Vorobiov L., Dekusha L., Dekusha O. The Influence Compensation Methods of Non-Identical Conditions of Heat Exchange in the Measuring Cells of Differential Calorimeter
ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ	MEASURING INSTRUMENTS AND SYSTEMS
Гоц Н., Дзиковська Ю. Розроблення площинного сірого випромінювача для застосування під час вимірювань температури за інфрачервоним випроміненням23	Hots N., Dzikovska Yu. Development of Extended Area Gray Emitter for Usage in the Temperature Measurements by Infrared Radiation
ПАРАМЕТРИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ	PARAMETERS AND CHARACTERISTICS
Васильєва Ю., Ляшенко О. Оцінка об'єднаного показника дискомфорту у програмі DIALux30	Vasilyeva Y., Lyashenko O. Evaluation of the Unified Glare Rating in Program DIALux
РОЗРОБЛЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ	DEVELOPMENT AND APPLICATION
Ащеулов А., Романюк І., Добровольський Ю., Дремлюженко С., Галочкін А. Фотодіод Шотткі на основі Cr/In ₂ Hg ₃ Te ₆35	Ascheulov A., Romanyuk I., Dobrovolsky Yu., Dremlyuzhenko S., Halochkin A. Scottky photodiodes based Cr/In ₂ Hg ₃ Te ₆
ГЕОДЕЗИЧНА МЕТРОЛОГІЯ	GEODESIC METROLOGY
Болух В., Омельченко А., Винниченко А., Купко В. Концепція баллистического лазерного гравиметра с индукционно-динамической катапульты и виброзащитой от автосейсмических колебаний40	Boluh V., Omelchenko A., Vinnichenko A., Kupko V. A Conception of Ballistic Laser Gravimeter with the Inductive-Dynamic Catapult and Protection Against Auto-Seismic Vibration
МЕТРОЛОГІЯ В МЕДИЦИНІ	METROLOGY IN MEDICINE
Володарський Є., Булигіна О., Іванець О. Концепція прогнозування психофізіологічного стану льотного складу49	Volodarskyi E., Bulygina O., Ivanets O. The Concept of Forecasting of Psychophysiological State Pilots
БЕЗКОНТАКТНИЙ КОНТРОЛЬ	CONTACTLESS CONTROL
Сіренко М., Горкунов Б., Львов С., Жаббар Аббасі Побудова автоматизованих пристроїв безконтактного контролю діаметра каліброваних немагнітних прутків53	N. Sirenko, B. Gorkunov, S. Lvov, Jabbar Abbasi The Development of Automated Systems for Noncontact Control of Diameter of Calibrated Nonmagnetic Rods
УБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ	SUPPORT AND EFFICIENCY
Габрук Р. Вплив течії на безпеку судна забезпечення за здійснення динамічного позиціонування58	Gabruk R. Current in Fluence on Supply Vessel Safety During Dynamic Positioning
ПОБУТОВІ ПРИЛАДИ	HOUSEHOLD DEVICES
Козубовський В., Алякшев І. Побутові прилади контролю пожежної безпеки й окису вуглецю в навколишньому повітрі62	Kozubovskyy V., Aljakshv I. Household Devices of Fire and Carbon Monoxide Safety in Ambient Air
ВІТАЄМО ЮВІЛЯРІВ	WELCOME
До 80-річчя Георгія Ілліча Леонова72	To 80th anniversary of G.I. Leonov
ІНФОРМАЦІЯ8, 13	INFORMATION

УДК 543.632.45

МІЖНАРОДНІ ЗВІРЕННЯ У СФЕРІ ВИМІРЮВАННЯ ВМІСТУ НІТРОГЕНУ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІЙ ПРОДУКЦІЇ

В. Гаврилкін, начальник науково-виробничого відділу вимірювань фізико-хімічних величин,
С. Кулик, начальник лабораторії відділу,
Л. Овчар, заступник начальника відділу,
ДП «Укрметртестстандарт», м. Київ

Представлено результати міжнародних звірень у сфері вимірювання масової частки Нітрогену в сільськогосподарській та харчовій продукції (зерні, сухому молоці). Звірення проведено з використанням методу К'ельдаля. Отримано порівняні аналітичні результати, які загалом еквівалентні опорному значенню.

SE «Ukrmetrteststandart» has taken part in three international comparisons in measuring nitrogen (protein) mass fraction in food and agricultural products using Kjeldahl titrimetric method.

Results of the comparisons, EUROMET Project No. 878 (mass fraction of crude protein in cereals);

pilot study COOMET 508/RU/10 (nitrogen mass fraction in dry milk powder), participants — NMIs of Ukraine, Russia, Belarus and Kyrgyzstan, and pilot comparison CCQM-P167 (nitrogen mass fraction in dry milk powder), participants — NMIs of 11 countries, showed that Kjeldahl method allowed to obtain the consistent results.

In the majority of cases the results reported by the participants of comparisons, including the SE Ukrmetrteststandart, were metrologically compatible with the estimated comparison reference value.

Apparatus, analytical procedures and approaches to measurement uncertainty evaluation used by SE «Ukrmetrteststandart» assure correct analytical results.

Ключові слова: міжнародні звірення, білок, зерно, молоко, метод К'ельдаля.
Keywords: international comparisons, protein, cereals, milk, Kjeldahl method.

Метод, запропонований у 1883 році К'ельдалем [1], — один із найбільш точних та надійних методів кількісного визначення Нітрогену. Значення масової частки Нітрогену використовують, наприклад, для розрахунку масової частки білка (протеїну) у зерні [2], молоці та інших продуктах.

Білок, разом із вуглеводами та жирами, визначає харчову цінність продукту, тому визначення його вмісту обов'язкове практично для усіх продуктів харчування та сільського господарства. Чинні в Україні стандарти встановлюють саме метод К'ельдаля основним методом визначення білка в зерні та насінні. Метод К'ельдаля прийнято як арбітражний провідними міжнародними та національними організаціями у галузі виробництва та перероблення зерна *AOAC International, APHA, ASTM* тощо.

ДП «Укрметртестстандарт» протягом останніх років виконує роботи із розроблення та виготовлення стандартних та атестованих зразків (СЗ) зерна та насіння різних культур, продуктів їх перероблення, молока тощо [3]. Стандартний зразок вмісту білка у пшениці занесено до Державного реєстру за номером ДСЗУ 1123. СЗ атестують, зокрема, за характеристикою «масової частки Нітрогену/білка», використовуючи метод К'ельдаля.

Питання правильності результатів вимірювання під час атестації СЗ має для розробників та виробників СЗ першочергове значення. Оскільки одним із найкра-



В. Гаврилкін



С. Кулик



Л. Овчар

щих та надійніших способів підтвердження вимірювальних можливостей виробників СЗ є міжнародні звірення, ДП «Укрметртестстандарт» бере активну участь у таких проектах.

Під час звірень використовувалося те ж саме обладнання, яке застосовується для атестації СЗ, а саме, напівавтоматичний аналізатор білка *Kjeltec System 2100* (рис.1).

Результати звірень наведено нижче.

1. Звірення *EUROMET Project No. 878 «Interlaboratory determination Comparison of Crude Protein in Cereals»* (Міжлабораторні звірення результатів визначення сирого протеїну в зразках зерна), 2006–2007 роки. Координатор — Чеський метрологічний інститут (СМІ).

Метою проекту було звірення результатів визначення масової частки сполук Нітрогену («сирого протеїну») за К'ельдалем [4], у перерахунку на суху речовину, в зразках зерна пшениці.

У звірваннях взяли участь п'ять національних метрологічних інститутів (НМІ) та установ сільськогосподарської та харчової галузей із Чехії, України, Словенії, Литви та Латвії. Учасники отримали по два зразки цільного зерна пшениці, очищеного від домішок.

Під час вимірювань в ДП «Укрметртестстандарт» застосовували каталізатор згідно з [4] та розчин кислоти сульфатної як титрант. Концентрацію титранту визначали згідно з [7]. Час мінералізації становив 4 години, кількість відігнаного аміаку визначали методом потенціометричного титрування, а масову частку вологи — згідно з [5, 6]). Масову частку сполук Нітрогену розраховували, перемножуючи значення масової частки Нітрогену на коефіцієнт «5,7» [2, 4].

На жаль, звірення за проектом *EUROMET 878*

так і не були доведені до стадії остаточного звіту. Однак, опублікована презентація [8], яка містить посилання на результати цих звірень (рис. 2), дає підстави вважати, що еквівалентність отриманих ДП «Укрметртестстандарт» результатів міститься в межах заявленої нами невизначеності.

2. Звірення *COOMET 508/RU/10. «Пилотные сличения в области измерения массовой доли азота в молочных продуктах»* (Пілотні звірення у сфері вимірювання масової частки Нітрогену в молочних продуктах). Координатор — ФДУП «УНІИМ», РФ, 2010 — 2012 роки.

Метою звірень була перевірка правильності результатів визначення масової частки Нітрогену в зразках сухого молока, які було атестовано на вторинному еталоні РФ ГВЗТ 176-1-2010 [9].

У звірваннях брали участь ФДУП «УНІИМ» (РФ), СМІ (Киргизька Республіка), БелГІМ (Білорусь) та ДП «Укрметртестстандарт».

Зразок для дослідження, наданий кожному учаснику, являв собою приблизно 80 г сухого молока. Підготовку зразка та його попереднє дослідження (неоднородності, стабільності) проводив координатор.

Учасники звірень повинні були визначити у зразку масову частку Нітрогену в перерахунку на суху речовину (W_N^* , у відсотках), дотримуючись режиму вимірювання згідно з [10]. Масову частку вологи (W_0 , у відсотках) визначали згідно з [11]. Для забезпечення простежуваності результатів учасникам надавався стандартний зразок ГСО 4086-87 складу карбонату натрію, який потрібно було використати для визначення концентрації титранту. Зазначимо, що результат, отриманий за використання ГСО 4086-87, практично не відрізнявся від результату, отриманого для цього ж титранту за використання

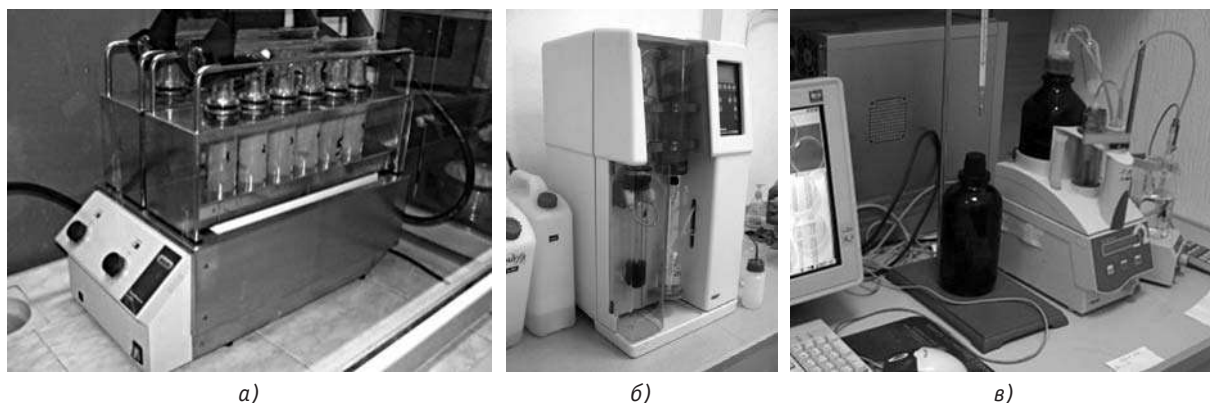
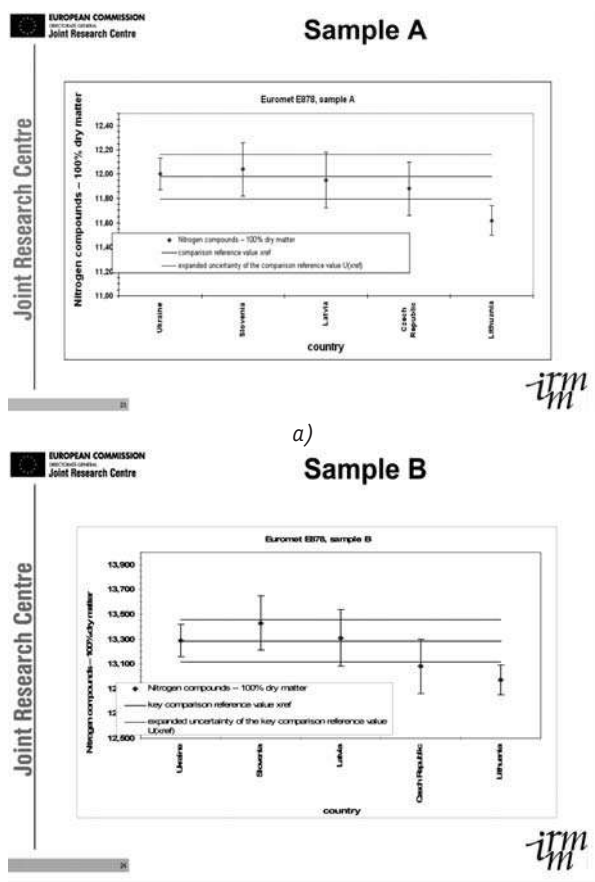


Рис.1 Аналізатор білка *Kjeltec System 2100*: а) блок мінералізації *Buchi SpeedDigester K-436*; б) блок дистиляції *Bushi Distillation Unit B-324*; в) титратор *Metrohm SM Titrino 702*

Fig. 1 Protein analyzer *Kjeltec System 2100*: а) mineralization unit *Buchi SpeedDigester K-436*; б) *Bushi Distillation Unit B-324*; titration apparatus *Metrohm SM Titrino 702*



а)

б)

Рис. 2. Попередні результати EUROMET 878 (масова частка сполук Нітрогену в зразках пшениці А (а) і В (б), в перерахунку на суху речовину)
 Fig. 2. EUROMET 878 preliminary results (dry-weight mass fraction of Nitrogen compounds in wheat samples A and B)

стандартного зразка соди кальцинованої ДСЗУ 023.36-06 (відповідні значення $(0,0554 \pm 0,0003)$ моль · дм⁻³ та $(0,0553 \pm 0,0004)$ моль · дм⁻³).

Отриманий результат представлено в таблиці 1.

Стандартну невизначеність результату вимірювання W_N^* за типом А і В (відповідно u_a та u_b , у відсотках) оцінювали згідно з [12, 13]. Ураховували складові, зумовлені неточністю визначення:

- маси, взятої для аналізу проби продукту, г;
- об'єму титранту, витраченого під час аналізу (в тому числі під час «холостого» визначення), см³;
- мольної концентрації титранту, моль · дм⁻³;
- маси грам-атому Нітрогену, г · моль⁻¹;
- масової частки вологи W_0 , %.

РЕЗУЛЬТАТИ ЗВІРЕНЬ

Хоча деякі з учасників (зокрема, і ДП «Укрметрестстандарт») допускали певні відхилення від режиму [10], всі результати вимірювання масової частки Нітрогену W_N^* виявилися узгодженими в межах заявленої учасниками невизначеності (табл. 2, рис. 3).

Таблиця 1. Результат вимірювання масової частки Нітрогену W_N^* в сухому молоці (EUROMET 878)

Table 1. The result of mass fraction W_N^* measurement for dry milk powder (EUROMET 878)

W_N^* (середнє арифметичне 10-ти визначень), %	4,468
u_a , %	0,008
u_b , %	0,018

Таблиця 2. Результати вимірювання масової частки Нітрогену W_N^* та варіанти її ОЗ (COOMET 508/RU/10)

Table 2. Mass fraction W_N^* measurement results and reference value candidates (COOMET 508/RU/10)

Учасник	W_N^* , %	$U(W_N^*)$, %
БелГИМ	4,51	0,07
CSM	4,45	0,11
ФДУП «УНИИМ»	4,53	0,07
Укрметрестстандарт	4,47	0,04
Варіанти ОЗ		
Метод опрацювання	ОЗ, %	Стандартна невизначеність ОЗ, %
Середнє арифметичне	4,491	0,021
Середньозважене	4,494	0,014
Медіана	4,490	0,034

Як можливі опорні значення (ОЗ) масової частки Нітрогену W_N^* координатором розглядалися середнє арифметичне результатів вимірювань, їх середньозважене та медіана (табл. 2).

Під час розрахунку ступеня еквівалентності приймалося, що установки еквівалентні в тому випадку, якщо $d_{i,j}$ (відмінність результатів x_i та x_j учасників i та j) не перевищує розширеної невизначеності цієї відмінності $U(d_{i,j})$, яку розраховували за формулами:

$$U(d_{i,j}) = 2 \cdot u(d_{i,j}), \tag{1}$$

$$u(d_{i,j}) = \sqrt{u^2(x_i) + u^2(x_j) + u_h^2 + u_{i,stab}^2 + u_{j,stab}^2}, \tag{2}$$

де $u(x_i)$ та $u(x_j)$ — стандартні невизначеності результатів x_i та x_j ; u_h — стандартна невизначеність W_N^* від неоднорідності; $u_{i,stab}$ — стандартна невизначеність W_N^* від довготермінової нестабільності; $u_{j,stab}$ — стандартна невизначеність W_N^* від короткотермінової нестабільності.

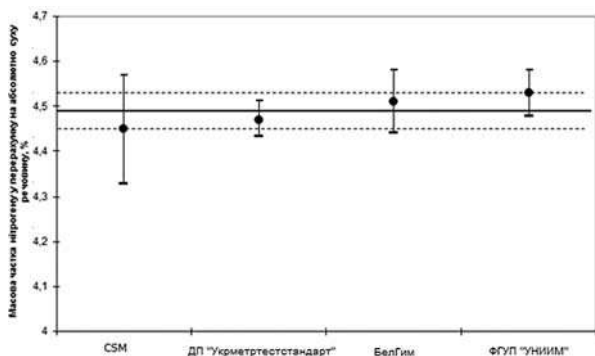


Рис. 3. Результати звірень COOMET 508/RU/10 (03 — медіана, пунктиром показано границі його стандартної невизначеності).

Fig. 3. COOMET 508/RU/10 results (with median as reference value (RV); dashed lines are limits of RV standard uncertainty)

Як то було виявлено координатором під час попередніх досліджень, величини u_h , $u_{l,stab}$ та $u_{st,stab}$ достатньо незначні (їх сума менша від $u_a(W_N^*)$). Внесок цих чинників до $U(d_{i,j})$ уважали незначимим; отже, формула (2) спрощувалася до $U(d_{i,j}) = 2 \cdot \sqrt{u^2(x_i) + u^2(x_j)}$. На основі спрощеної формули було розраховано ступені еквівалентності учасників звірень. Усі вимірювальні установки виявилися попарно еквівалентними.

3. Звірення CCQM-P167. Pilot comparison. Nitrogen mass fraction measurements in dry milk powder (Пілотні звірення. Вимірювання масової частки Нітрогену в сухому порошкоподібному молоці). Координатор — ФДУП «УНИИМ», РФ, 2015–2016 роки.

Метою звірень була демонстрація можливості проведення подальших ключових звірень (запланованих на 2017 рік).

У звірєннях взяли участь 12 учасників з 11-ти установ різних країн (табл. 3).

Зразок для дослідження являв собою 100 г сухо-го молока. Його підготовку та попереднє дослідження, як і раніше, проводив координатор.

Для зразка потрібно було визначити W_N^* та W_0 . Конкретних вимог щодо методу та режимів вимірювання W_N^* не висувалося, тобто учасники могли користуватися не лише методом К'ельдаля. Потрібно відзначити, що цим правом скористався лише Шведський НМІ SP.

Для визначення W_0 було рекомендовано гравіметричний метод, узгоджений на засіданні Робочої групи з неорганічної хімії CCQM (IAWG CCQM), (висушування (4,5 ± 0,5) г речовини за температури (102 ± 2) °C протягом 2,5 годин із подальшим охолодженням в ексікаторі над осушувачем).

Таблиця 3. Перелік учасників звірень CCQM-P167
Table 3. List of CCQM-P167 participants

Назва учасника	Країна	Абревіатура назви
Національний інститут метрології, якості та технології	Бразилія	INMETRO
Національний інститут якості	Перу	INACAL
СП Технічний дослідний інститут Швеції	Швеція	SP
Національний інститут промислової технології	Аргентина	INTI-1
Національний інститут промислової технології	Аргентина	INTI-2
Уругвайська технологічна лабораторія	Уругвай	LATU
ДП «Укрметртестстандарт»	Україна	Ukrmetr-teststandart
Новозеландська лабораторія стандартів у сфері вимірювань	Нова Зеландія	MSL
ФДУП «УНИИМ»	Росія	UNIIM
Урядова лабораторія Гонконгу	Китай	GLHK
ДП «Казахстанський інститут метрології»	Казахстан	KazInMetr
Центр випробувань, сертифікації та метрології Центру стандартизації та метрології при Міністерстві економічного регулювання Киргизької Республіки	Киргизія	CSM

РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАНЬ

Для визначення концентрації титранту використовували ДСЗУ 23.36-06 (див. вище), масову частку вологи вимірювали за методом, погодженим IAWG CCQM.

Отримані результати представлено в таблиці 4.

Розрахунки стандартних невизначеностей виконували так само, як і під час звірень COOMET 508/RU/10.

Таблиця 4. Результат вимірювання W_N^* у сухому молоці (CCQM-P167)
Table 4. The result of W_N^* measurement for dry milk powder (CCQM-P167)

W_N^* (середнє арифметичне 10-ти визначень), %	3,486
u_a , %	0,003
u_b , %	0,013

Результати звірень

Як вже зазначалося, абсолютна більшість учасників (11 із 12-ти) використовувала метод К'ельдаля. Для аналізу переважно брали проби, маса яких містилася в межах від 0,5 до 1,0 г.

Отримані учасниками результати наведено в таблиці 5 та на рис. 4.

Отримані результати перевіряли на взаємну узгодженість за критерієм χ^2_{obs} [15]; результат був позитивним.

За ОЗ координатором за рядом причин (несуттєвої відмінності між заявленими величинами невідзначеності результатів, наявності двох екстремальних значень за критерієм $(x_i - med(x))/u(x_i)$ тощо) було прийнято медіану (табл. 5).

Також було оцінено ступінь еквівалентності (d_i , у відсотках) представлених учасниками результатів та ОЗ (табл. 5). Величину d_i розраховували за формулою (3), а її розширену невизначеність — за формулою (4); внески до невизначеності від нестабільності вважали незначимими:

$$d_i = x_i - x_{ref} \quad (3)$$

$$u(d_i) = 2 \cdot \sqrt{u^2(x_i) + u^2(x_{ref}) + u_n^2} \quad (4)$$

де x_{ref} — ОЗ.

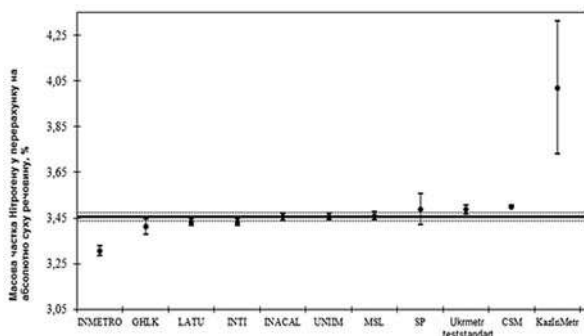


Рис. 4. Результати звірень CCQM-P167 (ОЗ — медіана, пунктиром показані границі стандартної невизначеності ОЗ)

Fig. 4. CCQM-P167 results (with median as RV; dashed lines are limits of RV standard uncertainty)

Таблиця 5. Результати вимірювання W_N^* та варіанти ОЗ (CCQM-P167)

Table 5. W_N^* measurement results and RV candidates (CCQM-P167)

Учасник	W_N^* , %	$U(W_N^*)$, %	d_i , %	$U(d_i)$, %	Висновок
INMETRO	3,305	0,021	- 0,150	0,07	-
GLHK	3,412	0,068	- 0,043	0,09	+
LATU	3,430	0,031	- 0,025	0,06	+
INTI-1	3,430	0,029	- 0,025	0,06	+
INACAL	3,454	0,035	-0,001	0,06	+
UNIIM	3,455	0,030	0,000	0,06	+
MSL	3,458	0,035	0,003	0,06	+
INTI-2	3,468	0,04			
Ukrmetr-teststandard	3,486	0,027	0,031	0,06	+
SP	3,487	0,134	0,032	0,14	+
CSM	3,500	0,012	0,045	0,04	+
KazInMetr	4,020	0,580	0,565	0,58	+

Варіанти опорного значення

Метод опрацювання	Варіант ОЗ, %	Стандартна невизначеність ОЗ, %
Середнє арифметичне	4,492	0,11
Середньозважене	3,443	0,005
Медіана	3,457	0,03

ВИСНОВКИ

Результати міжнародних звірень у сфері визначення Нітрогену в сільськогосподарській продукції свідчать, що засоби вимірювань, аналітичні процедури та методологія розрахунку невизначеності, які ДП «Укрметртестстандарт» використовує під час вимірювання масової частки Нітрогену за методом К'ельдаля, еквівалентні результатам провідних лабораторій інших країн в межах заявленої невизначеності та відповідають сучасному міжнародному рівню.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

- 1 Kjeldahl, J. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. — Z. Anal. Chem., 22, 1883, с/р. 16.
- 2 ГОСТ 10864-91 Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка (ГОСТ 10864-91 Grain and products of its processing. Method for determination for protein).
- 3 В.Г. Гаврилкин, С.В. Кулик, А.Г. Ивков, М.В. Тухтина. Разработка стандартного образца содержания белка

в зерне. III Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Стандартные образцы в измерениях и технологиях. Сборник трудов. — Екатеринбург: ФГУП «Уральский научно-исследовательский институт метрологии», 2011, 170 с. (V.G. Gavrylkin, S.V. Kulyk, A.G. Ivkov, M.V. Tyukhtina. Development of protein Standard Reference Material (protein in cereal). III All-Russian conference with international participation «Reference Materials

- in Measurement and Technology». Conference proceedings. — Ekaterinburg: FSUE Ural Scientific Research Institute for Metrology, 2011, с/p 170 (Rus)).
- 4 ICC STANDARD No 105/2 Determination of Crude Protein in Cereals and Cereal Products for Food and for Feed.
 - 5 ISO 712:1998 Cereals and cereal products — Determination of moisture content — Routine reference method.
 - 6 ГОСТ 29143-91 (ИСО 712-85) Зерно и зернопродукты. Определение влажности (рабочий контрольный метод) (ГОСТ 29143-91 (ИСО 712-85) Cereals and cereal products. Determination of moisture content (routine reference method)).
 - 7 ГОСТ 25794.1-83 Реактивы. Методы приготовления титрованных растворов для кислотно-основного титрования (ГОСТ 25794.1-83 Reagents. Methods of preparation of standard volumetric solutions for acid-base titration).
 - 8 Ulberth F. EUROMET/METCHEM Organic Analysis Sub-Committee. EUROMET/METCHEM OAWG meeting 15 February 2006, Vilnius
 - 9 Крашенинина М.П. Разработка государственного вторичного эталона и стандартных образцов для повышения достоверности контроля азота в пищевых продуктах и активного хлора в питьевой воде: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.11.15 / М.П. Крашенинина — Екатеринбург: 2015, 141 с (Krasheninina, M.P. Development of state secondary standard and certified reference materials for improvement of validity of the control of Nitrogen in food products and active chlorine in drinking water: the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences: 05.11.15 / М.П. Крашенинина — Екатеринбург: 2015, с/p 141 (Rus))
 - 10 ГОСТ 30648.2-99 Продукты молочные для детского питания. Метод определения общего белка (ГОСТ 30648.2-99 Infant milk products. Methods for determination of total protein).
 - 11 ГОСТ 29246-91 Консервы молочные сухие. Методы определения влаги (ГОСТ 29246-91 Dry canned milk. Methods for determination of moisture).
 - 12 Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: First edition. — Geneva: ISO, 1993, с/p 101.
 - 13 EURACHEM/CITAC Guide, Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement: Third Edition — EURACHEM, 2012, с/p 141
 - 14 ISO 5537:2004 (IDF 26:2004) Dried milk –Determination of moisture content (Reference method).
 - 15 CCQM Guidance note: Estimation of a consensus KCRV and associated Degrees of Equivalence. Version: 10

Отримано / received: 17.03.2017.

Стаття рекомендована до публікації д.х.н., проф. Г.М. Пшинком (Україна).
Prof. G.M. Pshynko, D. Sc. (Chem.), Ukraine, recommended this article to be published.

ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ Й ДІЛОВИХ ЯКОСТЕЙ ФАХІВЦІВ ПІДПРИЄМСТВ У СФЕРІ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

Одним із найважливіших факторів, що визначають успішність діяльності й конкурентоспроможність підприємства, є висока якість його продукції, що відповідає не лише вітчизняним стандартам, але й міжнародним нормам. Зміни вітчизняного законодавства, що здійснюються з метою гармонізації з європейським, вимагають від фахівців усіх напрямів детального його вивчення. Розвиток професійних навичок і особистих якостей персоналу - ключ до розвитку й змін в організації.

Фахівці ДП «Укрметрестстандарт» готові поділитися своїми знаннями й пропонують комплексний навчальний проект. Його пріоритетом є не отримання великого обсягу «кращих знань», а підвищення ефективності діяльності підприємства.

Пропонуємо підвищення рівня готовності фахівців до виконання їх професійних завдань і обов'язків або набуття здатності виконувати додаткові завдання й обов'язки через отримання нових знань і вмінь у рамках їх професійної діяльності.

Цикл лекцій орієнтовано на:

- * відповідальних фахівців з метрології й метрологічної діяльності;
- * відповідальних фахівців з контролю якості оцінювання відповідності;
- * працівників випробувальних і вимірвальних лабораторій;

- * менеджерів, працівників юридичних відділів;
- * інших зацікавлених осіб.

Цикл лекцій розраховано на два дні.

Програми лекцій передбачають викладення теоретичного матеріалу, проведення практичних занять, обговорення практичних питань, що виникають у процесі роботи на підприємстві, роздавальні матеріали. Після циклу лекцій проводиться тестування. Слухачі, які задовільно справляться з тестовими завданнями, отримують іменне посвідчення.

За бажанням, може бути проведено стажування за напрямками діяльності у відповідних структурних підрозділах ДП «Укрметрестстандарт».

Кількість слухачів у групі — 5—10 осіб.

Що Ви отримаєте в результаті?

- ознайомлення з останніми новинами в законодавстві;
- конкретні відповіді на кожне поставлене питання;
- шляхи вирішення тих або інших проблем, які можуть виникнути на підприємстві;
- підвищення свого професійного рівня.

3 питань співробітництва звертатися до начальника відділу інформаційно-консультативного забезпечення Бесараб Тетяни Василівни:

03115, м. Київ, вул. Краснова, 7/1, кімн. 108

Контактний телефон: (044) 423-04-26

E-mail: tbesarab@csm.kiev.ua, 205@csm.kiev.ua

УДК 389.64:621.317.321

ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ ВИСОКОЇ НАПРУГИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

О. Величко, доктор технічних наук, директор науково-виробничого інституту,
Р. Вендичанський, заступник начальника науково-дослідного відділу,
ДП «Укрметртестстандарт», м. Київ

Розглянуто основні результати групового експертного оцінювання стану метрологічного забезпечення вимірювання високої напруги постійного 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.

In the article the basic results of group expert evaluation of the state of the metrological assurance of measurements of high-voltage direct current. 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.

Ключові слова: експертне оцінювання; метрологічне забезпечення; вимірювання; висока напруга постійного струму.
Keywords: expert estimation; metrological assurance; measurement; high-voltage of direct current.

Метрологічне забезпечення (МЗ) — це 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 МЗ вимірювання певної фізичної величини, для визначення чого може бути застосовано групове експертне оцінювання із залученням до нього експертів з метрології.

За сучасних умов для вирішення певних питань або проблем у різних сферах діяльності все частіше зважають на думку провідних фахівців і експертів, залучаючи їх до різних експертних оцінок. Достовірність таких оцінок залежить від коректного підходу до вибору експертів, якими є кваліфіковані фахівці, які мають спеціальні навички або знання у конкретній сфері діяльності й яких залучають для дослідження або проведення науково-технічної експертизи з певних питань [1—4].

1. СТАН НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕТАЛОННОЇ БАЗИ

Очолює Національну еталонну базу Державний еталон одиниці електричної напруги постійного струму в діапазоні від 1 до 180 кВ (ДЕТУ 08-04-99) (рис. 1), який зберігається в ДП «Укрметртестстандарт» (м. Київ). Передавання зазначеної одиниці відбувається за державною повірочною схемою згідно з ДСТУ 3863 [5]. Щорічно в ДП «Укрметртестстандарт» повіряють і калібрують від 20 до 30 робочих еталонів, таких як: вимірювальні системи високої напруги постійного та змінного струмів ВСВН-1-100, ВСВН-0,8-100М, ВСВН-1-75; вимірювачі напруги постійного та змінного струмів ВВН-0,8-100, ВВН-1-100М, РД-140; вимірювачі напруги постійного



О. Величко



Р. Вендичанський



Рис. 1. Державний еталон одиниці електричної напруги постійного струму в діапазоні від 1 до 180 кВ
 Fig. 1. State primary standard of unit of DC high electrical voltage in range from 1 to 180 kV

струму ВН-180; подільники напруги постійного струму ДН400, ДНВ-100; вимірювальні системи високої напруги постійного струму VD-120; універсальні вимірювачі високої напруги ИВН-100; кіловольтметри С100. Загальну кількість повірених, відкаліброваних і атестованих засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) у 2004—2016 роках наведено у табл. 1 і на рис. 2.

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

Для калібрування ЗВТ напруги постійного струму важливим питанням є забезпечення метрологічної простежуваності до національних еталонів інших країн. Метрологічна простежуваність ДЕТУ 08-04-99 забезпечується міжнародними звіреннями з національними еталонами інших країн (проект COOMET.EM-S7).

ДП «Укрметртестстандарт» має опубліковані у Базі даних ключових звірень (KCDB) Міжнародного бюро з мір і вагів (BIPM) 3 рядки калібрувальних і вимірювальних можливостей (СМС) та право наносити знак багатосторонньої Угоди Міжнародного комітету з мір і вагів «Про взаємне визнання національних еталонів і калібрувальних та вимірювальних можливостей» (CIPM MRA) на свої сертифікати калібрування [6—8].

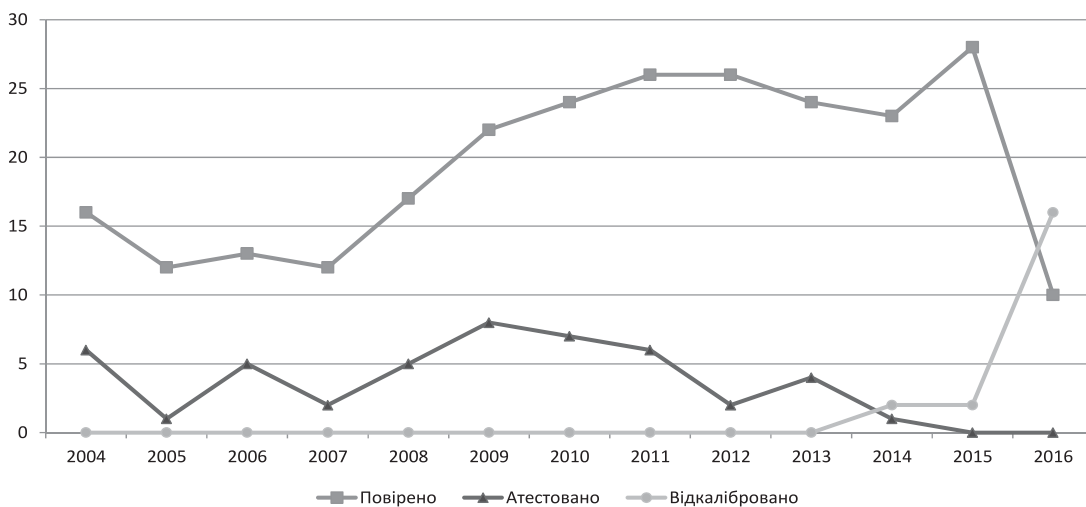


Рис. 2. Повірені, атестовані й відкалібровані ЗВТ за роками
 Fig. 2. Verified, attested and calibrated measuring instruments by years

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	16	12	13	12	17	22	24	26	26	24	23	28	10
Атестовано	6	1	5	2	5	8	7	6	2	4	1	0	0
Відкалібровано	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2	2	16

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	13	14
k_k	0,69	0,97	0,54	0,85	0,90	0,97	0,74	1,00	0,72	1,00	1,00	0,54	0,90	0,90

2. ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ГРУПОВОГО ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ

Групове експертне оцінювання МЗ вимірювань високої напруги постійного струму проведено за методикою, описаною в [9], із залученням групи у кількості 14 експертів з метрології, які займаються відповідними вимірюваннями, компетентність яких попередньо оцінена. Експерти представляють регіональні центри метрології та енергетичні підприємства.

Оцінка здійснювалася для 6 проблемних питань: 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

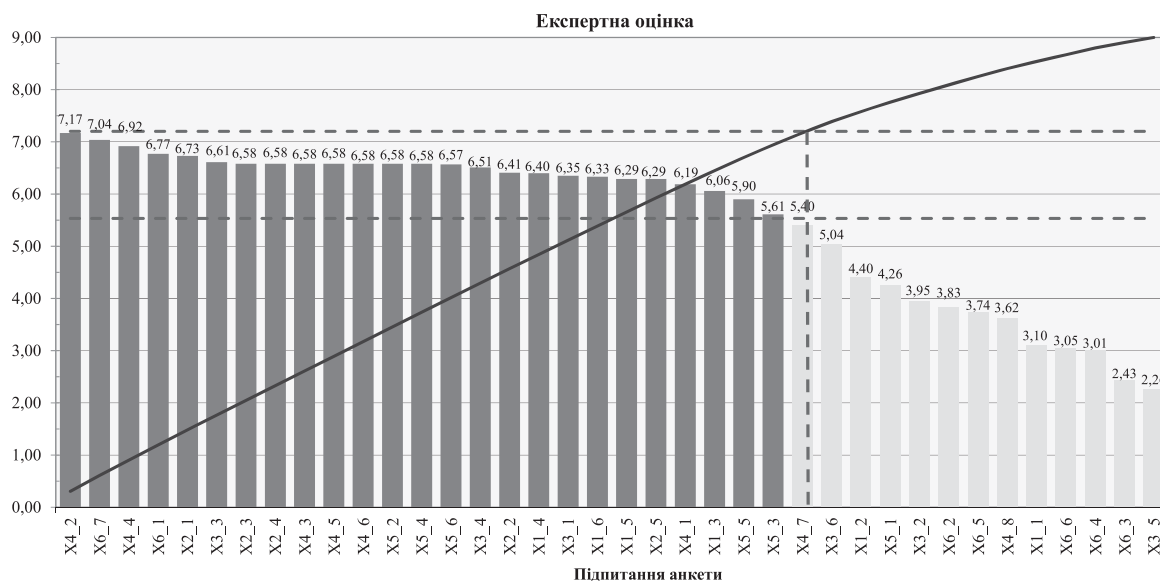


Рис. 3. Результати експертної оцінки з урахуванням компетентності експертів
Fig. 3. Results of expert's estimation with taking account of expert competence

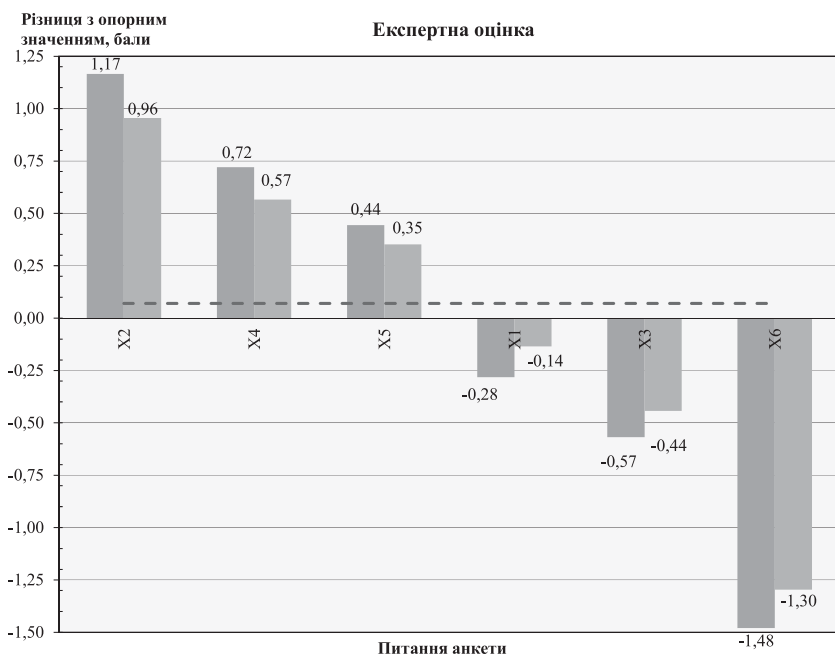


Рис. 4. Гістограма для ступенів відхилення оцінених середніх балів від опорного значення без (ліві стовпчики) і з урахуванням (праві стовпчики) компетентності експертів

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

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 всіх експертів наведено у табл. 2. Зазначені коефіцієнти отримано із застосуванням методики, описаної в [10].

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).

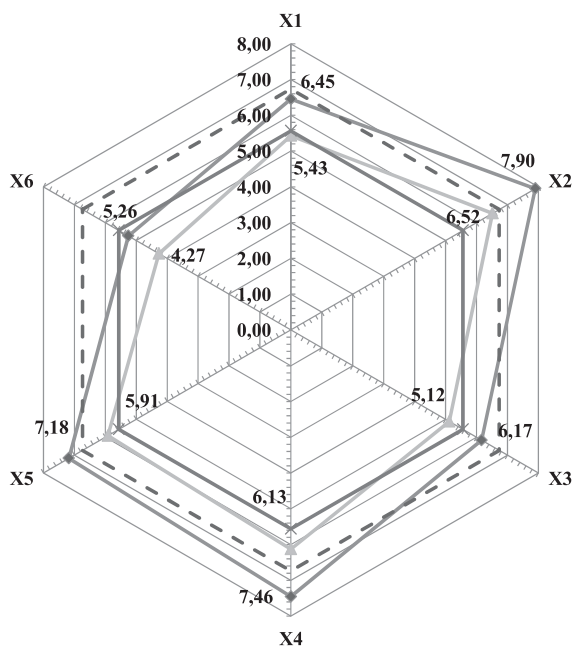


Рис. 5. Діаграма для середніх значень експертних оцінок без/з урахуванням компетентності експертів

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

Опорні значення експертних оцінок для оцінених середніх балів складають: без урахування компетентності експертів — 6,73; з урахування компетентності — 5,56.

Для перевірки узгодженості отриманих даних здійснено розрахунок коефіцієнта узгодженості Кендалла W і значення критерію згоди χ^2 Пірсона [4]. Отримано значення коефіцієнта узгодженості Кендалла $W = 0,36$ і критерію згоди Пірсона $\chi^2 = 187,09$, що свідчить стосовно середнього ступеня узгодженості даних і задоволення даних критерію χ^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 важливими для розгляду є питання (без/з урахуванням компетентності експертів): X2 (7,90/6,52); X4 (7,46/6,13); X5 (7,18/5,91), а найбільш важливіми: X6 (4,27/4,33); X3 (5,12/5,23); X1 (6,45/5,43), 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. Врахування коефіцієнта компетентності експертів у цілому не вплинуло на кінцевий результат оцінювання, зважаючи на достатньо однорідні оцінки експертів за питаннями, що розглядалися.

Першочерговими підпитаннями для подальшого більш поглибленого вивчення за вимірювання високої сталої напруги є (в порядку важливості):

- наявність методик, які потребують розроблення чи перегляду (X3–5);
- співвідношення між кількістю повірених і відкаліброваних підприємством ЗВТ (X6–3);
- загальна кількість фахівців, які займаються метрологічними роботами (X1–1);
- використання методик калібрування ЗВТ (X6–4);
- оцінка придатності ПЗ для автоматизованого збору і опрацювання отриманих даних під час повірки (калібрування) ЗВТ (X6–6);
- наявність на підприємстві пересувних лабораторій, укомплектованих робочими еталонами, ЗВТ та обладнанням (X4–8);
- стан оцінки невизначеності за калібрування ЗВТ (X6–5);
- калібрування робочих еталонів (X6–2);
- використання методик повірки ЗВТ (X3–2);
- уповноваження чи акредитація підприємства на виконання метрологічних робіт (X5–1);
- кількість фахівців, які проводять чи беруть участь у випробуваннях ЗВТ (X1–2);
- наявність повірочних схем на робочих місцях (X3–6);
- забезпечення робочих еталонів, ЗВТ та обладнання ремонтom і технічним обслуговуванням (X4–7).

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 може бути використано універсальне ПЗ для їх математичного опрацювання.

За результатами проведеного експертного оцінювання загалом можна констатувати в цілому позитивний стан МЗ вимірювань високої напруги постійного струму. При цьому, однак, потрібно відзначити наявність певних проблемних питань щодо наявності методик калібрування робочих еталонів, які потребують розроблення чи перегляду, методик і оцінки невизначеності за калібрування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Литвак Б.Г. Экспертные оценки и принятие решение. — М.: Патент (Litvak B.G. Expert estimation and decision. — M.: 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, напрямы використання. — Вінниця: ВНТУ (Grabovetskie 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., Габер 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 3863-99 Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань електричної напруги постійного струму в діапазоні від 1 до 800 кВ (DSTU 3863-99. Metrology. State verification schema for measuring instruments electrical DC voltage in range from 1 to 800 kV).
6. Міжнародна база даних ключових звірень Міжнародного бюро з мір і вагів (International database of key comparisons of International Bureau of Weights and Measures) — KCDB <http://kcdb.bipm.org/>
7. CIPM MRA-D-04:2013. Calibration and Measurement Capabilities in the context of the CIPM MRA.
8. Velichko O.N. Calibration and measurement capabilities of metrological institutes: features of preparation, examination, and publication // Measurement Techniques. — 2010. — № 6. — P. 69—73.
9. 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.
10. 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: 27.01.2017.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Л. В. Коломієцем (Україна).

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

КОНЦЕПЦІЯ ДЕРЖАВНОЇ ПОЛІТИКИ

У СФЕРІ ЗАХИСТУ ПРАВ СПОЖИВАЧІВ ДО 2020 РОКУ

29 березня Кабінет Міністрів України ухвалив Концепцію державної політики у сфері захисту прав споживачів на період до 2020 року, розроблену Міністерством економічного розвитку і торгівлі України.

Концепція має на меті вдосконалити механізми захисту споживачів в Україні, визначивши основні завдання державної політики у сфері захисту прав споживачів із урахуванням найкращих практик країн ЄС.

Реалізація цієї Концепції покликана зменшити кількість порушень прав споживачів, усунути з ринку недобросовісних підприємств і нечесні підприємницькі практики, а також підвищити довіру до державної системи захисту прав споживачів. Ще один крок — ширше проінформувати громадян щодо їх споживчих прав та механізмів їх за-

хисту, адже Концепція відводить значну роль громадським об'єднанням споживачів. Крім цього, одним із головних напрямів Концепції є адаптація національного законодавства до законодавства Європейського Союзу відповідно до зобов'язань, передбачених Угодою про асоціацію.

«Чесність перед споживачами — обов'язок кожного підприємця. Держава має допомогти добросовісному бізнесу в роботі та мінімізувати кількість нечесних торговельних практик щодо споживачів. Тому прийнята Концепція допоможе посилити прозорість роботи підприємців згідно з найбільш успішними європейськими практиками», — прокоментував рішення Перший віце-прем'єр міністр — Міністр економічного розвитку і торгівлі України Степан Кубів.

(За матеріалами Мінекономрозвитку України)

УДК 535.243

ПРИДАТНІСТЬ МОНОХРОМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ СПЕКТРІВ КОЛЬОРОВИХ СВІТЛОДІОДІВ

В. Балабан, старший науковий співробітник,

О. Купко, доктор технічних наук, провідний науковий співробітник,

Є. Тимофеев, доктор технічних наук, провідний науковий співробітник,
Національний науковий центр «Інститут метрології», м. Харків

Проаналізовано вплив ширини спектра випромінювання кольорових світлодіодів на точність вимірювання енергетичних, фотонних, світлових і колориметричних характеристик випромінювання. На основі чинних нормативних документів визначено допустиму ширину контурів випромінювання, за якої можливо оцінювати реальні спектри монохроматичним наближенням.

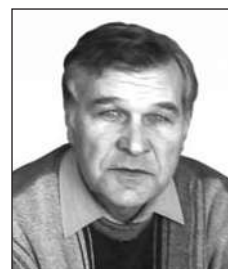
Influence of width of spectrum of coloured LED is analysed on accuracy of descriptions of radiation at measuring power, photonic, light units and in the colorimetry. An analysis is made by the methods of mathematical simulation, triangle symmetric and asymmetrical spectrum were utilized. The maximal widths of the spectrums of radiation were estimated on the basis of a normative document and measurements chains. It is well-proven that application of the monochromatic approximating it admits in the limited cases.

Ключові слова: монохроматична модель, ширина спектра, характеристики випромінювання, кольорові світлодіоди.

Key words: monochromatic model, width of spectrum, radiation characteristics, coloured LED.

Різноманітність світлодіодів стрімко зростає. Їх розрізняють за безліччю ознак: за фірмою-виробником, матеріалами, потужністю тощо, у тому числі й за кольором, часто використовують поняття «довжина хвилі випромінювання світлодіодів». У цьому повідомленні розглядаються кольорові, умовно монохроматичні світлодіоди. Очевидно, що завжди є деякий розподіл спектральної щільності потужності випромінювання, яке можна охарактеризувати однією довжиною хвилі лише з певним наближенням. Якщо відомий розподіл спектральної щільності потужності випромінювання, то можливо передбачити його вплив на будь-який приймач, у тому числі й на людське око. Проте у багатьох випадках, коли проводиться оцінка доцільності застосування того або іншого типу світлодіода, дані щодо спектра відомі лише наближено, за інформацією виробника. У багатьох випадках доступні лише відомості стосовно довжини хвилі та напівширини спектра. Представляє інтерес з'ясувати, наскільки точним є наближення монохроматичності кольорових світлодіодів. Очевидно, що існують різні підходи до вирішення цього питання. Нижче пропонується обмежитися розглядом з точки зору термінології, зафіксованої в ДСТУ 3651.1-97 [1] і в колориметрії.

ДСТУ 3651.1-97 передбачає використання спектральних величин, енергетичних, фотонних і світлових. Світлові величини описують дію випромінювання на людське око; енергетичні величини — на неселективний приймач, наприклад, радіометр з електричним замощенням; фотонні величини добре підходять для описання реакції трап-детектора — комбінації фотодіодів зі 100 % внутрішньою ефективністю. Детальне описання



В. Балабан



О. Купко



Є. Тимофеев

реакції приймача потребує використання спектральних величин, практичні потреби спрямовують до спрощеного описання.

Мета цієї роботи — аналіз похибок, зумовлених нехтуванням спектрального розподілу випромінювання світлодіодів, заміною реального спектра δ -функцією від довжини хвилі. Зважаючи на величезну різноманітність реальних спектрів, у цій роботі для аналізу використовувалися спрощені моделі спектрів. Для таких моделей визначено напівширини спектрів, які призводять до похибок, зафіксованих у відповідних повірочних схемах для робочих еталонів.

Очевидно, що реакція неселективного приймача взагалі не залежить від спектрального складу випромінювання. Реакція трап-детектора для симетричних спектрів також не залежить від ширини спектра випромінювання світлодіода. Для несиметричних спектрів картина більш складна, але в межах 100 % квантової ефективності слабо залежить від довжини хвилі. Для світлових вимірювань, окрім ширини спектра, внаслідок характеру $V(\lambda)$ [2] значну роль відіграє довжина хвилі. Під час вимірювань кольору треба враховувати вже три колориметричні функції МК0: $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$ [3], — тобто залежність похибок під час заміни реального спектра випромінювання на квазімонохроматичне від довжини хвилі та напівширини спектра має бути ще більш складною. Відповідно до цього потрібно використовувати різні методи для оцінення похибки використання спрощеного представлення відносно спектра замість реального, не завжди відомого спектра.

Завдання спрощеного (без детального спектрального аналізу) описання давно розглянуто в пірометрії для вимірювання температури випромінювача за допомогою яскравісної температури. Підхід полягає у заміні випромінювання зі складним спектром на монохроматичне випромінювання з ефективною довжиною хвилі, яке має на селективний приймач таку саму дію. У роботі [4] наведено вираз для такої ефективною довжини хвилі. Його можна легко модифікувати; замінивши спектральний склад випромінювання від нагрітого тіла на спектр випромінювання світлодіода, отримаємо:

$$\lambda_{\text{эф}} = \frac{\int_0^{\infty} P(\lambda)S(\lambda)d\lambda}{\int_0^{\infty} \lambda^{-1}P(\lambda)S(\lambda)d\lambda}, \quad (1)$$

де $P(\lambda)$ — спектральна щільність потужності випромінювання світлодіода; $S(\lambda)$ — спектральна чутливість приймача.

Для фотонних одиниць, приймаючи, що чутливість трап-детектора пропорційна довжині хвилі, можна вважати, що $S(\lambda) \sim \lambda$, тобто похибка у визначенні довжини хвилі призведе до помилки в його чутливості. Зрозуміло, що реальні приймачі випромінювання від-

повідають цим моделям лише наближено, але такий підхід можна вважати прийнятним для області 100 % квантової чутливості трап-детектора. Відповідно можна записати вирази для ефективною довжини хвилі. Використовуючи їх можна визначити, за яких умов можна користуватися однією довжиною хвилі для описання впливу випромінювання світлодіода на приймач. Оскільки $S(\lambda) \sim \lambda$, для симетричних контурів можна обмежитися розглядом зсуву лише для однієї довжини хвилі. Для трап-детектора для несиметричних контурів повинні спостерігатися зсув ефективною довжини хвилі, а також залежність від довжини хвилі. Можливі найрізноманітніші несиметричні контури, у розглянутому випадку для оцінок використовувалися трикутні контури. Розраховувався зсув ефективною довжини хвилі за формулою, яка є наслідком формули (1) та наближення для чутливості приймача:

$$\lambda_{\text{эф}} = \frac{\int_0^{\infty} P(\lambda)\lambda d\lambda}{\int_0^{\infty} P(\lambda)d\lambda}, \quad (2)$$

а потім розраховувалася похибка у визначенні чутливості приймача, зумовлена використанням довжини хвилі максимуму спектра випромінювання λ_0 світлодіода замість ефективною довжини хвилі за формулою: $\Delta(\lambda) = [(\lambda_{\text{эф}} - \lambda_0) / \lambda_0] \cdot 100 \%$.

Усі розрахунки виконувалися для трикутних контурів, зі зростаючою, спадаючою або симетричною функцією спектрального розподілу випромінювання світлодіодів із кроком 1 нм. Для симетричних контурів зсув ефективною довжини хвилі відсутній. Результати розрахунків для таких несиметричних контурів подано на рис. 1. Результати розрахунків похибки для симетричних контурів практично не залежать від

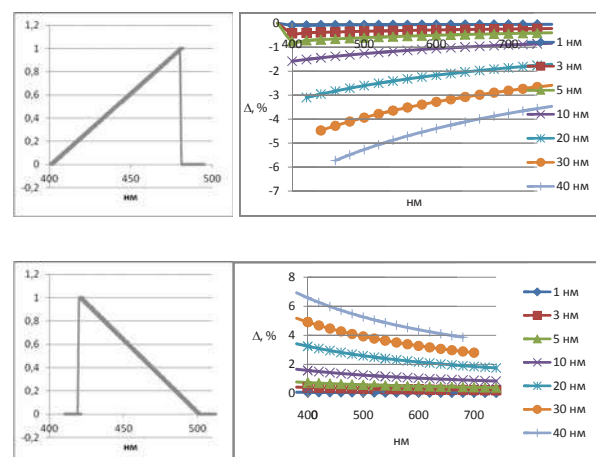


Рис. 1. Контури спектрального розподілу світлодіодів, які використовувалися для розрахунків та результати цих розрахунків для несиметричних контурів

Fig. 1. Contours of the spectral distributing of light-emitting diodes which was utilized for calculations and results of these calculations for asymmetrical contours

довжини хвилі та напівширини, аж до крайових ефектів, тому графіків не представлено.

Видно, що під час вимірювання потужності за допомогою трап-детектора відносна невизначеність у чутливості приймача, зумовлена несиметрією контуру, може бути порядку відсотка для контурів із напівшириною до 5 нм. Ураховуючи [5], де для потужності лазерного випромінювання від 10^{-5} до 1 Вт для робочих еталонів передбачена похибка (3–5) %, можна стверджувати, що ця складова похибки не є суттєвою навіть для симетричних контурів, менших від 100 нм. Для несиметричних контурів наближення монохроматичних світлодіодів можна використовувати до (20–30) нм.

Для приймача, скоригованого під $V(\lambda)$, залежність ефективної довжини хвилі λ_{ef} від ширини смуги випромінювання світлодіода $\Delta\lambda$ для різних довжин хвиль легко розрахувати, тобто отримати відомості стосовно того, наскільки змінюватиметься сила світла світлодіодів за зміни ширини спектра випромінювання за рівної потужності. Розраховано похибки під час вимірювань сили світла для різних контурів зі змінними максимумами та змінними напівширинами за формулою:

$$\Delta v(\lambda) = \left(\int_0^{\infty} P(\lambda)V(\lambda)d\lambda / V(\lambda) \cdot \int_0^{\infty} P(\lambda)d\lambda - 1 \right) \cdot 100 \% \quad (3)$$

Результати розрахунку для симетричних контурів представлено на рис. 2.

Видно, що поблизу максимуму $V(\lambda)$ є провал, який для контурів із напівширинами, більшими за 20 нм, перевищує 1 %. У цілому ж, відмінність на краях контуру, в синій і червоній областях, може бути значною. В ДСТУ 3394-96 [6] для робочих еталонів передбачено похибки від 1,5 до 2,5 %, тобто можна сказати, що для довжин хвиль, більших за 660 нм і менших від 420 нм, для контурів із шириною 20 нм і більше

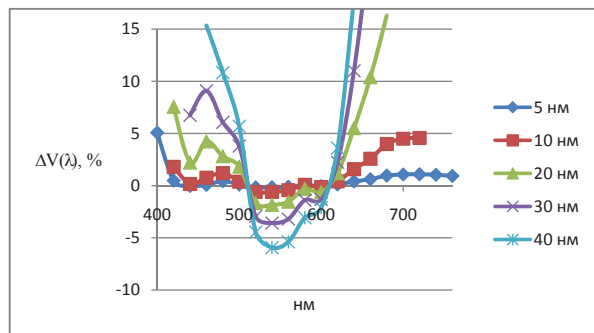


Рис. 2. Похибки вимірювання сили світла для світлодіодів однакової потужності й різної ширини симетричного спектра випромінювання
Fig. 2. An error is in luminous intensity for the light-emitting diodes of identical power and different width of symmetric spectrum of radiation

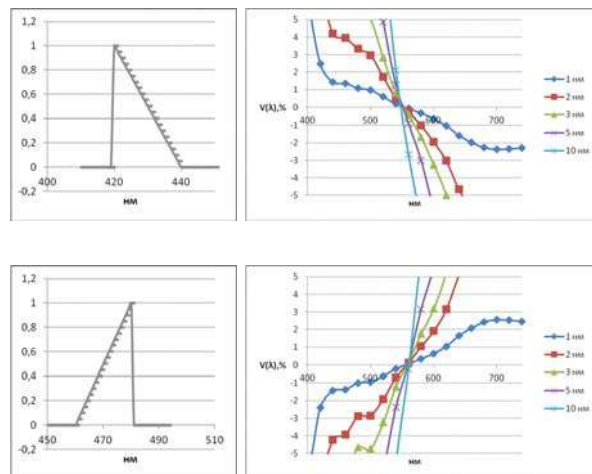


Рис. 3. Похибка вимірювання сили світла для світлодіодів однакової потужності й різної ширини несиметричних спектрів випромінювання
Fig. 3. An error is in luminous intensity for the light-emitting diodes of identical power and different width of asymmetrical spectrum of radiation

можливі похибки, які перевищують типові похибки для робочих еталонів. Для несиметричних світлодіодів, навіть для напівширини 5 нм, похибки допустимі будуть лише для довжин хвиль поблизу максимуму $V(\lambda)$, а для інших довжин хвиль вони значно більші. Ураховуючі, що функція $V(\lambda)$ змінюється на кілька відсотків на кожному нанометрі для всіх довжин хвиль за межами ділянки (530–580) нм, такого потрібно було очікувати. Графіки $\Delta V(\lambda)$ подано на рис. 3.

Для кольорових світлодіодів природно потребувати знання їх координат колірності. Останні обчислюються за спектральними розподілами потужності випромінювання світлодіодів і табульованими розподілами x , y , z . Детальну процедуру викладено у безлічі джерел, наприклад, [7, 8]. Зрозуміло, що можна застосувати такий же підхід, що і за розгляду зсуву ефективної довжини хвилі, для приймача, скоригованого під $V(\lambda)$, тобто розрахувати координати колірності для довжин хвиль із кроком 20 нм і вже використаних видів контурів спектра випромінювання світлодіода. Результат розрахунків — це достатньо велика таблиця, яку незручно аналізувати. Загальну картину координат колірності за збільшення напівширини контуру спектра випромінювання світлодіода від 0,1 до 30 нм представлено на рис. 4. Її важко використовувати як джерело детальної інформації. Загальна картина полягає в тому, що найзначніше ширина контуру впливає на колірність для довжин хвиль від 480 до 520 нм, а на синій і червоних ділянках спектра збільшення ширини спектра світлодіода мало впливає на колірність.

Для зручності розраховано зміни координат колірності для кожної довжини хвилі й для кожної

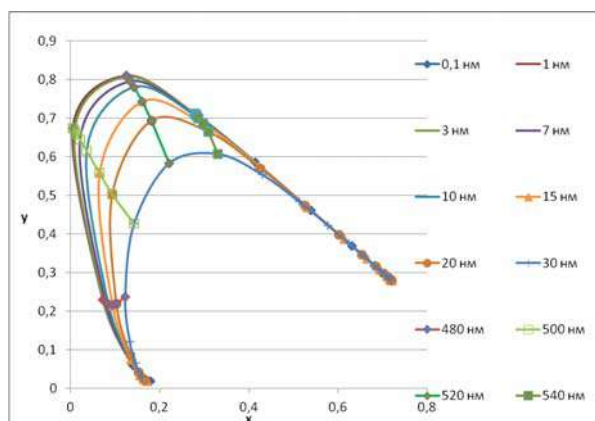
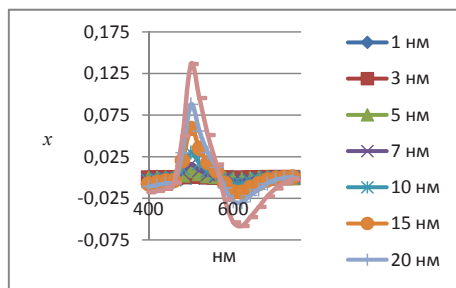


Рис. 4. Координати колірності модельних джерел випромінювання з довжинами хвиль від 400 до 740 нм і напівшириною від 0,1 до 30 нм

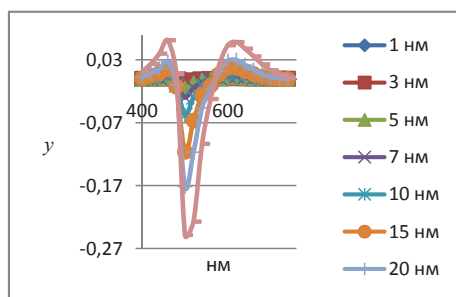
Fig. 4. Chromaticity coordinates of model radiants with lengths waves from 400 to 740 nm and bandpass from 0,1 to 30 nm

напівширини і представлено у виді графіків окремо для координати x і y (рис. 5 а, б). Ураховуючи, що для робочих еталонів відповідно до ДСТУ 7676:2015 [9] $\Delta x = \Delta y = (0,002-0,005)$, видно, що навіть 5 нм ширина спектра випромінювання світлодіода не дає можливості розглядати його як еталонний монохроматичний випромінювач.

Практичні вимоги до координат колірності сформульовано у нормативних документах; наприклад,



а



б

Рис. 5. Зміни координат колірності для видимого діапазону за збільшення ширини спектра випромінювання світлодіода від 1 до 20 нм

Fig. 5. Changes of chromaticity coordinates for a visible range for at the increase of width of spectrum of radiation of light-emitting diode from 1 to 20 nm

для світлофорів сформульовано вимоги до сигнальних приладів залізничного транспорту в ГОСТ 24179 [10]. В інших документах вимоги дещо відрізняються, але загальна картина така ж. Якщо простежити за координатами колірності монохроматичного випромінювання для точки, розташованої на локусі в центрі зони, за зміни ширини контуру, то можна зафіксувати напівширину, за якої координати колірності дійдуть до дозволеної межі. Це може слугувати умовним критерієм допустимості збільшення ширини контуру. На рис. 4 представлено локуси в синій, зеленій і червоній частинах спектра, дозволеної області в цих же частинах спектра і послідовно координати колірності за збільшення ширини контуру випромінювання. Початкові точки вибрано у середній частині дозволеної частини локусу, для синьої області 462 нм, для зеленої — 510 нм, для червоної — 700 нм. У синій області прийнятним виявляється збільшення ширини спектра до 22 нм, у зеленій — до 47 нм, у червоній — до 27 нм. Відповідні графіки представлено на рис. 6 а, б, в.

У результаті можна констатувати, що передбачені для контролю колірності джерел вимоги набагато менш жорсткі, ніж вимоги до похибок вимірювання координат колірності.

Наведені результати отримані розрахунковим методом за використання спрощених моделей. Тому проведені розрахунки можуть бути застосовні не лише до світлодіодів, але й до будь-яких інших вузькосмугових джерел випромінювання. Реальні завдання найчастіше потребують оцінок за даними спектральних вимірювань, проте, на етапі попередніх оцінок можливостей використання світлодіодів для конкретних цілей, можна скористатися рекомендаціями, які випливають із проведених розрахунків, і даними виробника. За вимірювань трап-детектором (реєстрація числа фотонів або вимірювання струму) заміна реального спектра випромінювання монохроматичним призведе до того, що виникне невизначеність у довжині хвилі, що призведе до похибок, які передбачені [5] для несиметричних контурів з напівширинами (20–30) нм; для симетричних контурів можливо використання значно більш широких контурів. Оскільки спектральні чутливості звичайних кремнієвих фотодіодів відрізняються від спектральної чутливості трап-детектора на множник, який приблизно дорівнює одиниці, можна розповсюдити цей висновок і на них. З точки зору світлових вимірювань заміна кінцевої ширини контуру монохроматичним випромінюванням може призвести до помітних, порівняних з вимогами ДСТУ 3394-96 [8], похибок лише на краях видимого спектра аж до ширини контуру випроміню-

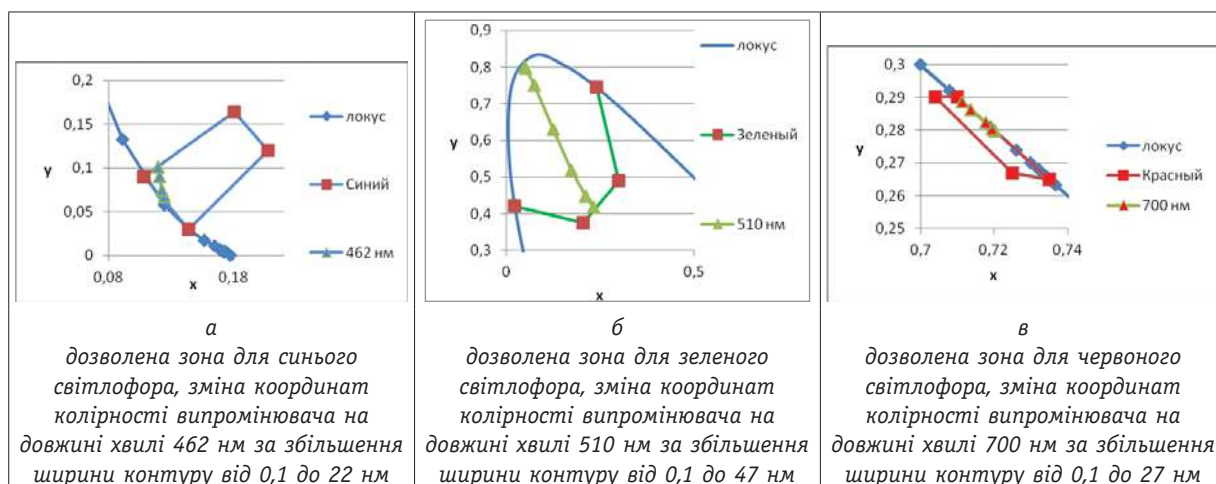


Рис. 6. Дозволені зони для синього (а), зеленого (б) і червоного (в) світлофора, зміна координат колірності випромінювача на довжинах хвиль 462 нм (а), 510 нм (б), 700 нм (в) за збільшення ширини контуру від 0,1 до 22 нм (а), до 47 нм (б), до 27 нм (в)

Fig. 6. Areas are settled for a dark blue (a), green (b) and red (v) zones of traffic-light, change of chromaticity coordinates of emitter wavelength from 462 nm (a), 510 nm (б), 700 nm (в) at the increase of width to the contour from 0,1 nm to 22 nm (a), to 47 nm (б), to 27 nm (в)

ня, близької до 20 нм. З точки зору колориметричних вимірювань, враховуючи вимоги ДСТУ 7676:2015 [9], для робочих еталонів, починаючи з напівширини 5 нм випромінювання не може вважатися монохроматичним. З точки зору стандартів, що регламентують вимоги до колірності, це обмеження може бути

дещо ослаблено, але, починаючи з (30–40) нм, навіть і для цих цілей заміна не може вважатися коректною.

У цілому можна стверджувати, що заміна реального спектра випромінювання монохроматичним під час розрахунків можлива лише в окремих випадках і в кожному разі потребує ретельного обґрунтування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. ДСТУ 3651.1-97. Метрологія. Єдиниці фізических величин. Производные единицы физических величин международной системы единиц и внесистемные единицы. Основные понятия, наименования и обозначения. — Киев. — Госстандарт (DSTU 3651.1-97. Metrology. Units of physical quantities SI. — Kiev. — Gosstandart). — 1998. — С/Р. 28.
2. ДСТУ ГОСТ 8.332:2008 ГСИ. Световые измерения. Значения относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения. Дата введения (DSTU GOST 8.332:2008 State system for ensuring the uniformity of measurements. Light measurements. Values of relative spectral light efficiency of monochromatic radiation for photopic vision. — Date): 01.10.2008. — 5 с/р.
3. CIE 15:2004. Technical report. Colorimetry. 3rd edition. P.72.
4. Свет Д.Я. Оптические методы измерения истинных температур. М.: Наука (Svet D. Ya. Optical methods of measurements of real temperatures. — М.: Science). — 1982. — 295 с/р.
5. ДСТУ 3539-97 Державний стандарт України. Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань середньої потужності лазерного випромінювання та енергії імпульсного лазерного випромінювання в діапазоні довжин хвиль від 0,3 до 12,0 мкм. — Чинний від 01.01 1998. — Госстандарт України. — К (DSTU 3539-97 Metrology. State system for ensuring the uniformity of measurements. Measurement chain for facilities of measurements of middle power of laser radiation and energy of impulsive laser radiation in the range of lengths of waves from 0,3 to 12,0 мкм. — Date: 01.01 1998. — Gosstandart of Ukraine). — С/Р. 8.
6. ДСТУ 3394-96 Державна повірочна схема для засобів вимірювання світлових одиниць. — Чинний від 01.01.1996. — Держстандарт. — К (DSTU 3394-96 State system for ensuring the uniformity of measurements for facilities of measuring of light units. — Date: 01.01.1996. — Gosstandart of Ukraine. — К). — С/Р. 5.
7. РМУ 11-054-2007. Координати кольору та кольоровості. Метод розрахунку. — ННЦ «Інститут метрології», — Харків (GMR 11-054-2007. Tristimulus values and chromaticity coordinates. Method of calculation. — NNC «Institute of metrology». — Kharkiv), — 2007. — С/Р. 58.
8. Standard Practice for Computing the Colors of Objects by Using CIE System ASTM E 308-01.
9. ДСТУ 7676:2015 Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань координат кольору та координат колірності (DSTU 7676:2015 Metrology. Measurement chain for facilities of Tristimulus values and chromaticity coordinates).
10. ГОСТ 24179-80. Светофильтры, светофильтры-линзы, линзы, рассеиватели и отклоняющие вставки для сигнальных приборов железнодорожного транспорта. Технические условия. — Изд-во стандартов. — М (GOST 24179-80. Light filte, light filte-lens, lens, diffusers of deflect framing for signal device railway transport. — TC. — Standart press. — М). — 1980, — С/Р. 30.

Отримано / received: 31.01.2017.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Ю.П. Мачехінім (Україна).
Prof. Yu.M. Machekhin, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.

УДК 536.6

МЕТОДИ КОМПЕНСАЦІЇ ВПЛИВУ НЕІДЕНТИЧНИХ УМОВ ТЕПЛООБМІНУ У ВИМІРЮВАЛЬНИХ КОМІРКАХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО КАЛОРИМЕТРА

С. Іванов, молодший науковий співробітник,
Л. Воробйов, кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник,
Л. Декуша, доктор технічних наук, заступник завідувача відділу,
О. Декуша, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

Розглянуто проблему компенсації впливу неідентичних умов теплообміну у вимірювальних комірках диференціального калориметра за дослідження теплоти випаровування води і органічних розчинників методом синхронного теплового аналізу. Запропоновано розрахунковий метод компенсації та метод, що базується на прямому вимірюванні температури поверхонь комірок та робочого середовища в калориметрі. Для реалізації методу компенсації, що базується на вимірюванні температури, розроблено нову конструкцію калориметра.

The article is devoted to improving the accuracy of the vaporization heat measurement by differential calorimeters of synchronous thermal analysis.

The evaporation heat measurement by the method of synchronous thermal analysis is fraught with difficulties. Non-identical con-

ditions of heat exchange are installed in measuring cells of differential calorimeter (fig.1) due to the decreasing temperature of the sample surface because of evaporation. If the effect of this non-identity will not be taken into account when processing the data, the result will contain an additional error.

We were considered the different methods for determining the vaporization heat which take into account the influence non-identical heat exchange conditions in the cells. The first method is based on the analytical determination of the temperature difference between the surface of the sample and the cell-referent. The second method allows to measure the temperature difference between the surface of the sample and cell-referent experimentally. Advantages and disadvantages of each method are considered in detail. Also presented the new design of calorimeter (fig 2), which is able to realize in practice the new experimental method for determining the vaporization heat.

Ключові слова: диференціальний калориметр, умови теплообміну, теплота випаровування.

Keywords: differential calorimeter, heat exchange conditions, heat of vaporization.

Диференціальний метод вимірювання набув широкого поширення в калориметрії завдяки простоті, універсальності, а також можливості суттєво знизити вплив сторонніх факторів, що значною мірою позначається на точності проведеного вимірювання [1]. Для ефективною реалізації такого методу в калориметрії необхідно, щоби в експерименті брали участь не менше двох вимірювальних комірок, які є ідентичними як за геометричними, так і за теплофізичними параметрами, і перебували б у спільній робочій камері за однакових умов експерименту. Досліджуваний зразок розміщують у робочій комірці, а друга комірка (референт) залишається порожньою. Протягом експерименту комірки містяться в робочій камері приладу за однакових умов, що значно знижує вплив зовнішніх збурювальних факторів внаслідок різниці сигналів від

робочої комірки та комірки-референта. Проте, використання диференціального методу під час експериментального визначення теплоти випаровування пов'язано з певними ускладненнями. Внаслідок випаровування вологи зі зразка в робочій комірці температура поверхні останньої знижується, що призводить до виникнення неідентичних умов теплообміну робочої комірки та комірки-референта. Таке явище є джерелом додаткової похибки, що позначається на точності кінцевого результату вимірювання та порушує питання необхідності врахування впливу цього ефекту.

Характерним прикладом диференціального калориметра для дослідження питомої теплоти випаровування є прилад ДМКІ-1, розроблений в Інституті технічної теплофізики НАН України [2]. У цьому приладі реалізовано принцип синхронного теплового

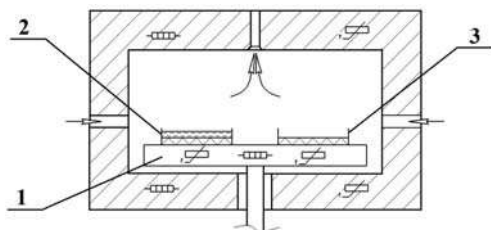


Рис. 1. Робоча камера приладу ДМКИ-1

Fig. 1. The working chamber of device DMKI-1

аналізу, що об'єднує мікрокалориметричні й термогравіметричні вимірювання [3, 4].

На рис. 1 представлено схему робочої камери приладу ДМКИ-1.

Калориметрична платформа 1 зазначеного приладу має дві плоскі відкриті комірки 2 і 3, ідентичні за геометричними та теплофізичними характеристиками, з вмонтованими перетворювачами теплового потоку (ПТП) [5]. Платформу розміщено в робочій камері, утвореній верхньою термостатованою кришкою й термостатованим корпусом приладу і поєднаній з аналітичними вагами під тепловим блоком через коаксіальну стійку. Коаксіальна стійка має можливість вертикального переміщення без тертя з корпусом приладу, а передавання вимірювальної інформації від калориметричної платформи виконується за кількома радіально розташованими мідними провідниками діаметром 0,03 мм, які мають форму петлі. Така конструкція мінімізує спотворення в показаннях вагів [6].

Вологе повітря видаляється із робочої камери за гнучкими патрубками за допомогою компресора. Між робочою камерою і компресором розміщено ресивер, який збирає сконденсовану вологу із повітря, що транспортується, а також гасить можливі перепади тиску, забезпечуючи стабільний і рівномірний потік повітря через робочу камеру.

Платформу, верхню кришку і корпус приладу об'єднано спеціальними електронагрівниками з незалежним регулюванням.

Окремо розміщений електронний блок оснащено трьома терморегуляторами, які відповідають за задання температури в робочій камері, підтримування ізотермічних умов експерименту, а також перетворення вимірювальної інформації у цифрову форму, з подальшим передаванням її на персональний комп'ютер. Завдяки спеціально розробленому програмному забезпеченню вимірені дані можуть бути представлені у графічній формі або у формі таблиць формату *Excel*.

Загальний принцип розрахунку величини питомої теплоти випаровування представлено формулою

у диференціальному виді:

$$r = \frac{Q_1 - Q_2 + Q_{HT}}{dm/d\tau}, \quad (1)$$

де Q_1, Q_2 — теплові потоки, що проходять через робочу комірку і комірку — референт; Q_{HT} — неконтрольований теплообмін, що виникає внаслідок неідентичності умов теплообміну у вимірювальних комірках; $dm/d\tau$ — швидкість втрати маси зразком.

Інтегральна форма рівняння вимірювань, яка дозволяє визначити середнє значення питомої теплоти випаровування за інтервал часу від початкового моменту τ_i до кінцевого моменту τ_j , має вид:

$$\bar{r}_{ij} = \frac{\int_{\tau_i}^{\tau_j} [Q_1(\tau) - Q_2(\tau) + Q_{HT}(\tau)] d\tau}{m(\tau_i) - m(\tau_j)}. \quad (2)$$

У спрощеному варіанті розрахунків величиною неконтрольованого теплообміну Q_{HT} нехтують, однак для підвищення точності вимірювань доцільно розробити методи її врахування.

Мета роботи — розроблення методів вимірювання теплоти випаровування з компенсацією впливу неідентичності умов теплообміну у вимірювальних комірках диференціального калориметра, а також калориметричного засобу вимірювання, здатного реалізувати ці методи.

ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Опрацювання експериментальних даних для диференціального калориметра спирається на систему рівнянь теплового балансу для вимірювальних комірок [7]. Теплопідвід до комірок приладу здійснюється кондуктивно. У процесі експерименту теплообмін відкритої поверхні робочої комірки приладу з навколишнім середовищем представлено трьома складовими: складовою, зумовленою конвективним теплообміном зразка з повітряним середовищем, яке циркулює у робочій камері; складовою радіаційного теплообміну зразка з верхнім термостатуєм елементом кришки приладу; складовою тепломасопереносу внаслідок випаровування вологи зі зразка. Для комірки-референта теплообмін відкритої поверхні з середовищем обмежений лише конвективною і радіаційною складовими теплообміну.

Для схеми, яка використовується за вимірювання теплоти випаровування, справедлива така система рівнянь теплового балансу:

$$\begin{cases} Q_1 = r \cdot \frac{dm}{d\tau} + \alpha_{\Sigma} (T_{\text{СЕР}} - T_{\text{ПОВ1}}) \cdot F_{\text{ПТП}} \\ Q_2 = \alpha_{\Sigma} (T_{\text{СЕР}} - T_{\text{ПОВ2}}) \cdot F_{\text{ПТП}} \end{cases}; \quad (3)$$

де: $F_{\text{ПТП}}$ — площа ПТП; α_{Σ} — сумарний коефіцієнт теплообміну внаслідок конвекції та випромінювання; $T_{\text{СЕР}}$ — температура газового середовища; $T_{\text{ПОВ1}}$,

$T_{\text{ПОВ}2}$ — температури поверхонь робочої комірки і комірки — референта; r — питома теплота випаровування.

Справедлива також система рівнянь, яка описує кондуктивне теплопередавання від платформи до поверхні зразка і поверхні комірки-референта:

$$\begin{cases} Q_1 = (T_{\text{ПЛ}} - T_{\text{ПОВ}1}) / (R_{\text{ПТП}1} + R_{\text{ЗР}}); \\ Q_2 = (T_{\text{ПЛ}} - T_{\text{ПОВ}2}) / R_{\text{ПТП}2} \end{cases}; \quad (4)$$

де: $T_{\text{ПЛ}}$ — температура платформи; $R_{\text{ПТП}1}$, $R_{\text{ПТП}2}$ — теплові опори ПТП робочої комірки і комірки — референта; $R_{\text{ЗР}}$ — тепловий опір зразка.

За розв'язання системи рівнянь (2) і (3), відносно r , отримуємо:

$$r = \frac{\left((Q_1 - Q_2) + \alpha_{\Sigma} \cdot F_{\text{ПТП}} \times \right. \\ \left. \times (R_{\text{ПТП}1} \cdot Q_1 - R_{\text{ПТП}2} \cdot Q_2 + R_{\text{ЗР}} \cdot Q_1) \right)}{dm/d\tau}. \quad (5)$$

Шляхом уведення величини $R_{\alpha} = 1/(\alpha_{\Sigma} \cdot F_{\text{ПТП}})$ — сумарного теплового опору від конвективної й радіаційної складових теплообміну — в рівняння (5) отримуємо розрахункову формулу для визначення питомої теплоти випаровування:

$$r = \frac{\left((Q_1 - Q_2) + Q_1 \cdot (R_{\text{ПТП}1} + R_{\text{ЗР}}) \right)}{dm/d\tau} \cdot \frac{R_{\alpha} - Q_2 \cdot R_{\text{ПТП}2} / R_{\alpha}}{R_{\alpha}}. \quad (6)$$

Температура віднесення $T_{\text{ВІД}}$ визначається за формулою:

$$T_{\text{ВІД}} = T_{\text{ПЛ}} - Q_1 \cdot (R_{\text{ПТП}1} + R_{\text{ЗР}}). \quad (7)$$

Зазначений метод ураховує неідентичність умов теплообміну в комірках внаслідок непрямого визначення температури поверхонь зразка і комірки-референта через значення теплового опору зразка $R_{\text{ЗР}}$ і сумарного теплового опору R_{α} . Проте, використовувати у розрахунках величини $R_{\text{ЗР}}$ складно, зважаючи на те, що ця величина часто не лише невідома, але й змінюється зі зміною вологості зразка [8].

Альтернативою методу, описаному вище, може стати розрахунок теплоти випаровування, в якому замість непрямого визначення температур поверхонь зразка і комірки-референта потрібно використовувати пряме вимірювання величин $T_{\text{ПОВ}1}$ і $T_{\text{ПОВ}2}$. Для реалізації цього завдання в ІТФ НАН України запропоновано нову конструкцію диференціального калориметра, схему робочої камери якого представлено на рис. 2.

Для безпосереднього вимірювання температури газового середовища, яке циркулює у робочій камері, до експериментального приладу вмонтовано спеціальний перетворювач температури (ПТ) 4.

Також у кришці приладу встановлено безконтактні інфрачервоні ПТ 5 і 6, розміщені у такий спосіб, щоби реєструвати значення температур на поверх-

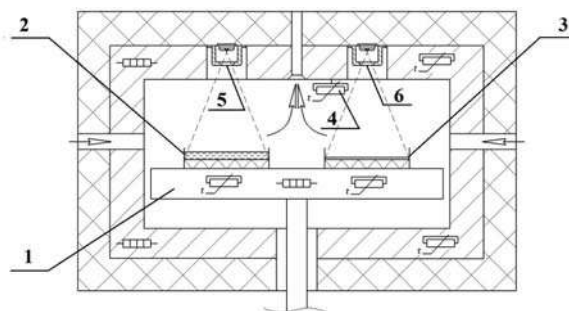


Рис.2. Робоча камера експериментального приладу для визначення теплоти випаровування
Fig.2. The working chamber of experimental device for measuring the heat of vaporization

нях робочої комірки 2 і комірки-референта 3, відповідно. Окрім того, в комірці-референті розміщують змінну пластину з термічно інертного матеріалу, на поверхню якої нанесено покриття з відомими терморадіаційними характеристиками, близькими до характеристик досліджуваного зразка.

Шляхом вирішення системи рівнянь (3) і проведення ряду перетворень отримуємо:

$$\frac{Q_1 - r \cdot dm/d\tau}{Q_2} = \frac{T_{\text{СЕР}} - T_{\text{ПОВ}1}}{T_{\text{СЕР}} - T_{\text{ПОВ}2}}. \quad (8)$$

Розв'язавши рівняння (8) відносно теплоти випаровування, отримаємо розрахункову формулу для визначення питомої теплоти випаровування, яка спирається на прямі вимірювання температур газового середовища і поверхонь комірок:

$$r = \frac{Q_1 - Q_2 \cdot (T_{\text{СЕР}} - T_{\text{ПОВ}1}) / (T_{\text{СЕР}} - T_{\text{ПОВ}2})}{dm/d\tau} = \frac{Q_1 - Q_2 + Q_2 \cdot (T_{\text{ПОВ}1} - T_{\text{ПОВ}2}) / (T_{\text{СЕР}} - T_{\text{ПОВ}2})}{dm/d\tau}. \quad (9)$$

Із порівняння (1) та (7) випливає, що $Q_{\text{НТ}} = Q_2 \cdot (T_{\text{ПОВ}1} - T_{\text{ПОВ}2}) / (T_{\text{СЕР}} - T_{\text{ПОВ}2})$.

На відміну від реалізації класичної диференціальної схеми розрахунку з використанням різниці теплових потоків, у формулі (9) величина теплового потоку комірки Q_2 коригується внаслідок внесення поправки на основі даних стосовно температур газового середовища і поверхонь диференціальних комірок, отриманих за допомогою прямих безперервних вимірювань. Також представлений метод дозволяє відмовитися від використання у розрахунках таких складних для вимірювання величин як сумарний опір теплообміну R_{α} і опір теплообміну зразка $R_{\text{ЗР}}$, та вносити поправку на неідентичність умов теплообміну в комірках для кожного відрізка часу.

За переходу до інтегральної форми рівняння вимірювання та заміни інтегралу кінцевою сумою результатів вимірювань теплових потоків, отримуємо розрахункову формулу для визначення середнього

значення питомої теплоти випаровування за обмежений інтервал часу:

$$\bar{r}_{ij} = \frac{\sum_{k=i}^j \left[Q_{1,k} - Q_{2,k} + Q_{2,k} \cdot \frac{T_{\text{ПОВ1},k} - T_{\text{ПОВ2},k}}{T_{\text{СЕР},k} - T_{\text{ПОВ2},k}} \right]}{m_i - m_j} \cdot \gamma, \quad (10)$$

де γ — інтервал часу між вимірюваннями значень теплового потоку та маси, k — номер вимірювання, $i \leq k \leq j$.

ВИСНОВКИ

Отримали подальшого розвитку методи визначення теплоти випаровування засобами диференціальної калориметрії шляхом компенсації неідентичності умов теплообміну в калориметричних комірках, зумовленої зниженням температури за випаровування з поверхні зразка.

Запропоновано дві методики визначення питомої теплоти випаровування, що вносять поправку на неідентичність умов теплообміну в комірках. Основою розрахункового методу є непряме визначення температур поверхонь зразка і комірки-референта, а експериментальний метод дозволяє проводити пряме вимірювання цих величин.


Розрахунковий метод не потребує внесення змін

до конструкції наявного приладу, однак для його реалізації необхідне значення величини теплового опору зразка $R_{зр}$, яке не лише часто невідоме заздалегідь, але й змінюється залежно від вологості зразка.

Використовуючи експериментальні дані стосовно температур газового середовища і поверхонь комірок, із розрахункової формули можна виключити тепловий опір зразка $R_{зр}$, але для отримання цих даних необхідне проведення модифікації конструкції наявного калориметра.

Для реалізації цього методу представлено нову конструкцію приладу синхронного теплового аналізу для дослідження теплоти випаровування, розробленого на базі наявного мікрокалориметра ДМКІ-1. Він обладнаний додатковим ПТ газового середовища і безконтактними інфрачервоними ПТ, що вимірюють температури поверхонь комірок протягом експерименту без збурень температурного поля робочої камери. Така конструкція приладу істотно підвищує точність вимірювання, оскільки дозволить урахувати змінну в процесі сушіння зразка поправку на неідентичність теплообміну для кожного періоду часу Δt , на якому визначається значення теплоти випаровування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. W. Hemminger and G.W.H. Höhne: "Calorimetry — Fundamentals and Practice" Verlag Chemie, Weinheim (1984).
2. Патент України № 84075 МПК G01N 25/26, G01N25/28/ Калориметричний пристрій для визначення питомої теплоти випаровування вологи і органічних рідин з матеріалів /Снежкін Ю.Ф., Декуша Л.В., Дубовікова Н.С., Грищенко Т.Г., Воробйов Л.Й., Боряк Л.А. — Заявка № а2006 13266 від 15.12.2006 (Snyezhkin Yu., Dekusha L., Dubovikova N., Hryshchenko T., Vorobyov L., Boryak L. (15.12.2006). Calorimetric device for measuring the specific heat and evaporation heat of moisture and organic liquids from materials. Patent of Ukraine. IPC G01N25/26, G01N25/28; №84075; declared 15.12.2006; published 10.09.2008, No 17).
3. Э. Кальве, А. Прат Микрокалориметрия. Применение в физической химии и биологии. Пер. с франц. — М.: Издательство иностранной литературы (Calvet E., Prat H. Microcalorimetry: applications in physical chemistry and biology. Moscow: Izd. inostrannoy literatury), 1963. — 477 с/р.
4. Уэндландт, У. Термические методы анализа / У. Уэндландт. — М.: Мир (W. Wendlandt. Thermal analysis methods. Moscow: Mir), 1978. — 526 с/р.
5. Геращенко О.А. Основы теплотрии — К.: Наукова думка (Geraschenko, O. Fundamentals of heat flow measurement. Kiev: Naukova dumka), 1971. — 192 с/р.
6. Установка СТА для измерения теплоты испарения крупнодисперсных материалов / [Т.А. Роман, А.Г. Мазуренко, М.Г. Иваченко та ін.]. // Научни трудове на УХТ — Пловдив (Roman T., Mazurenko A., Ivanchenko M., Dubivko A., Dekusha L., Vorobyov L., Ivanov S. STA devise for measuring the heat of vaporization of coarse materials. Scientific works of UFT — Plovdiv). — 2015. — № 62. — С/Р. 804—809.
7. Иванов С.О. Обработка информации при исследовании свойств влажных материалов методом синхронного теплового анализа / С.О. Иванов, Л.Й. Воробйов, Л.В. Декуша. // Системи Обробки Інформації: збірник наукових праць (Ivanov S., Vorobyov L., Dekusha L. Information processing during the investigation of the moist materials properties by a synchronous thermal analysis. Information processing systems). — 2015. — № 6. — С/Р. 75—78.
8. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача / В.В. Нащокин. — Москва: Высшая школа (Nashchokin V. Technical thermodynamics and heat transfer Moscow: Vyshcha shkola), 1969. — 560 с/р. 

Отримано / received: 02.03.2017.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. О.Г. Мазуренком (Україна).
Prof. O.G. Mazurenko, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.

УДК006.91+536.5

РОЗРОБЛЕННЯ ПЛОЩИННОГО СІРОГО ВИПРОМІНЮВАЧА ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ ПІД ЧАС ВИМІРЮВАНЬ ТЕМПЕРАТУРИ ЗА ІНФРАЧЕРВОНИМ ВИПРОМІНЕННЯМ

Н. Гоц, доктор технічних наук, професор кафедри метрології, стандартизації та сертифікації,
Ю. Дзіковська, аспірант,
 Національний університет «Львівська політехніка»

Проведено аналіз доцільності використання еталонного випромінювача, відмінного від моделі абсолютно чорного тіла, для забезпечення калібрування тепловізора та організації вимірювання температури й градієнта температури за результатами проведення тепловізійного дослідження в реальних умовах експлуатації. Сформовано вимоги та запропоновано конструкції такого випромінювача.

The usage of thermal imaging technology in industry and medicine comes more popularity. To enable the quantitative evaluation of the thermal imaging investigation results based on the thermograms analysis it is important to ensure the increasing the accuracy of temperature and temperature gradient infrared radiation measurement.

The most reliable way to increase the accuracy is to ensure the consideration of the factors that affect the thermal imaging measurement results, namely emissivity of the object surface, background radiation and transmission of intermediate environment. For this, we propose to use the information containing in reflected radiation that can be implemented by using a standard emitter other than black body models.

The purpose of this article is the development of requirements for such emitter and options for its design to implement temperature and temperature gradient measurements for real objects in working conditions.

As a result of the research, the models of such emitter are proposed. They ensure the execution of the basic task of temperature and temperature gradient infrared radiation measurements and thermal imager calibration in working conditions, such as increasing the accuracy of thermal imaging investigations.

Ключові слова: тепловізор, вимірювання температури за інфрачервоним випроміненням, калібрування в робочих умовах експлуатації, площинний сірий випромінювач.

Keywords: thermal imager, temperature measurement by infrared radiation, in-situ calibration, extended area grey emitter.

Оскільки застосування тепловізійної техніки у промисловості та медицині набуває все більшої популярності, то відповідно зростає потреба у підвищенні точності результатів вимірювання температури та градієнта температури за інфрачервоним (ІЧ) випроміненням.

Найнадійніший спосіб підвищення точності — забезпечення врахування умов, що впливають на результати вимірювання. У процесі тепловізійних досліджень основними впливними факторами за робочих умов експлуатації є випромінювальні властивості поверхні досліджуваного об'єкта, фонове випромінення навколишнього середовища та пропускання проміжного середовища.

Їх значення вносяться як параметри проведення вимірювань у тепловізор через панель керування пристроєм. Проте вибір цих значень зазвичай відбувається на основі довідкової інформації суб'єктивно термографістом. У роботі [1] нами запропоновано метод вимірювання температури та градієнта температури за інфрачервоним випроміненням з використанням площинного сірого випромінювача, що дозволяє внаслідок програмування алгоритму автоматично враховувати вплив цих факторів під час проведення вимірювань.

Мета цієї статті — формування вимог до площинного сірого випромінювача та розроблення варіантів його конструкції для реалізації вимірювань температури



Н. Гоц



Ю. Дзіковська

та градієнта температури в робочих умовах проведення вимірювань реальних об'єктів дослідження.

Для реалізації зазначеної мети необхідно вирішити такі завдання:

- 1) обґрунтування доцільності застосування випромінювача, відмінного від абсолютно чорного тіла (АЧТ), під час проведення тепловізійних досліджень;
- 2) формування вимог до такого випромінювача;
- 3) розроблення конструкції випромінювача відповідно до потреб тепловізійного дослідження.

ОБґРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПЛОЩИННОГО СІРОГО ВИПРОМІНЮВАЧА ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Реалізувати запропонований нами метод вимірювання температури та градієнта температури за ІЧ випроміненням з використанням випромінювача типу АЧТ неможливо, оскільки припускається, що значення коефіцієнта випромінювання (КВ) АЧТ $\varepsilon \approx 1$. Водночас частка відбитого випромінення прямує до нуля, оскільки коефіцієнт відбивання $\rho \rightarrow 0$. При цьому наш метод передбачає врахування відбитого випромінення, що прирівнюється до відбитого фонового випромінення.

Окрім того, в [2] ASTM зазначає, що розмір досліджуваної поверхні для термометрів випромінення повинен забезпечувати отримання таким термометром 99 % усієї енергії випромінення досліджуваного об'єкта. Отже, ще однією проблемою АЧТ є відносно малий розмір випромінювальної поверхні, що не дозволяє проводити вимірювання на значних відстанях від АЧТ та забезпечити імітацію умов проведення дослідження за реальних умов [3]. Це зумовлює потребу у використанні площинного випромінювача. Загалом слід пам'ятати, що цільовий розмір випромінювальної поверхні, необхідний для забезпечення процесу вимірювання конкретним тепловізором, залежить від оптичної системи цього тепловізора. Для термометрів випромінення основною характеристикою, що визначає розмір випромінювальної поверхні, є відношення $D:S$ (відстані до площі досліджуваного об'єкта) [4], що безпосередньо можна застосувати і до тепловізорів.

Саме тому для реалізації запропонованого методу вимірювання температури та градієнта температури за ІЧ випроміненням тепловізором за умов експлуатації ми пропонуємо застосовувати площинний сірий випромінювач, значення коефіцієнта випромінювання якого $\varepsilon < 1$ та є сталим у заданому діа-

пазоні довжин хвиль $\Delta\lambda$ та температури ΔT , а саме $\varepsilon(\Delta\lambda, \Delta T) = \text{const}$. Здатність «сірої» поверхні відбивати фонове випромінення доцільно використати для реалізації запропонованого методу та обчислення значень впливних факторів, зокрема, фонового випромінення та коефіцієнта пропускання проміжного середовища.

Проте, існують обмеження не лише у процесі організації вимірювань, але й калібрування тепловізорів. Для останнього у калібрувальних та повірочних лабораторіях використовують також еталонні випромінювачі типу АЧТ, коефіцієнт випромінювання яких прямує до 1, а точніше міститься в межах $0,96 \div 0,99$ [5].

У міжнародних стандартах ISO 10012 Системи менеджменту якості. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання, ISO 17025 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій, а також у стандартах, що стосуються термометрії за випроміненням, таких як стандарти міжнародного товариства SAE AMS (зокрема, вимоги до аерокосмічних матеріалів), 2750D «Пірометрія» і посібник із використання термопар MNL-12 американського товариства з випробування матеріалів, є рекомендації, що пропонують проводити калібрування засобів вимірювання безпосередньо за тих же умов, у яких він використовується та за яких проводитимуться вимірювання для об'єкта дослідження [6]. Отже, зростає зацікавленість у можливості забезпечення калібрування безпосередньо перед виконанням вимірювань [7]. Такий вид калібрування позначається терміном "in-situ calibration" та дозволяє реалізовувати вимірювання динамічних теплових процесів [8, 9].

Також необхідно відзначити, що умови калібрування в лабораторіях відповідають нормальним умовам, які передбачають проведення вимірювань та застосування АЧТ за конкретних значень таких параметрів, як температура навколишнього середовища, відносна вологість повітря, атмосферний тиск, напруга мережі живлення, частота змінного струму (згідно з ДСТУ 3194:2005 [10], ГОСТ 8.395-80 [11] та МПУ 219/06-2008 «Інструкція. Метрологія. Тепловізори. Методика перевірки»). Зокрема, обов'язковою умовою їх застосування є також відсутність потужного фонового випромінювання, що забезпечується усуненням сонячного випромінення (екрануванням, зашторенням вікон) та випромінювання ламп освітлення. За реальних же умов значення таких параметрів істотно відрізняються від значень за нормальних умов. Окрім того, у разі використання такого еталонного АЧТ за робочих умов виникає потреба

у додаткових розрахунках, що забезпечують урахування інструментального дрейфу, пов'язаного із транспортуванням [3]. Тому виникає потреба у розробленні випромінювача, що може працювати за робочих умов та успішно забезпечити можливість реалізації й методики калібрування тепловізора на місцях.

Окрім того, вартість АЧТ також є однією із перешкод успішному та доступному його використанню для кожного професійного користувача тепловізійної техніки. Спроби розроблення дешевшого випромінювача з «модульованим» значенням випромінювальної здатності та аналіз наявних рішень представлено у [12—15], що ще раз підтверджують необхідність та можливість розроблення й використання випромінювача, відмінного від моделі АЧТ.

ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО ВИПРОМІНЮВАЧА

На основі зазначеної вище інформації нами сформульовано вимоги до сірого випромінювача:

- площинний характер конструкції, що дозволяє імітувати поверхню об'єкта дослідження та забезпечити достатній розмір досліджуваної поверхні, який відповідає вимогам ОПС конкретного тепловізора;
- КВ поверхні у певному температурному та спектральному діапазонах є сталим: $\varepsilon(\Delta\lambda, \Delta T) = \text{const}$ і $\varepsilon(\Delta\lambda, \Delta T) < 1$ [16];
- випромінювальні властивості випромінювача є сталими у часі: $\varepsilon(t) = \text{const}$;
- сумарний коефіцієнт відбивання поверхні відповідає таким вимогам: $\rho(\Delta\lambda, \Delta T) > 0$, $\rho(\Delta\lambda, \Delta T) = \text{const}$;
- забезпечення однорідності температури випромінювальної поверхні;
- робочий спектральний діапазон $\Delta\lambda$: від 8 до 14 мкм;
- робочий діапазон температур ΔT : у межах ІЧ області випромінювання: (273 ÷ 800) К.

Оптимальним у забезпеченні дотримання всіх умов, зазначених вище, є метал або ж сплав металів [17].

РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПЛОЩИННОГО СІРОГО ВИПРОМІНЮВАЧА

Способи формування випромінювальної здатності поверхні площинного сірого випромінювача

Значення потоку випромінювання від випромінювача можна змінювати як за допомогою зміни температури випромінювальної поверхні, так і внаслідок підбору конкретного матеріалу та геометричних характеристик поверхні випромінювання.

Виділимо три основні способи формування зна-

чення КВ практично будь-якої поверхні:

1) нанесення покриття з різним значенням коефіцієнта випромінювання (зокрема, навіть фарбуванням поверхні можна досягти значення коефіцієнта випромінювання до 0,95);

2) механічна обробка поверхні, що забезпечує отримання різної шорсткості поверхні (для металів шліфувана поверхня має випромінювальну здатність від 0,02 до 0,5 залежно від виду [18], а за зміни шорсткості може наближатися до значення коефіцієнта випромінювання АЧТ);

3) зміна геометрії поверхні.

Для металів доданий ще один спосіб — це окиснення поверхні металу (забезпечує зростання коефіцієнта випромінювання до 0,8, проте процес окиснення є фактично безперервним та нерівномірним у часі, що призводить до зростання невизначеності внаслідок відсутності достовірних знань стосовно значення коефіцієнта випромінювання) [19].

На нашу думку, оптимальними є механічна обробка та зміна геометрії поверхні. Саме формування геометрії поверхні забезпечує стабільність випромінювальної здатності поверхні з плином часу, хороші дифузні властивості, ізотропність просторових характеристик, повторюваність значень параметрів випромінювача та широкий діапазон можливих значень тепловіддачі за вибору матеріалу основи із високим значенням теплопровідності [17]. Також порожнини забезпечують отримання «вірогідного» значення температури порівняно із плоскими поверхнями [7], тому оптимальним стане поєднання площинності випромінювача зі зміною геометрії його поверхні.

Можливу реалізацію зазначеного підходу запропоновано у [17], де обґрунтовано доцільність створення 3D структур на поверхні у формі паралельних порожнин, представлених на рис. 1.

Ми ж пропонуємо для зміни геометрії висвердлювати порожнини у формі конуса або забезпечувати формування такої поверхні за допомогою друку

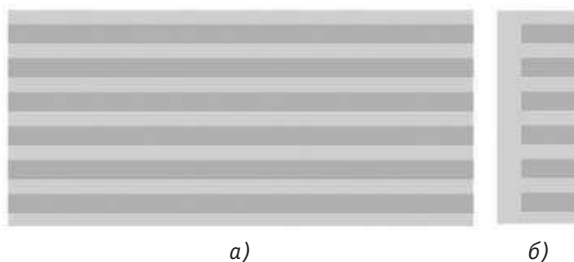


Рис. 1. Поверхня ПСВ із висвердленими паралельними порожнинами:

а) вид зверху; б) вид збоку

Fig. 1. PSV surface with the drilled parallel cavities: a) top view; b) side view

на 3D принтері (рис. 2). Доцільність використання такої форми зумовлена властивістю конуса забезпечувати багаторазове відбивання випромінювання, що потрапляє у його порожнину.

Отже, можна забезпечити підвищення та сталість значення коефіцієнта випромінювання поверхні $\epsilon_{surface}$ матеріалу площинного сірого випромінювача внаслідок зменшення значення коефіцієнта відбивання плоскої поверхні. Математично це підтверджується такою формулою [17]:

$$\epsilon_{cone} = \epsilon_{surface} / [1 - (1 - \epsilon_{surface}) \cdot F], \quad (1)$$

де F — геометричний фактор; R — радіус конуса, мм; H — глибина конуса, мм.

При цьому значення геометричного фактора визначається як [20]:

$$F = 1 - R / \sqrt{H^2 + R^2}. \quad (2)$$

Отже, значення коефіцієнта випромінювання поверхні площинного сірого випромінювача із конусами можна змінювати внаслідок вибору різномірних матеріалів поверхні випромінювача, зміни кількості висвердлених конусних порожнин та зміни радіуса й глибини конусів.

Функціональну залежність значення коефіцієнта випромінювання від конкретно вибраного матеріалу та варіанту обробки можна відображати коефіцієнтом форми k_F . Його можна представити як функцію від радіуса конуса R , його глибини H та кількості висвердлених конусів n_{sq} на одиницю площі:

$$k_F = f(R, H, n_{sq}). \quad (3)$$

Для визначення значення коефіцієнта випромінювання $\epsilon(\lambda, T)$ конкретної поверхні площинного сірого випромінювача із висвердленими конусами потрібно проводити експериментальні дослідження, наприклад, «методом пірометра» [21] із застосуванням контактного термометра за одночасного вимірювання контактної та безконтактної температур поверхні згідно з формулою:

$$\epsilon(\lambda, T) = S_c(\lambda, T) / S_{non-c}(\lambda, T), \quad (4)$$

де $S_c(\lambda, T)$ — вихідний сигнал контактної термометра; $S_{non-c}(\lambda, T)$ — вихідний сигнал безконтактного ВТ.

Забезпечення стабільності температури поверхні площинного сірого випромінювача

Для підтримання стабільного значення температури під час проведення вимірювань у різних температурних діапазонах для різних об'єктів дослідження та умов проведення вимірювань доцільним є вибір площинного сірого випромінювача різної конструкції, зокрема:

- для низьких температур в діапазоні до 30 °C з можливістю забезпечення безпосереднього контакту між об'єктом дослідження й випромінювачем та теплообміну між ними — без наповнювача та підігрівання (наприклад, для тепловізійних досліджень будівель та інших об'єктів низькотемпературних процесів із можливістю кріплення площинного сірого випромінювача до поверхні);

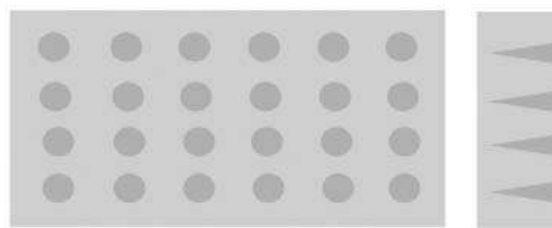


Рис. 2. Поверхня площинного сірого випромінювача із висвердленими конусами: а) вид зверху; б) вид збоку

Fig. 2. The surface of the planar gray emitter with drilled cones: a) top view; b) side view

- в іншому випадку — з різними наповнювачами.

Для забезпечення відповідного значення температури та її однорідності для площинного сірого випромінювача можуть бути використані такі види наповнювачів:

- * дистильована вода — за умови роботи з температурами, вищими за температури замерзання води та нижчими від температури її кипіння, — умовно $0 < T < 100$ °C;
- * масляний наповнювач — температурний діапазон (-25...250) °C;
- * соляна ванна — за роботи з температурами (200...500) °C [3].

Водночас за повірки ПСВ будь-якої конструкції згідно з ЕА-10/13 [22] доцільно контролювати такі характеристики, як однорідність, стабільність, точність відтворення значення КВ, час виходу на робочий режим.

Розглянемо формування цих конструкцій докладніше.

Конструкція площинного сірого випромінювача без наповнювача

Нами проведено обґрунтування вибору конструкції випромінювача на основі аналізу наявних моделей. Відома з літератури конструкція випромінювача «сіре тіло» моделі 975 [23] з діаметром випромінювальної поверхні від 20 до 65 мм та КВ, не меншого від 0,95. Він є портативним джерелом випромінювання, призначеним для калібрування термометрів випромінювання і тепловізорів з використанням еталонного пірометра. Значення його температури встановлюється за допомогою регулятора, що має незалежний індикатор із вбудованим у робочу порожнину контактним датчиком, який

показує дійсне значення температури в діапазоні (50...350) °С. Але недолік цієї конструкції — малі розміри випромінювальної поверхні та велике значення коефіцієнта випромінювання, а також необхідність використання еталонного пірометра.

Відома також конструкція випромінювача «сіре тіло» [24], призначеного для відтворення ІЧ випромінювання, однозначно пов'язаного з температурою випромінювальної поверхні й її лакофарбового покриття. Він виконаний у виді плоского паралелепіпеда із теплопровідного матеріалу, дві великі протилежні грані якого є випромінювальними поверхнями: одна випромінювальна поверхня пофарбована фарбою з відомим коефіцієнтом випромінювання, а інша — розділена на прямокутні ділянки, пофарбовані різними фарбами. При цьому паралелепіпед заповнено рідиною з відомою температурою кипіння, поміщено у нетеплопровідну нішу з боковими стінками на петлях і жалюзі, що не зачиняються, для виключення негативного впливу умов навколишнього середовища.

Цей випромінювач забезпечує однаковий рівень нагрівання як поверхні випромінювача, так і досліджуваної поверхні.

Недолік такого технічного рішення — обмежена сфера його використання для дослідження коефіцієнтів випромінювання фарб проведенням експерт-аналізу досліджуваних фарб або інших покриттів шляхом порівняння з іншими фарбами (покриттями), випромінювальні характеристики яких відомі, нанесеними на одну спільну поверхню з однаковою температурою.

Окрім того, недоліком обох зазначених конструкцій є висока вартість технічного засобу та процесу його обслуговування.

На рис. 3 а-в зображено схему конструкції запропонованого площинного сірого випромінювача.

За будовою площинний сірий випромінювач виконано у виді плоскої пластини із матеріалу високої теплопровідності, випромінювальна поверхня якої за розмірами повинна бути більшою розмірів поля зору вимірального пристрою на відстані проведення вимірювання.

На нижній грані цієї пластини розташовано кріплення з резиновим покриттям за периметром (для забезпечення кращого прилягання до поверхні та ізоляції внутрішньої поверхні площинного сірого випромінювача під час проведення вимірювань) та сенсори.

Кріплення площинного сірого випромінювача повинні забезпечувати максимальне прилягання сенсорів до об'єкта дослідження для забезпечен-

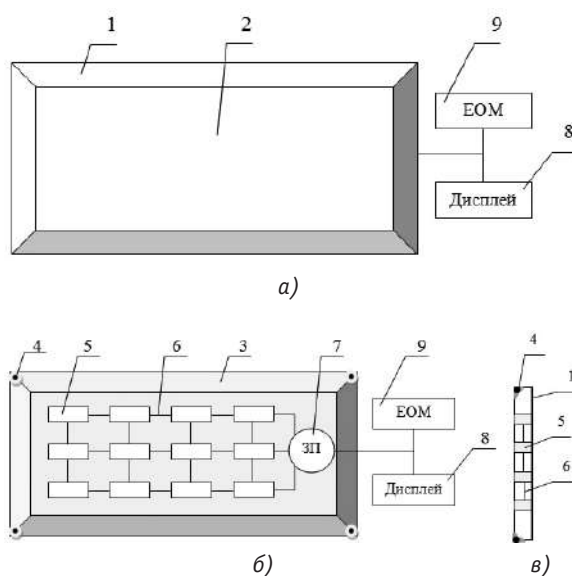


Рис. 3. Схема конструкції площинного сірого випромінювача:

а) вид зверху; б) вид знизу; в) вид у розрізі, де 1 — плоска пластина з теплопровідного матеріалу; 2 — верхня грань плоскої пластини, яка є випромінювальною поверхнею; 3 — нижня грань плоскої пластини із резиновим покриттям; 4 — кріплення; 5 — сенсори; 6 — інформаційні канали; 7 — портативний запам'ятовувальний пристрій (ЗП); 8 — дисплей; 9 — електрообчислювальна машина (ЕОМ) — персональний комп'ютер

Fig. 3. Scheme design of planar radiator gray.

ня проходження процесів теплообміну з мінімальними втратами. Сенсори пов'язані між собою за допомогою інформаційних каналів, із яких інформація надходить на портативний запам'ятовувальний пристрій. При цьому в [7] зазначено, що сенсори повинні міститися на відстані 1 мм від поверхні випромінювача та за умови, що покриття поверхні повинно мати товщину приблизно 50 мкм. Завдяки цьому різниця між значенням температури поверхні та значенням температури, яку вимірює сенсор, є такою, що нею можна знехтувати.

З портативного запам'ятовувального пристрою інформація надходить на дисплей та за можливості на персональний комп'ютер, звідки отримуються дані щодо готовності випромінювача до роботи та максимальної наближеності його температури до температури поверхні досліджуваного об'єкта. Водночас інформація, що надходить через інформаційні канали на запам'ятовувальний пристрій, може опрацьовуватися у виді двох потоків, а саме, усередненого значення температури поверхні та її розподілу.

Ця конструкція забезпечує відсутність потреби у нагрівальному елементі та наповнювачі для підтримання стабільного значення температури. Це дозволяє проводити вимірювання температури та

градієнта температури з використанням тепловізора за робочих умов безпосередньо перед його використанням.

Отже, такий площинний сірий випромінювач дозволяє максимально відтворювати випромінювальні властивості реальної випромінювальної поверхні об'єкта дослідження.

Конструкція площинного сірого випромінювача з наповнювачем

У разі необхідності використання наповнювача площинний сірий випромінювач конструктивно включатиме дві основні частини: блок нагрівача і блок регулятора температури. Нагрівач забезпечує ізотермічність випромінювальної поверхні площинного сірого випромінювача за різних значень температури. Він включає герметичну ізольовану посудину, радіатор, електричний нагрівач і змішувач, які працюють від двигуна постійного струму. У посудину заливається наповнювач, рівень якого можна контролювати за допомогою індикатора, розміщеного на панелі пристрою. Змішувач використовують для забезпечення розподілу нагрітого наповнювача в ємності та рівномірного значення температури в усіх точках випромінювальної поверхні. Розмір та конструкцію радіатора визначають за розміром та конструкцією випромінювальної поверхні.

Для забезпечення точного регулювання температури радіатора та підтримання значення темпе-


ратури на необхідному рівні нагрівач під'єднують до блока регулятора температури. Система контролю блока регулятора включає сенсори температури, цифрові термометри, мікропроцесор та відповідне програмне забезпечення. Для доступу до системи контролю достатньо вивести інформацію на дисплей та використати кнопки для вибору значення температури.

ВИСНОВКИ

Отже, у цій статті обґрунтовано доцільність використання у процесі калібрування тепловізора та проведення тепловізійних досліджень еталонного випромінювача, відмінного від АЧТ. Сформовано вимоги до такого випромінювача. На основі аналізу обрано способи формування та забезпечення стабільності температури його поверхні. Запропоновано різні конструкції площинних сірих випромінювачів без наповнювачів та з наповнювачами залежно від умов та об'єктів дослідження. Запропоновані моделі площинного сірого випромінювача забезпечують виконання основного завдання вимірювання температури та градієнта температури за ІЧ випроміненням та калібрування тепловізора за робочих умов експлуатації, а саме, підвищення точності результатів тепловізійного дослідження шляхом використання інформації у відбитому випроміненні стосовно значення впливних факторів реальних умов проведення дослідження та врахування їх впливу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Dzikovska Yu. Development of in-situ calibration method's algorithm for thermal imager / Yu. Dzikovska, N. Hots // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Комп'ютерні науки та інформаційні технології: збірник наукових праць. — 2015. — № 826. — С/Р. 354—358.
2. Annual Book of ASTM Standards. — ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005. — Vol. 14.03. — P. 490—491.
3. Liebmann Frank E. Infrared Calibration Development at Fluke Corporation Hart Scientific Division [Електронний ресурс] / Frank E. Liebmann, Marco A. Cabrera Carrasco // Simposio de Metrología 2008 Santiago de Querétaro, México, 22 al 24 de Octubre. — Centro Nacional de Metrología, 2008. — Режим доступу: https://www.cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/M2/SM2008-M236-1197.pdf.
4. Finch M. Improving Uncertainties of Non-Contact Thermometry Measurements / Mark Finch // Test and Measurement Conference 2010, 7-10 November 2010, Drakensberg, South Africa. — Drakensberg, 2010. — P. 16—21.
5. Гоц Н.Є. Дослідження особливостей застосування тепловізорів у промислових умовах / Н.Є. Гоц, Ю.М. Дзіковська, Р.В. Кочан // Український метрологічний журнал. — 2015. — № 1. — С/Р. 28—33.
6. Гоц Н. Застосування додаткового калібрування в робочих умовах для зменшення методичної похибки вимірювання та контролю температури за випроміненням / Н. Гоц, Г. Петриченко, Ю. Дзіковська // Контроль і управління в складних системах: тези доповідей XIII Міжнар. конф. КУСС-2016, 3-6 жовтня 2016 р. — Вінниця, — 2016. — С/Р. 128—131.
7. IR Calibration basics. — AMETEK DENMARK A/S, 2003. — 13 p.
8. McGee Thomas D. Principles and methods of temperature measurement / Thomas D. McGee. — John Wiley and Sons Ltd, United States, 1988. — 581 p.
9. ASTM C1046 — 95(2013) Standard Practice for In-Situ Measurement of Heat Flux and Temperature on Building Envelope Components [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://arnisco.com/astm/PDF/C1046.PDF>. — Назва з екрана.

10. ДСТУ 3194:2005 Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань температури. Безконтактні засоби вимірювання температури. — Увед. 28.02.2005. — К.: Держстандарт України, — 2005. — 15 с/р.
11. ГОСТ 8.395-80 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования. — Введ. 01.07.1981. — М.: Изд-во стандартов, — 2008. — 8 с/р.
12. Polakowski H. Wielosektorowy promiennik podczerwieni / H. Polakowski, T. Piątkowski, R. Dulski, K. Firmanty, M. Morawski // Pomiar Automatyka Kontrola. — 2009. — Vol. 55. — № 11. — S. 894–897.
13. Polakowski H. Testowe promienniki podczerwieni / H. Polakowski, T. Piątkowski // Pomiar Automatyka Kontrola. — 2011. — № 11. — S. 1351–1354.
14. Zhang H. Research on radiant source for infrared image calibration / H. Zhang, J.M. Dai, X.G. Sun // Journal of Physics: Conference Series. — 2006. — Vol. 48. — P. 1053–1057.
15. Clausen S. Spectral emissivity of surface black body calibrators / S. Clausen // International Journal Thermophys. — 2007. — Vol. 28. — № 6. — P. 2145–2154.
16. DeWitt D.P. Theory and Practice of Radiation Thermometry / D.P. DeWitt, G.D. Nutter. — Wiley Interscience, New York, 1988. — 1152 p.
17. Polakowski H. Application of 3D metallic structures for IR emitters with gradient temperature distribution / Henryk Polakowski, Zbigniew Zaráński, Tadeusz Piątkowski, Stanisław Sulej, Piotr Trzaskawka // Biuletyn WAT. — 2014. — Vol. LXIII. — № 2. — P. 125–137.
18. Roessler D.M. Review of Radiant Properties of Materials: Tables of Radiant Values for Black Body and Real Materials / D.M. Roessler. — Elsevier, 1986. — 479 p.
19. Liebmann F. Emissivity — the crux of accurate radiometric measurement [Електронний ресурс] / Frank Liebmann. — Режим доступу: http://support.fluke.com/calibration-sales/Download/Asset/9010104_ENG_A_W.PDF.
20. Fidali M. An inexpensive blackbody model [Електронний ресурс] / M. Fidali, M. Mikulski // QIRT 2008: 9th International Conference on Quantitative InfraRed Thermography, July 2-5, 2008, Krakow, Poland. — Krakow, 2008. — Режим доступу: http://www.ndt.net/article/qirt2008/14_01_04.pdf.
21. Гоц Н. Контроль температури в установках реактивного іонно-плазмового напilenня з використанням термометра випромінення / Н. Гоц, Ю. Кривенчук // Вимірювальна техніка та метрологія. — 2011. — № 72. — С/Р. 45–50.
22. EA-10/13 EA Guidelines on the Calibration of Temperature Block Calibrators [Електронний ресурс]. — European cooperation for Accreditation, 2000. — P. 14. — Режим доступу: <https://www.cik-solutions.com/pdf/Richtlinie%20zur%20Kalibrierung%20von%20Blockkalibratoren%20EA-10-13.pdf>.
23. Greybody Source Model 975 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.kip-engineering.ru/sites/default/files/upload/files/product_file1-71.pdf. — Назва з екрана.
24. Пат. 65219 Российская Федерация, МПК G01J5/02. Излучатель «серое тело» [Електронний ресурс] / Козлов О.И., Марусенко А.А.; патентообладатель Федеральное государственное учреждение «24 Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны Российской Федерации». — № 2006127953/22; заявл. 01.08.2006; опубл. 27.07.2007, Бюл. № 34/2007. — Режим доступу: <http://poleznayamodel.ru/model/6/65219.html>. 

Отримано / received: 28.02.2017.

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

УДК 628.97

ОЦІНКА ОБ'ЄДНАНОГО ПОКАЗНИКА ДИСКОМФОРТУ У ПРОГРАМІ DIALUX

Ю. Васильєва, кандидат технічних наук, доцент кафедри світлотехніки і джерел світла,

О. Ляшенко, старший викладач кафедри,

Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова

Наведено результати аналізу об'єданого показника дискомфорту в програмі з розрахунку і моделювання освітлювальних установок. Розглянуто розрахункову модель показника UGR. Проаналізовано вплив вхідних параметрів на кінцевий результат розрахунку об'єданого показника дискомфорту. Досліджено один із основних вхідних параметрів для розрахунку UGR, що враховує його розміщення щодо лінії зору спостерігача.

The cheap LED products with high overall brightness without sufficient protective angle lenses of luminaires or shielding the light-emitting elements can be sources of high glare and create discomfort or even glare the human eyes. For timely assessment

of high-quality lighting performance, which is done visual work, in European standards regulated by a combined indicator of discomfort (in Ukrainian standards - a rating of discomfort), the experimental determination is not possible, and the existing engineering method of calculation which is enough complex and requires considerable time. The article presents the results of analysis of the Unified Glare Rating in the program for the calculation and modeling of lighting systems. The calculation model of parameter UGR has been considered. The influence of the input parameters on the final result of the calculation of the combined discomfort are analyzed. One of the main input parameters for the calculation of the UGR, taking into account its location relative to the line of view of the observer has been investigated.

Ключові слова: дискомфортна блискість, об'єданий показник дискомфорту, індекс позиції, стандартний спостерігач, стандартна таблиця UGR світильника.

Keywords: discomfort glare, Unified Glare Rating (UGR), position index, standard observer, the standard table of UGR for luminaire.

З появою на українському ринку світлодіодів і світильників, значною кількістю продукції з відносно низькою ціною, але при цьому не завжди достатньою якістю, особливо актуальною стає забезпечення комфортних і безпечних умов освітлення. В дешевій світлодіодній продукції висока габаритна яскравість без відповідної конструкції світильників з достатнім захисним кутом або розсіювачами, що екранують світловипромінювальні елементи, може бути джерелом високої блискості й створювати дискомфорт або навіть засліплення очей людини [1, 2].

Для своєчасного оцінення якісних характеристик системи освітлення, в яких виконується зорова робота, в європейських нормах регламентується об'єданий показник дискомфорту [3, 4] (в українських нормах — показник дискомфорту [5]), експериментальне визначення якого неможливе, а наявна інженерна методика розрахунку якого достатньо складна і потребує значного часу [6].

У зв'язку з цим метою дослідження стало проведення аналізу об'єданого показника дискомфорту в програмі з розрахунку і моделювання освітлювальних установок.

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ UGR ДЛЯ СТАНДАРТНОГО СПОСТЕРІГАЧА

Побічною дією штучного освітлення, що заважає зору, є пряма і відбита блискість, яка виникає внаслідок великого контрасту між дуже світлими і дуже темними поверхнями або за погляду на предмети, що світяться [7, 8].



Ю. Васильєва



О. Ляшенко

Обмеження прямої блискості виконується об'єднаним показником дискомфорту *UGR* (*Unified Glare Rating*), прийнятим у міжнародній практиці для врахування сукупної дії всіх світильників у приміщенні.

Об'єднаний показник дискомфорту — міжнародний критерій оцінки дискомфортної блискості, що зумовлює неприємні відчуття за нерівномірного розподілу яскравостей у полі зору. Показник є безрозмірною величиною від 10 до 30, яку неможливо визначити фотометричними способами, можна лише наближено обчислити.

UGR згідно із [3] визначається за формулою:

$$UGR = 8 \log \left[(0,25 / L_a) \sum_{i=1}^N L_i^2 \cdot \omega_i / p_i^2 \right] \quad (1)$$

де L_a — яскравість фону, $\text{кд}/\text{м}^2$, що розраховується як добуток $E_{ind} \cdot \pi^{-1}$, в якому E_{ind} — відбита вертикальна освітленість на рівні очей стандартного спостерігача; L_i — габаритна яскравість світної частини i -того світильника у напрямку очей спостерігача, $\text{кд}/\text{м}^2$; ω_i — тілесний кут світних частин i -того світильника з точки спостереження, стер ; p_i — індекс позиції для i -того світильника, що враховує його розміщення щодо лінії зору спостерігача; N — кількість світильників в освітлювальній установці.

Відбита вертикальна освітленість на висоті лінії зору стандартного спостерігача приймається рівною відбитій вертикальній освітленості стін на певній висоті:

$$E_{ind} = E_{WID}.$$

Для розрахунку *UGR* використовують формули, що визначають його через силу світла світильників у напрямку точки розташування стандартного спостерігача, значення якої містяться у фотометричних даних на світильник у форматі *IES*, у форматі *LDT* чи у стандартизованих таблицях сили світла,

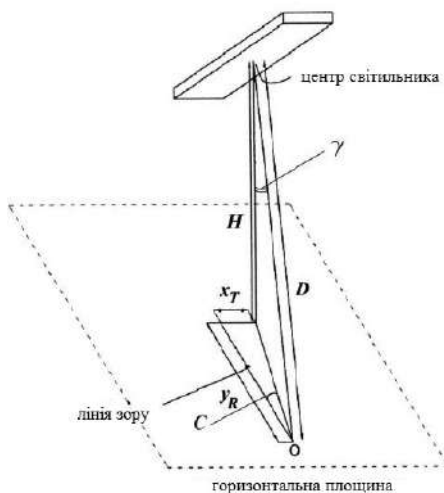


Рис. 1. Розташування центра світильника щодо стандартного спостерігача
Fig. 1. Location of the luminaire center relative to the standard observer

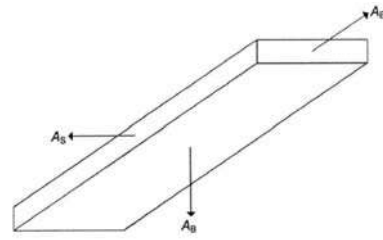


Рис. 2. Розташування світних поверхонь світильника, видимих стандартним спостерігачем
Fig. 2. Location of the luminous surfaces visible for standard observer

відстань від стандартного спостерігача до видимої площі світної поверхні світильника D , індекс позиції світильника p і відбиту освітленість стін на висоті лінії зору стандартного спостерігача E_{WID} :

$$UGR = 8 \log \sum_{i=1}^N \left[(\pi / 4 E_{WID}) \cdot I_{C\gamma_i}^2 \cdot A_i / A_i^2 \cdot D_i^2 \cdot p_i^2 \right]. \quad (2)$$

За введення коефіцієнта K_i , що має вираз:

$$K_i = \pi / 4 \cdot p_i^2 \cdot D_i^2, \quad (3)$$

рівняння для визначення *UGR* набуває такого виду:

$$UGR = 8 \log \sum_{i=1}^N \left[(K_i / E_{WID}) \cdot I_{C\gamma_i}^2 / A_i^2 \right], \quad (4)$$

$$UGR = 8 \log \sum_{i=1}^N \left[K_i \cdot I_{C\gamma_i}^2 / A_i^2 \right] - 8 \log E_{WID}, \quad (5)$$

де $I_{C\gamma_i}$ — сила світла i -того світильника у напрямку стандартного спостерігача визначається вертикальним кутом і азимутним кутом C в системі координат $OC\gamma$ з центром у точці розташування стандартного спостерігача за рис. 1;

$$C = \arccos x_\gamma / y_R, \quad (6)$$

y_R — азимутальний кут; γ — меридіональний кут, що визначається як

$$\gamma = \arccos H / D, \quad (7)$$

A — площа проекції світних поверхонь світильника на площину, перпендикулярну лінії зору відповідно до рис. 2, яка визначається за формулами (8) за направлення лінії зору вздовж поздовжньої осі світильників і (9) за направлення лінії зору поперек поздовжньої осі світильників:

$$A = A_B H / D + A_S x_T / D + A_E y_R / D, \quad (8)$$

$$A = A_B H / D + A_S y_R / D + A_E x_T / D, \quad (9)$$

$$\text{де } D = \sqrt{(H^2 + x_T^2 + y_R^2)}. \quad (10)$$

Відбита складова освітленості на стінах приміщення визначається за формулою:

$$E_{WID} = F_{WID} \cdot N \cdot \Phi_0 / A_W = B \cdot F_{UWID}, \quad (11)$$

де F_{UWID} — коефіцієнт використання відбитих світлових потоків для стін; N — кількість світильників у приміщенні; A_W — загальна площа стін, м^2 між робочою площиною і площиною розташування світильників; $\Phi_0 = 1000 \text{ лм}$;

$$B = 1000 \cdot N / A_W. \quad (12)$$

Розрахунок E_{WID} виконується на основі табличних значень сили світла $I_{C\gamma}$, залежно від азимутального кута C з інтервалом у 15° (від 0° до 345°) і залежно від меридіонального кута γ з інтервалом 5° (від 0° до 180°) у такій послідовності.

Зональні потоки $\Phi_{z1.1}$, $\Phi_{z1.2}$, $\Phi_{z1.3}$ і $\Phi_{z1.4}$ визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} \Phi_{z1.1} &= \Phi_{зон(0^\circ-40^\circ)} + 0,13 \cdot \Phi_{зон(40^\circ-50^\circ)}, \\ \Phi_{z1.2} &= \Phi_{зон(0^\circ-60^\circ)}, \\ \Phi_{z1.3} &= \Phi_{зон(0^\circ-70^\circ)} + 0,547 \cdot \Phi_{зон(70^\circ-80^\circ)}, \\ \Phi_{z1.4} &= \Phi_{зон(0^\circ-90^\circ)}, \end{aligned}$$

де $\Phi_{зон(0^\circ-40^\circ)}$, $\Phi_{зон(40^\circ-50^\circ)}$, $\Phi_{зон(0^\circ-60^\circ)}$, $\Phi_{зон(0^\circ-70^\circ)}$, $\Phi_{зон(70^\circ-80^\circ)}$ і $\Phi_{зон(0^\circ-90^\circ)}$ — зональні потоки в межах (від 0° до 40°), (від 40° до 50°), (від 0° до 60°), (від 0° до 70°), (від 70° до 80°) і (від 0° до 90°) відповідно.

Загальний зональний потік розраховується як $\Phi_{zL} = \Phi_{z1.1} \cdot F_{GL.1} + \Phi_{z1.2} \cdot F_{GL.2} + \Phi_{z1.3} \cdot F_{GL.3} + \Phi_{z1.4} \cdot F_{GL.4}$, (13) де $F_{GL.1}, \dots, F_{GL.4}$ — геометричні фактори відповідно для кожної із зон, для яких розраховувалися зональні світлові потоки.

Визначення коефіцієнтів розподілу світлового потоку для площини стандартного спостерігача F_{DF} , для стін F_{DW} і для стелі F_{DC} , виконується за формулами:

$$\begin{aligned} F_{DF} &= \Phi_{zL} / \Phi_0, \\ F_{DW} &= R_{DLO} - F_{DF}, \\ F_{DC} &= R_{ULO}, \end{aligned}$$

де R_{DLO} — коефіцієнт корисної дії світильника у нижню напівсферу; R_{ULO} — коефіцієнт корисної дії світильника у верхню напівсферу.

Розраховується коефіцієнт використання для стін F_{UWID} :

$$F_{WID} = F_{DF} \cdot F_{T,FW} + F_{DW} \times (F_{T,WW} - 1) + F_{DC} \cdot F_{T,CW}, \quad (14)$$

де $F_{T,FW}$, $F_{T,WW}$, $F_{T,CW}$ — коефіцієнти передавання світлового потоку від розрахункової поверхні до стіни, від стіни до стіни, від стелі до стіни відповідно.

Як видно із викладеного вище матеріалу, об'єднаний показник дискомфорту UGR залежить від безлічі факторів, основними [9] із яких є:

- положення і кут огляду спостерігача;
- розташування світильників;
- рівень яскравості світильників;
- рівень яскравості фону;
- коефіцієнти обслуговування (приміщення, світильників).

Щоби уникнути складних розрахунків існують спеціальні таблиці UGR для світильників [3].

Стандартна таблиця UGR світильника — таблиця значень об'єднаних показників дискомфорту, які можуть бути отримані за використання певного світильника для освітлення приміщень, що мають розмі-

ри типових будівельних модулів. Зрозуміло, що використання таблиць полегшує завдання, але не гарантує точності результатів: занадто велике розмаїття досліджуваних приміщень і варіантів характеристик їх основних поверхонь [10, 11].

ОЦІНКА ОБ'ЄДНАНОГО ПОКАЗНИКА ДИСКОМФОРТУ В ПРОГРАМІ DIALUX

Таблиця значень об'єднаних показників дискомфорту, якщо можливо, будується $DIALux$ за фотометричними даними автоматично, незалежно від того, чи виконувалися розрахунки UGR , чи ні.

Окрім числових значень, які можна вивести до звіту (рис. 4), можна надати розрахунки UGR у виді растра, в якому розрахункові точки є положеннями спостерігача. Інформація може надаватися у виді кругових діаграм, у центрі яких зазначено максимальне значення (рис. 5).

У цій роботі досліджено залежність об'єднаного показника дискомфорту від способу розташування світильників. Моделювання освітлювальної установки

Місце входу світла 1 / Діаграма UGR

Оцінка екранування за UGR													
ρ Стеля	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	70	70	
ρ Стінки	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	50	30	
ρ Поли	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Величина приміщення		Направлення погляду поперек до вісі ламп					Направлення погляду вздовж до вісі ламп						
X	Y												
2H	2H	14,0	15,2	14,3	15,4	15,6	14,8	16,0	15,1	16,2	16,4	16,4	
	3H	15,0	16,0	15,3	16,2	16,5	15,8	16,8	16,1	17,1	17,4	17,4	
	4H	15,5	16,5	15,8	16,8	17,0	16,3	17,3	16,7	17,6	17,8	17,8	
	6H	16,0	16,9	16,4	17,2	17,5	16,8	17,7	17,1	18,0	18,3	18,3	
	8H	16,2	17,1	16,6	17,4	17,7	17,0	17,8	17,3	18,1	18,4	18,4	
	12H	16,4	17,2	16,7	17,5	17,8	17,1	17,9	17,4	18,2	18,5	18,5	
4H	2H	14,5	15,5	14,8	15,7	16,0	15,1	16,1	15,4	16,3	16,6	16,6	
	3H	15,7	16,6	16,1	16,9	17,2	16,3	17,1	16,6	17,4	17,7	17,7	
	4H	16,5	17,2	16,9	17,5	17,9	16,9	17,7	17,3	18,0	18,4	18,4	
	6H	17,1	17,8	17,6	18,2	18,5	17,6	18,2	18,0	18,6	19,0	19,0	
	8H	17,4	18,0	17,8	18,4	18,8	17,8	18,4	18,3	18,8	19,2	19,2	
	12H	17,6	18,1	18,0	18,5	18,9	18,0	18,5	18,4	18,9	19,4	19,4	
8H	4H	16,8	17,4	17,2	17,8	18,2	17,2	17,8	17,6	18,2	18,6	18,6	
	6H	17,7	18,1	18,1	18,6	19,0	18,0	18,5	18,5	18,9	19,4	19,4	
	8H	18,0	18,5	18,5	18,9	19,4	18,4	18,8	18,8	19,2	19,7	19,7	
	12H	18,3	18,6	18,8	19,1	19,6	18,6	19,0	19,1	19,5	20,0	20,0	
	12H	4H	16,8	17,4	17,3	18,8	18,2	17,2	17,8	17,7	18,2	18,6	18,6
		6H	17,8	18,2	18,3	18,6	19,1	18,1	18,5	18,6	19,0	19,4	19,4
8H		18,2	18,6	18,7	19,0	19,5	18,5	18,9	19,0	19,3	19,8	19,8	
Варіювання позиції спостерігача для відстаней між світильниками S													
S = 1,0H		+0,2 / -0,3					+0,2 / -0,3						
S = 1,5H		+0,4 / -0,7					+0,4 / -0,6						
S = 2,0H		+0,8 / -1,0					+0,9 / -1,0						
Стандартна таблиця		BK05					BK05						
Коригувальний додаток		0,2					0,8						

Зкориговані індекси екранування, віднесені до 3304lm Загальний світловий потік UGR-значення розраховуються відповідно до CIE Publ. 117.

Відношення відстані до висоти = 0,25

Рис. 3. Приклад таблиці значень UGR, що формується програмою DIALux
Fig. 3. Example of values UGR table emerging program DIALux

Оцінка затемнення/засліплення			
Результат	Min	Max	Граничне значення
UGR	<10	11,6	19,0
Висота: 0,800 m			

Рис. 4. Граничні значення UGR
Fig. 4. The limiting values of UGR

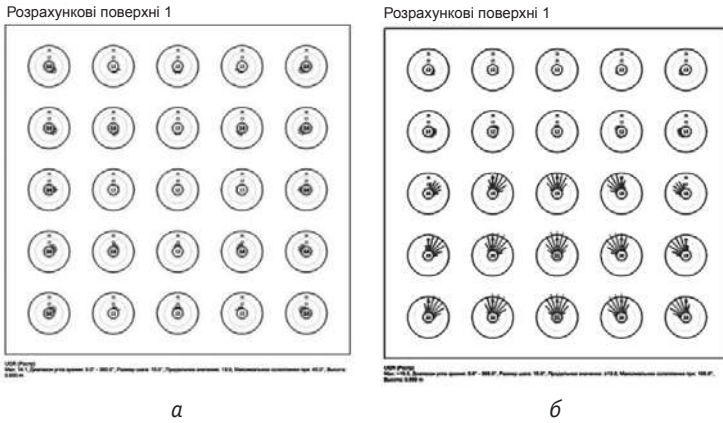


Рис. 5. Приклади представлення значень UGR у виді кругових діаграм: а — граничне значення 19,0, максимальне засліплення за 45°; б — граничне значення <19,0, максимальне засліплення за 105°
 Fig. 5. Examples of UGR values presentation in the form of circular diagrams: a — limit value is 19.0, the maximum of glare whith 45 degrees; b — limit value is less than 19.0, the maximum of glare whith 105 degrees.

проводилося за програмою DIALux. Точки зі спостереженнями були розміщені в довільному порядку за розрахунковою поверхнею приміщення. Розрахунок

проводився для світильників з люмінесцентними лампами і для світильників зі світлодіодами. Для обох випадків розглянуто три варіанти розташування світлових приладів у приміщенні: кругове, розміщення світловим полем і лінійне. Результати моделювання наведено у таблицях 1—3.

ВИСНОВКИ

Метою статті був аналіз показника дискомфорту. Аналіз проводився на основі показника UGR, рекомендованого CIE. У разі, якщо цей показник менший від 10, йдеться стосовно незначного дискомфорту, яким можна знехтувати. За величини UGR, меншої від 15, — стосовно достатньо якісної освітлювальної установ-

Таблиця 1. Результати розрахунку середньої освітленості й UGR за програмою DIALux
 Table 1. Results of the calculation of average illuminance and UGR in the program DIALux

	Світильники з люмінесцентними лампами		Світильники зі світлодіодами	
	Ізолінії	UGR	Ізолінії	UGR
Кругове				
Полем				
Лінійне				

Таблиця 2. Максимальні значення UGR за розрахунку для світильників із люмінесцентними лампами

Table 2. The maximum values in the calculation of UGR for luminaires with fluorescent lamps

Розрахункова точка UGR	Максимальне значення UGR		
	Кругове	Поле	Лінійне
1	13	10	25
2	10	<10	21
3	<10	<10	20
4	<10	10	21
5	16	12	12
6	11	13	19
7	16	11	20
8	10	<10	13
9	10	<10	18
10	14	15	17
11	14	15	13
12	12	16	20
13	12	16	19
14	12	<10	18
15	10	<10	19
16	12	13	20
17	10	13	18

Із таблиць 2 і 3 видно, що розташування світлових приладів, як зі світлодіодами, так і з люмінесцентними лампами, в лінію призводить до максимального дискомфорту, порівняно з іншими варіантами розміщення світильників. За кругового розташування світильників деякі спостеріга-


Таблиця 3. Максимальні значення UGR за розрахунку для світильників зі світлодіодами

Table 3. Maximum values in the calculation of UGR for luminaires with LEDs

Розрахункова точка UGR	Максимальне значення UGR		
	Кругове	Поле	Лінійне
1	<10	11	22
2	<10	<10	18
3	<10	<10	18
4	<10	<10	17
5	14	11	13
6	10	<10	16
7	11	11	16
8	<10	<10	11
9	<10	10	14
10	11	<10	14
11	11	<10	11
12	<10	<10	17
13	<10	<10	15
14	<10	<10	16
15	<10	<10	15
16	10	<10	18
17	<10	<10	15

чі у приміщенні можуть відчувати дискомфорт. Мінімальні значення UGR спостерігаються за розташування світильників світловим полем. Отже, розташування світильників полем, для обох типів світлових приладів, є найкращим варіантом для більшості спостерігачів у приміщенні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

- Семенов Б.Ю. Экономичное освещение для всех / Б.Ю. Семенов. — М.: Солон-Пресс (Semenov B.YU. Ekonomichnoye osveshcheniye dlya vseh / B.YU. Semenov. — М.: Solon-Press). — 2010. — 224 с/s.
- Дехофф П. Качество внутреннего освещения / П. Дехофф // Светотехника (Dekhoff P. Kachestvo vnutrennego osveshcheniya / P. Dekhoff // Svetotekhnika). — 2004. — № 3. — С/С. 18 — 24.
- EN 12464-1:2011 Light and lighting- Lighting of work places -Part 1: Indoor work places. — Brussels: CIE. — 117 p.
- CIE 117-1995. Discomfort glare in interior lighting, 1995. p. 2-5.
- Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5 — 28 — 2006. — Київ : Держ. комітет України з будівництва та архітектури (Prirodne i shtuchne osvıtlennya : DBN V.2.5 — 28 — 2006. — Київ : Derzh. komitet Ukraїni z budıvnitstva ta arkhitekturi), — 2006. — 76 с/s.
- Корниенко С.В. Проектирование освещения зданий: учеб. пособие/ С.В. Корниенко. — Волгоград: Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (Korniyenko S.V. Proyektirovaniye osveshcheniya zdaniy: ucheb. posobiye / S.V. Korniyenko. — Volgograd: Volgogradskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet), — 2008. — 101 с/s.
- Шашлов А.Б. Основы светотехники / А.Б. Шашлов. — М.: Логос (Shashlov A.B. Osnovy svetotekhniki / A.B. Shashlov. — М.: Logos), — 2011. — 256 с/s.
- The IESNA Lighting Handbook. Ninth Edition. — New York. : IESNA Publications Department, 2002. — 1100 p.
- Айзенберг Ю.Б. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. — М.: Знак (Ayzenberg YU.B. Spravochnaya kniga po svetotekhnike / pod red. YU.B. Ayzenberga. — М.: Znak), — 2006. — 972 с/s.
- Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies (ASSIST). A Method for Estimating Discomfort Glare from Exterior Lighting Systems. Troy, NY: Lighting Research Center, 2011.
- Osterhaus WKE, Bailey IL. Large area glare sources and their effect on discomfort and visual performance at computer work stations. Proceedings of the 1992 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 4—9 October 1992. Houston, Texas. 

Отримано / received: 01.03.2017.

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

УДК 621.383.526, 621.793, 546.682

ФОТОДІОД ШОТТКІ НА ОСНОВІ $\text{Cr/In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$

А. Ащеулов, доктор технічних наук,

І. Романюк, кандидат технічних наук, заступник директора,
ТДВ «завод «Кварц», м. Чернівці,

Ю. Добровольський, доктор технічних наук, доцент,

С. Дремлюженко, кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник,

А. Галочкін, асистент,

Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича

Створено конструкцію і технологію фотодіодів Шотткі на основі монокристалічної підкладки $n\text{-In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ з бар'єрним шаром із хрому площею 100 мм^2 для використання як робочий еталон за калібрування аналогічних фотодіодів з підвищеною радіаційною стійкістю, чутливих у спектральному діапазоні $(0,5 \div 1,7) \text{ мкм}$. Струмова монохроматична чутливість фотодіода складає $0,33 \text{ А/Вт}$ на довжині хвилі $1,55 \text{ мкм}$, нелінійність енергетичної характеристики не перевищує 2% у діапазоні від 10^{-3} до $2 \times 10^5 \text{ лк}$.

Established design and technology Schottky photodiodes based on single crystal substrates $n\text{-In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ with barrier layer of chromium 100 mm^2 . Photodiode recommended for use as a working standard calibration with similar photodiodes with increased radiation resistance, sensitive in the spectral range $(0,5 \div 1,7) \text{ мкм}$. Monochromatic sensitivity photodiode current is $0,33 \text{ A/W}$ at a wavelength of $1,55 \text{ microns}$. The nonlinearity characteristics of energy does not exceed 2% in the range from 10^{-3} to $2 \times 10^5 \text{ lux}$.

Ключові слова: фотодіод Шотткі, радіаційна стійкість, $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$, чутливість, нелінійність.

Keywords: Schottky diode, radiation resistance, $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$, sensitivity, nonlinearity sensitivity, nonlinearity.

Актуальне питання сучасної мікрофотоелектроніки — створення радіаційностійких фотодіодів, чутливих у видимому та ближньому інфрачервоному діапазонах спектра. Такі фотодіоди використовують у пристроях керування механізмами та роботами за умов підвищеної радіації, а саме, у реакторних відсіках атомних силових установок, за нормальних робочих умов та за аварійних. До них, зокрема, належать фотодіоди на основі $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ [7]. Калібрування приладів на основі таких фотодіодів вимагає створення спеціалізованого фотодіода з характеристиками, які могли б задовольняти і вимоги за призначенням — достатню чутливість за умов радіаційного впливу і динамічний діапазон, не менший від семи порядків; окрім того, забезпечувати вимоги до робочих еталонів, що використовують для досліджень зазначених первинних перетворювачів.

Вимірювання енергетичних характеристик оптичного випромінювання у діапазоні спектральної

чутливості фотодіодів з $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ ($0,5\text{—}1,6$) мкм забезпечують фотодіоди, створені на основі германію (Ge), кремнію (Si), потрійної сполуки InGaAs тощо [1, 2]. Фотодіоди, створені на основі зазначених напівпровідникових матеріалів у цілому виконують необхідні завдання, в тому числі й забезпечення метрологічного супроводу приладів, що створюють на їх основі. Але щодо радіаційної стійкості, то вони суттєво програють фотодіодам на основі кристалів $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ [3], які мають чутливість у спектральному діапазоні ($0,5\text{—}1,6$) мкм, причому максимум спектральної характеристики чутливості припадає на діапазон довжин хвиль ($1,4\text{—}1,6$) мкм. Фотодіоди, створені на основі зазначеного матеріалу, практично перекривають спектральні діапазони чутливості фотодіодів на основі кремнію ($0,4\text{—}1,1$) мкм та германію ($0,5\text{—}1,8$) мкм.

Радіаційна стійкість зазначених фотодіодів до α , β і γ — випромінювань [4], зумовлена наявністю

у кристалічній структурі $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ електрично нейтральних катіонних вакансій [5].

Вивчення електричних і фотоелектричних параметрів наявних фотодіодів Шотткі на основі $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ [6], а також їх радіаційної стійкості [3] засвідчило, що найбільш високу величину струмової монохроматичної чутливості (S_{λ}) у максимумі спектральної характеристики мають фотодіоди Шотткі на основі $\text{ITO}/\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ і $\text{Au}/\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ ($S_{\lambda} = (0,48 - 0,76) \text{ А/Вт}$). Найбільш високу радіаційну стійкість мають фотодіоди на основі $\text{Ni}/\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$. Вони зберігають значення S_{λ} за дії дози γ — випромінювання (D) до $8 \cdot 10^7$ бер. Подальше зростання дози γ -випромінювання призводить до зниження чутливості цієї структури внаслідок відшарування бар'єрного шару з нікелю.

Більш надійні з точки зору збереження конструкції та параметрів — фотодіоди Шотткі на основі структури $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$, бар'єр до якої виконано з хрому (Cr) [7]. Такий фотодіод є чутливим у спектральному діапазоні (0,6 — 1,6) мкм. Його струмова монохроматична чутливість на довжині хвилі 1,55 мкм (S_{λ}) складає 0,43 А/Вт. Темновий струм — не більший за 4 мкА за напруги зміщення 1 В за нормальних кліматичних умов. Зазначені параметри зберігаються у межах похибок їх вимірювання після дії γ — випромінювання дозою до 2×10^8 бер [7].

Зазначені вище параметри фотодіодів є достатніми для оцінки їх загальної якості, але недостатніми для застосування їх у метрологічних вимірювальних системах. Зокрема, для таких фотодіодів суттєва така характеристика: нелінійність енергетичної характеристики у певному динамічному діапазоні. Окрім того, потрібно порівняти параметри нового фотодіода з параметрами наявних, з урахуванням підвищеної стійкості фотодіода на основі $\text{Cr}/\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ до α , β і γ — випромінень.

Отже, мета цієї статті — висвітлення результатів розроблення та дослідження фотодіода з бар'єром Шотткі на основі $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ з бар'єрним шаром із хрому, для його використання як робочий еталон за калібрування аналогічних фотодіодів із підвищеною радіаційною стійкістю.

ТЕХНОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$

Монокристал $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ n -типу вирощували модифікованим методом зонної перекристалізації, в якому нівельовано ефект седиментації вихідних матеріалів [8]. Монокристали, отримувані цим методом, більш однорідні за своїми фізичними параметрами, як у поперечному напрямку, так і в поздовжньому [9]. Їх використання дозволяє значно

зменшити величину темного струму фотодіода [10] за використання його у фотодіодному режимі.

Підготування монокристалів $\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ до формування на їх основі фотодіодних структур здійснювали у такий спосіб:

- розрізання монокристала на підкладинки виконували на струнній різці з подаванням водно-спиртової суспензії абразиву;
- механічне шліфування — вільними абразивами М10, М5;
- механічне полірування — алмазними пастами АСМ із поступовим зменшенням зерна абразиву;
- мінімізування порушеного шару — шляхом хімічного травлення у 8 % розчині броду в метанолі.

Зовнішній вид фотодіода та схематичне зображення його конструкції наведено на рис. 1.

Операція нанесення нанорозмірних напівпрозорих металічних покриттів для формування діода Шотткі потребує як контролю товщини плівки для забезпечення прозорості металевого електрода, так і чистоти процесу та мінімізації дефектності структури для забезпечення низьких зворотних струмів через бар'єр Шотткі. Контроль за товщиною плівки, яка повинна мати товщину ($8 \div 10$) нм, здійснювався за інтерференційними максимумами проходження світла через плівку в процесі напилення, а також після процесу на спеціальній скляній пластині-супутнику за висотою перепаду скло-металевої плівки на профілометрі (перепад висоти формується за допомогою металеві маски на пластині-супутнику), точність вимірювання товщини профілометром коливається у межах ($0,5 \div 1$) нм.

Як напівпрозорий металевий шар для створення бар'єру Шотткі застосовано шар хрому (2)

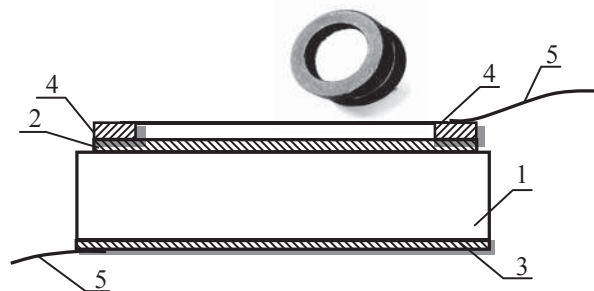


Рис. 1. Структура ФДШ на основі $\text{Cr}/\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ й її зовнішній вид:

- 1 — підкладинка з $n\text{-In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$, 2 — бар'єрний шар Cr, 3 — омичний контакт з In, 4 — шар нікелю, 5 — електровиводи з міді

Fig. 1. FDSH structure based on $\text{Cr}/\text{In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$, its appearance:

- 1 — lining of $n\text{-In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$, 2 — barrier layer Cr, 3 — ohmic contact with the In, 4 — a layer of nickel, 5 — electric outputs of copper

ефективною площею 100 мм^2 , нанесений методом вакуумного напилення на установці УВН-71ПЗ за температури підкладинки (1) (380—400) К. Товщина бар'єрного шару Cr становила необхідні $(8 \div 10) \text{ нм}$, що забезпечує коефіцієнт пропускання плівки хрому, не менший від 50 %.

Омічний контакт до плівки хрому формувався із нікелю методом термічного напилення. Виділення топології конструкції здійснювалося методами фотолітографії. Оскільки хром є достатньо адгезивним матеріалом, перехідний шар нікелю-хрому, як у [7], непотрібний. Товщина контактної плівки нікелю з лицевого боку фотодіода складала близько 1 мкм . Форма контакту кільцева, виконана у такий спосіб, щоби діаметр фоточутливого елемента — ефективна площа, складав 100 мм^2 , що є зручним у процесі розрахунків характеристик, пов'язаних із площею фоточутливого елемента.

Загальний контакт із зворотного боку кристала фотодіода, товщиною близько $0,5 \text{ мкм}$, формувався з індію (3) методом осадження з відповідного розчину. Виводи з міді (5) до кристала фотодіода приєднуються за допомогою імпульсного зварювання.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФДШ

Фотодіод виготовлено в герметичному металоскляному корпусі (рис. 1). Як вхідне вікно використано диск із кварцу або лейкосапфіру. Такі матеріали вхідного вікна використано у зв'язку з тим, що фотодіод частково має невелику чутливість в ультрафіолетовій області спектра, видимій, а також ближній інфрачервоній.

На рис. 2 представлено відносну спектральну характеристику чутливості створеного фотодіода. Видно, що «червоний» край поглинання фотодіода дещо більший, ніж у фотодіодів на основі германію.

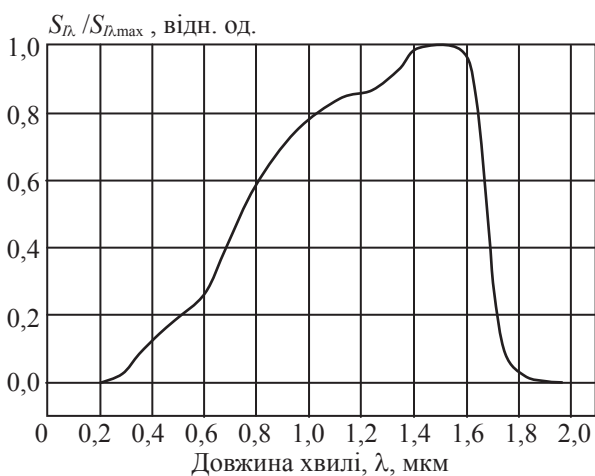


Рис. 2. Відносна спектральна характеристика чутливості фотодіода

Fig. 2. Relative spectral sensitivity characteristics of photodiodes

Величина струмової монохроматичної чутливості у максимумі спектральної характеристики ($1,55 \text{ мкм}$), вимірена згідно з методикою, наведеною у ГОСТ 17772 [11], складає $0,41 \text{ А/Вт}$, що менше, ніж у фотодіодів на основі германію: $(0,7—0,9) \text{ А/Вт}$ [12, 13]. Але фотодіоди на основі германію мають меншу стійкість до іонізуючого випромінювання, ніж фотодіоди на основі індієвих сполук. На довжині хвилі $1,06 \text{ мкм}$ величина струмової монохроматичної чутливості створеного фотодіода складає приблизно $0,33 \text{ А/Вт}$, що відповідає рівню чутливості кращих фотодіодів на основі кремнію для цієї довжини хвилі [14].

Зважаючи на наведене вище, видно, що створений фотодіод здатний замінити собою фотодіоди на основі германію та кремнію, які використовують для калібрування відповідних засобів вимірювальної техніки.

Одна із суттєвих характеристик фотодіода, який використовується для калібрування засобів вимірювальної техніки, призначених для вимірювання характеристик оптичного випромінювання, є лінійність енергетичної характеристики у діапазоні вимірювальної величини, наприклад, освітленості.

Для дослідження динамічного діапазону і нелінійності енергетичної характеристики ($\Delta\delta_E$) створеного фотодіода застосовано метод додаткового світла [15]. Для реалізації цього методу використано спеціалізований освітлювач [16]. Оптична схема за такого методу представляє два канали, в кожному із яких розміщено джерело випромінювання — лампу розжарювання та систему оптичних фільтрів [17] Основні технічні характеристики вимірювального тракту такі:

- максимальний рівень створюваної освітленості — не менший від $100\,000 \text{ лк}$;

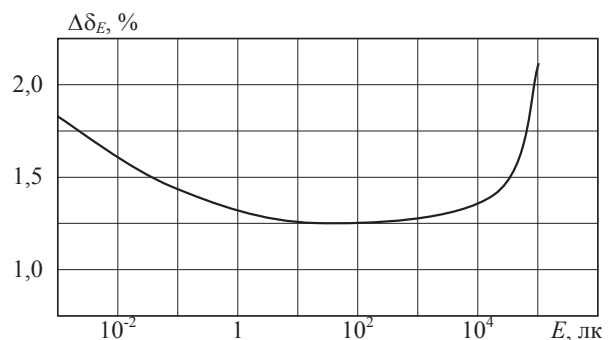


Рис. 3. Залежність нелінійності енергетичної характеристики фотодіода Шоттки на основі Cr/In₂Hg₃Te₆ від величини освітленості E

Fig. 3. The dependence of the energy characteristics of nonlinearity of photodiode Schottky based on Cr / In₂Hg₃Te₆ from the value of illumination E

- мінімальний рівень освітленості — не менший від 0,001 лк;
- нестабільність потоку випромінювання — не більша за $\pm 1,0$ %.

Результати досліджень зазначених вище параметрів наведено на рис. 3 (залежність нелінійності енергетичної характеристики від величини освітленості), рис. 4 (енергетична характеристика).

Аналіз даних, наведених на рис. 3 свідчить, що у діапазоні освітленостей від 10^{-3} до 10^5 лк розкид значень нелінійності енергетичної характеристики створеного фотодіода складає від 1 до 2 %, а у діапазоні від 1 до 10^4 лк не перевищує 1,3 %, що є достатньо задовільним результатом. Із рис. 3 та 4 видно, що динамічний діапазон за рівнем 2 % у створеного фотодіода складає вісім порядків, а за рівнем 1 % — чотири порядки. Отже за показником нелінійності енергетичної характеристики та динамічним діапазоном створений фотодіод може бути рекомендовано як первинний перетворювач для прецизійних засобів вимірювання світлових характеристик оптичного середовища, в тому числі еталонних засобів.

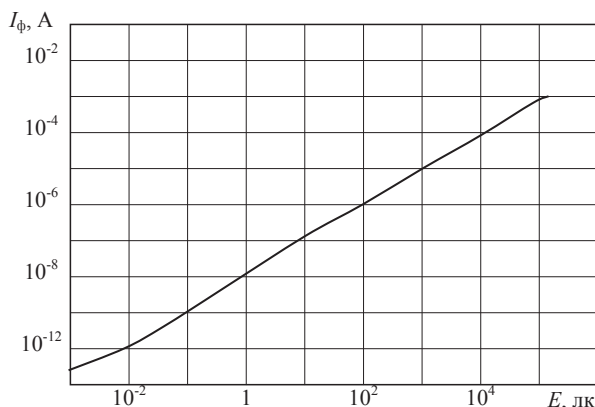


Рис. 4. Енергетична характеристика фотодіода на основі $\text{Cr/In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$

Fig. 4. Energy characteristics of photodiodes based on $\text{Cr/In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$

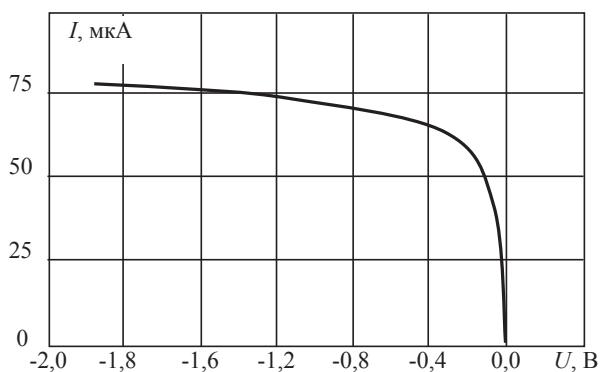


Рис. 5. Вольт-амперна характеристика фотодіода на основі $\text{Cr/In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$

Fig. 5. Current-voltage characteristics of the photodiode from $\text{Cr/In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$

Вивчення темнового струму фотодіода на основі $\text{Cr/In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ здійснювалося згідно зі стандартною методикою, викладеною в ГОСТ 17772 [11]. Результати дослідження наведено на рис. 5.

Видно, що зворотний (темновий) струм за напруги від 0 до 2 В змінюється від 0 до 75 мкА порівняно з раніше виготовленим фотодіодом [7], у якого зворотний струм змінюється від 1 до 4 мкА. При цьому потрібно враховувати, що збільшення темнового струму в нашому випадку зумовлено збільшенням площі фоточутливого елемента до 100 мм^2 , тоді як у аналога вона складає близько 4 мм^2 . Простий аналіз свідчить, що питомі значення темнового струму за оберненого зміщення мінус 1 В у обох фотодіодів приблизно однакові й складають $0,75 \text{ мкА/мм}^2$.

Для кремнієвих фотодіодів, наприклад, ФД-288, площа фоточутливого елемента якого складає 100 мм^2 , який широко використовується для метрологічних досліджень у світлотехніці, величина темнового струму за зміщення мінус 1 В складає близько 150 нА, що суттєво менше, ніж у створеного фотодіода. Для фотодіода на основі германію питоме значення темнового струму складає $0,5 \text{ мкА/мм}^2$ [12], що практично збігається зі значенням питомого темнового струму створеного фотодіода.

ВИСНОВКИ


1. Створено конструкцію і технологію фотодіодів Шоттки на основі монокристалічної підкладки $n\text{-In}_2\text{Hg}_3\text{Te}_6$ з бар'єрним шаром із Cr площею 100 мм^2 для використання як робочий еталон за калібрування аналогічних фотодіодів із підвищеною радіаційною стійкістю.

2. Досліджено метрологічні характеристики фотодіода, зокрема, його спектральну характеристику, величину струмової монохроматичної чутливості ($0,33 \text{ А/Вт}$ на довжині хвилі $1,55 \text{ мкм}$) та нелінійність енергетичної характеристики (менша від 2 %) і динамічний діапазон, який складає не менше 8 порядків (від 10^{-3} до 10^5 лк).

3. Показано, що створений фотодіод може бути використано для дослідження оптичного випромінювання у спектральному діапазоні ($0,5 \div 1,7$) мкм і здатний замінити собою фотодіоди на основі германію та кремнію, які використовуються для калібрування відповідних вимірювальних приладів.

4. З урахуванням радіаційної стійкості створеного фотодіода, він також може бути рекомендований для калібрування оптоелектронних приладів, які працюють у його спектральному діапазоні й повинні зберігати працездатність за умов підвищених рівнів іонізуючого випромінювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

- Абдулхаев О.А. Высокочувствительный фотоприемник на основе германиевой двухбарьерной структуры с эффектом смыкания / О.А. Абдулхаев, Д.М. Ёдгорова, А.В. Каримов, Ш.М. Кулиев // ТКЭА (Abdulkhaev O.A., Yodgorova D.M., Karimov A.V., Kuliyeu S.M. Highly sensitive photodetector based on Ge double-barrier punch-through structure // ТКЭА). — 2015. — №4. — С/Р. 24—26.
- Бараночников М.Л. Приемники и детекторы излучений. Справочник. — М.: ДМК Пресс (Baranochnikov M.L. Receivers and detectors of optical radiation), — 2012. — 640 с/р.
- Ковальчук М.Л. Фізико-хімічні та фізичні властивості кристалів і гетероструктур на базі радіаційностійких напівпровідників групи $A_2^3B_3^6$ / М.Л. Ковальчук, М.Г. Колісник, О.В. Копач, В.Н. Балазюк, Є.С. Никонюк, М.Д. Раранський, В.М. Склярчук, А.І. Раренко, В.П. Салань, І.В. Докторович // Фізика і хімія твердого тіла (Kovalchuk M.L., Kolesnik M.G., Kopsch O.V., Balazuc V.N., Nykonyuk E.S., Raransky M.D., Sklyarchuk V.M., Rarenko A.I. Salan V.P., Doktorovych I.V. Physico-chemical and physical properties of crystals and heterostructures on the basis of radiation-resistant semiconductors). — 2008. — Т. 9, № 4. — С/Р. 716—722.
- Грушка Г.Г. Электрические свойства собственного полупроводника $Hg_3In_2Te_6$ / Г.Г. Грушка, З.М. Грушка, Н.П. Гавалешко // УФЖ (Grushka G.G., Grushka Z.M., Gavaleshko N.P. Electrical properties of intrinsic semiconductor $Hg_3In_2Te_6$). — 1985. — 30, №2. — С/Р. 304—307.
- Диэлектрики и полупроводники в детекторах излучения / Под. ред. Ю.В. Малюкина. — Харьков: Институт монокристаллов (Insulators and semiconductors in the detectors of radiation. Kharkov, Institute of monocrystals). — 2006. — 360 с/р.
- Brus, V.V. /The effect of CoO impurity and substrate temperature on optical properties of TiO₂ thin films / Brus V.V., Pidkamin L.I., Arkheliyuk A.D. // Proc. SPIE 8338, 83381A, doi:10.1117/12.920902, (2011).
- Ащеулов А.А. Фотоструктура на основе $Cr/In_2Hg_3Te_6$ для диода Шоттки / А.А. Ащеулов, А.В. Галочкин, И.С. Романюк, С. Г. Дремлюженко // ТКЭА (Ascheulov A.A., Halochkin A.V., Romanyuk Y.S., Dremlyuzhenko S.G. Photo structure based on $Cr/In_2Hg_3Te_6$ for Schottky diode). — 2016. — № 2—3. — С/Р. 3—7.
- Галочкин О.В. Вплив гравітаційної седиментації в розплавах багатокомпонентних напівпровідників на процеси вирощування кристалів спрямованою кристалізацією, зонною плавкою / О.В. Галочкін, В.М. Годованюк, З.І. Захарук, М.Г. Колісник, Г.І. Раренко, І.М. Раренко, М.М. Русковолошин, М.Д. Раранський // Нові технології. Науковий вісник КУЕІТУ (Galochkin O.V., Godovanyuk V.M., Zakharuk Z.I., Kolisnyk M.G., Rarenko A.I., Rarenko I.M., Ruskovoloshyn M.M., Raranskiy M.D. Influence of gravitational sedimentation in semiconductor melt on the crystal growth by direct crystallization, zone melting). — 2010. — №1. — С/Р. 10—15.
- Пат. 105367 України. Процес отримання монокристалів $In_2Hg_3Te_6$. Галочкін О.В., Дремлюженко С.Г., Захарук З.І., Колісник М.Г., Ащеулов А.А. (Patent 105 367 Ukraine. The process of obtaining single crystals $In_2Hg_3Te_6$ Halochkin O.V. Dremlyuzhenko S.G., Zakharuk Z.I., Kolesnik M.G., Ascheulov A.A.). — 2016. — Бюл./Bul. №5.
- О.В. Галочкин, А.А. Ащеулов, С.Г. Дремлюженко. Координатно-чувливий фотодіод Шоттки на $In_2Hg_3Te_6$ // Конференція молодих вчених з фізики напівпровідників «Лашкар'євські читання 2016», Київ (O.V. Halochkin, A.A. Ascheulov, S.G. Dremlyuzhenko. Jig-sensitive diode Schottky in $In_2Hg_3Te_6$. // Young scientists conference on semiconductor physics «Lashkaryov Reading 2016»), — 2016, — С/Р. 52.
- ГОСТ 17772-88. Методы измерения фотоэлектрических параметров и определения характеристик. М.: Издательство стандартов (ГОСТ 17772-88. Methods of measurement parameters photoelectrical definitions and characteristics. М.: Yzdatelstvo standartov), — 1988.
- Каталог продукції фірми Hamamatsu Photonics. Електронний ресурс. Режим доступу (Products of the company Hamamatsu Photonics. Electronic resource. Access mode): <http://www.sensor.al.ru/IGNIS/indiode.html>.
- Филачев А.М. Фотоприемники и фотоприемные устройства для приема импульсного излучения в спектральной диапозоне 0,3—11 мкм / А.М. Филачев, В.П. Пономаренко, И.И. Таубкин // Прикладная физика (A.M. Filachev, V.P. Ponomarenko, I.I. Taubkin Photodetectors for receiving pulsed radiation in the spectral range of 0.3 — 11 microns // Applied physics). — 2002. — № 6. — С/Р. 55.
- Каталог продукції ВАТ ЦКБ «Ритм». Режим доступу (Products OJSC CDB «Rhythm». Access mode): http://www.ckb-rhythm.narod.ru/fdSipin_fd255.html.
- Гуревич М.М. Фотометрия (теория, методы и приборы). — Ленинград: Энергоатомиздат (Gurevich M.M. Photometry (theory, methods and tools). — Leningrad: Energoatomisdat), — 1983.
- Бутенко В.К. Установка для вимірювання динамічного діапазону фотоприймачів / В.К.Бутенко, В.М.Годованюк, І.В. Докторович // Науковий вісник ЧНУ. Вип. 112: Фізика. Електроніка. — Чернівці: ЧНУ (Butenko V.K. Godovanyuk V.M. Doktorovych I.V. Device for measuring the dynamic range of photodetectors // Scientific Bulletin of Chernivtsi University), — 2001. — С/Р. 67—70.
- Шабашкевич Б.Г. Метрологічний комплекс для перевірки і градування оптоелектронних приладів у видимому діапазоні спектру / Б.Г. Шабашкевич, Ю.Г. Добровольський, В.Г. Юр'єв // Метрологія та прилади (B.H. Shabashkevych, Yu.H. Dobrovolskyu, V.H. Yur'yev. Metrology system for testing and calibration of optoelectronic devices in the visible range of the spectrum // Metrology and instruments). — № 3. — 2015. — С/Р. 18—23. 

Отримано / received: 08.02.2017.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., В.Ю. Єроховим (Україна).

D. Sc. (Techn.) V.Yu. Yerokhov, Ukraine, recommended this article to be published.

УДК 621.3.014.33: 006.91

КОНЦЕПЦИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО ЛАЗЕРНОГО ГРАВИМЕТРА С ИНДУКЦИОННО-ДИНАМИЧЕСКОЙ КАТАПУЛЬТОЙ И ВИБРОЗАЩИТОЙ ОТ АВТОСЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

В. Болюх, доктор технических наук, профессор кафедры общей электротехники, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,

А. Омельченко, кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники,

А. Винниченко, ведущий инженер, ученый хранитель Государственного первичного эталона единицы ускорения свободного падения,

В. Купко, кандидат технических наук, директор научного центра пространственно-временных измерений, Национальный научный центр «Институт метрологии», г. Харьков

Представлена концепция баллистического лазерного гравиметра (БЛГ) с индукционно-динамической катапульты для симметричного способа измерения ускорения свободного падения. Рассмотрены электромеханические процессы в индукционно-динамической катапульте и обоснованы способы регулирования высоты подбрасывания пробного тела. Выполнен анализ эффективности совместного использования двух основных методов уменьшения влияния автосейсмических колебаний на показания БЛГ, в первом из которых используется упругий подвес референтного отражателя, а во втором — запуск пробного тела осуществляется с массивной стартовой платформы, установленной на пружине малой жесткости. Построена математическая модель механической системы БЛГ с устройствами виброзащиты от автосейсмических колебаний. Проведено математическое моделирование и показано, что комбинирование двух указанных методов позволяет обеспечить эффективную защиту БЛГ от автосейсмических колебаний.

The paper presents a conception of ballistic laser gravimeter (BLG) which employs the inductive-dynamic catapult (IDC) to implement the symmetrical method of measuring the gravity acceleration. The electromechanical processes that occur at the inductive-dynamic catapult are considered and methods to adjust the height of tossing up the test body are substantiated. The efficiency of simultaneous application of the two main methods of reducing the influence of auto-seismic vibrations on the BLG readings is analyzed. The first method is based on using the springy suspension of the reference reflector, while the second one tosses up the test body from a massive launch platform mounted on a spring of small stiffness. A mathematical model for the mechanical system of the BLG equipped with devices to protect it against auto-seismic vibrations is considered. The performed mathematical modelling shows that combining the mentioned above two methods allows us to ensure the effective protection of the BLG against auto-seismic vibrations.

Ключевые слова: баллистический лазерный гравиметр, индукционно-динамическая катапульта, симметричный способ измерения, ускорение свободного падения.

Keywords: ballistic laser gravimeter, inductive-dynamic catapult, symmetrical method of measuring, gravity acceleration.

Для высокоточных измерений абсолютного значения ускорения свободного падения g применяются баллистический лазерный гравиметры, в которых осуществляется подбрасывание пробного тела (ПТ), являющегося составной частью измерительной системы лазерного интерферометра [1]. В этих БЛГ определяются интервалы пути и времени, пройденные ПТ на симметричных относительно вершины на восходящей и нисходящей траекториях свободного движения в вакуумной камере гравиметра [2]. Однако конструктивное выполнение такого гравиметра представляет значительную сложность из-

за наличия катапульты для ПТ и вызываемых ею автосейсмических колебаний.

В существующих катапультах БЛГ осуществляется опосредованное преобразование электрической энергии источника в вертикальное подбрасывание ПТ [3]. Так, например, катапульта БЛГ ДЕТУ 02-02-96 выполнена на основе симметричного шестизвенного рычажного механизма (пантографа) с центральной осью, закреплённой в вакуумной камере баллистического блока. При подаче на обмотку электромагнита токового импульса происходит втягивание массивного ферромагнитного якоря

во внутреннюю полость. Перемещаясь вертикально вниз, ферромагнитный якорь тянет пантограф, который за счет уменьшения радиальных и увеличения аксиальных размеров подбрасывает каретку с ПТ вертикально вверх с последующим улавливанием. Таким образом, в катапульте БЛГ ДЕТУ 02-02-96 происходит взаимосвязь следующих процессов: перемещения якоря под действием магнитного поля обмотки электромагнита, передачи электромагнитной силы тяги на центральную ось, поворота секций пантографа вокруг соответствующих осей, перемещения каретки. Для устранения боковых смещений якорь и каретка установлены в подшипниках, взаимодействующих со стенками вакуумной камеры.

Указанное многоступенчатое преобразование электрической энергии в механическую сопровождается трением и последующим износом контактов подвижных элементов, вибрацией и ударами в соединительных элементах, демпфированием части энергии, изгибно-деформационными и другими процессами. Для устранения систематических погрешностей предлагается использовать БЛГ с индукционно-динамической катапультой (ИДК), обеспечивающей прямое электромеханическое преобразование энергии и позволяющей легко регулировать высоту подбрасывания ПТ [4].

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИДК

Рассмотрим электромеханические процессы в ИДК, которая содержит неподвижный индуктор (катушку с обмоткой) и электропроводящий якорь, который вместе с ПТ перемещается вдоль вертикальной оси z (рис.1а). Якорь располагается относительно индуктора на расстоянии ΔZ_0 , при котором осуществляется возбуждение индуктора для создания подбрасывающего импульса. В процессе торможения якоря, который падает вниз со скоростью V_0 относительно индуктора, возбуждение последнего осуществляется

в момент, когда расстояние между ними равно Z_0 .

Для создания двух последовательных импульсов в едином рабочем цикле используется электронная схема, которая содержит блок питания (БП), предназначенный для зарядки емкостного накопителя энергии C до напряжения U_0 , и блок управления (БУ). Последний, осуществляя последовательное открытие тиристоров VS_0, VS_1, VS_2 , обеспечивает соответственно зарядку накопителя энергии, импульс подбрасывания и импульс торможения якоря (рис. 1б) [4]. Поскольку в электропроводящем якоре возникает неравномерность распределения индуцированного тока, в математической модели он представляется совокупностью элементарных коаксиальных короткозамкнутых K контуров, равномерно распределенных по поверхности диска, а индуктор — первичным контуром возбуждения.

Математическая модель учитывает изменяемую магнитную связь между якорем и индуктором, неравномерность распределения индуцированного тока в якоре и комплекс аксиальных сил, действующих на якорь. В таком случае электрические процессы в ИДК можно описать системой дифференциальных уравнений [5]:

$$\begin{aligned}
 R_0 \cdot i_0 + L_0 di_0 / dt + (1/C) \int_0^t i_0 dt + M_{01}(z) di_1 / dt + \dots \\
 \dots + M_{0k}(z) di_k / dt + \\
 + v(t)(i_1 dM_{01} / dz + \dots + i_k dM_{0k} / dz) = U_0; \\
 R_1 \cdot i_1 + L_1 di_1 / dt + M_{01}(z) di_0 / dt + M_{12} di_2 / dt + \dots \\
 \dots + M_{1k} di_k / dt + \\
 + v(t)(i_0 dM_{01} / dz + i_2 dM_{12} / dz + \dots + i_k dM_{1k} / dz) = 0; \quad (1) \\
 \dots \\
 R_k \cdot i_k + L_k di_k / dt + M_{0k}(z) di_0 / dt + M_{1k} di_1 / dt + \dots \\
 \dots + M_{k-1k} di_{k-1} / dt + \\
 + v(t)(i_0 dM_{0k} / dz + i_1 dM_{1k} / dz + \dots + i_{k-1} dM_{k-1k} / dz) = 0,
 \end{aligned}$$

где i_0, L_0, R_0 — ток, индуктивность и сопротивление индуктора, соответственно; i_k, L_k, R_k — ток, индуктивность и сопротивление элементарного короткозамкнутого k -го контура якоря, перемещающегося со скоростью $v(t)$ вдоль оси z относительно индуктора, соответственно; M_{kp} — взаимная индуктивность между токовыми контурами ($k \neq p$); C, U_0 — емкость и зарядное напряжение емкостного накопителя, соответственно.

Аксиальное перемещение якоря Δz с исполнительным элементом, представляющим

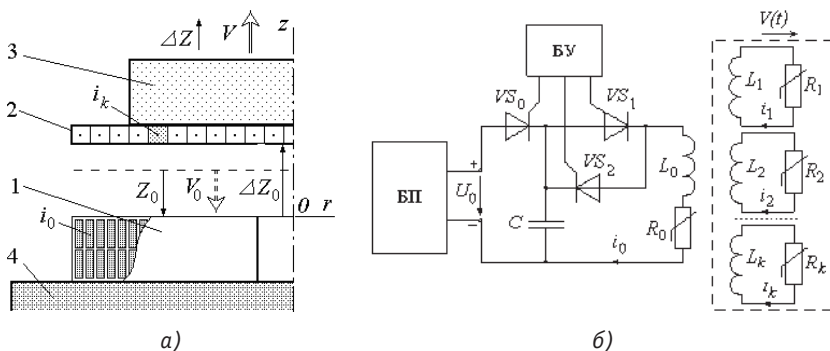


Рис. 1. Расчетная (а) и электрическая (б) схемы ИДК:

1 — индуктор; 2 — электропроводящий якорь; 3 — ПТ; 4 — основа

Fig. 1. Design model (a) and electric circuit of the IDC: 1 — inductor; 2 — electrically conductive reed; 3 — test body; 4 — bottom

собой толкающий диск с ПТ, возникает под действием электродинамической силы:

$$f_z(t, z) = i_0(t) \cdot \sum_{k=1}^K i_k(t) \frac{dM_{0k}}{dz}(z). \quad (2)$$

Скорость и перемещение якоря с ПТ представляются в виде рекуррентного соотношения:

$$v(t_{n+1}) = v(t_n) + \vartheta \cdot \Delta t / (P + m_2),$$

$$\Delta z(t_{n+1}) = \Delta z(t_n) + v(t_n) \Delta t + \vartheta \cdot \Delta t^2 / (P + m_2), \quad (3)$$

где $\vartheta = i_0(t_n) \sum_n i_k(t_n) \frac{dM_{0k}}{dz}(z) + (-1)^m g(P + m_2)$;

m_2, P — масса якоря и ПТ, соответственно; $m = 1$ при восходящей и $m = 2$ при нисходящей траекториях свободного движения.

Рассмотрим ИДК БЛГ, основные параметры которой представлены в табл.1, при регулировании напряжения U_0 .

На рис. 2а показаны усредненные плотности тока в индукторе j_1 и якоре j_2 при напряжении $U_0 = 280$ В и 310 В. В индукторе возбуждается аперiodический импульс тока длительностью 0,5 мс. Индуцированный ток в якоре полностью затухает несколько позже. В результате взаимодействия токов возбуждается короткий (до 0,4 мс) импульс электродинамической силы f_z , приводящей к возникновению вертикальной скорости v подбрасывания ПТ (рис. 2,б). При этом величина силы и скорости регулируются напряжением U_0 . Под действием короткого силового импульса происходит перемещение ПТ с якорем, которое осуществляется после затухания токов в индукторе и якоре ИДК. При

Таблица 1. Параметры ИДК
Table 1. Parameters of the IDC

Параметр	Обозначение	Величина
Внешний диаметр индуктора, мм	D_{ex1}	80
Внутренний диаметр индуктора, мм	D_{in1}	4
Высота индуктора, мм	H_1	5
Внешний диаметр якоря, мм	D_{ex2}	80
Высота якоря, мм	H_2	2
Количество витков индуктора, од.	N_1	76
Сечение провода индуктора, мм ²	a·b	0,4×5,0
Масса ПТ, кг	P	0,12
Напряжение емкостного накопителя энергии, В	U_0	280-310
Емкость накопителя энергии, мкФ	C	500

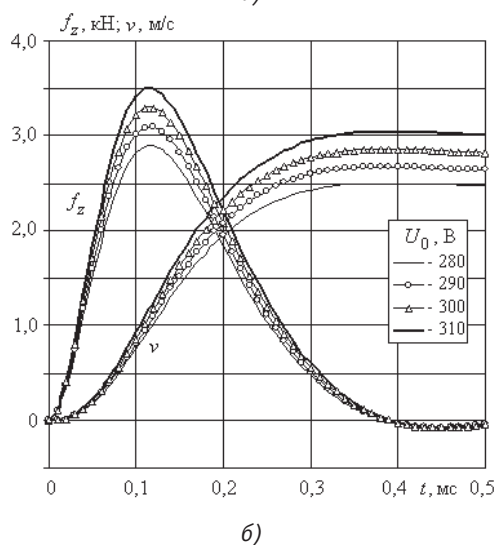
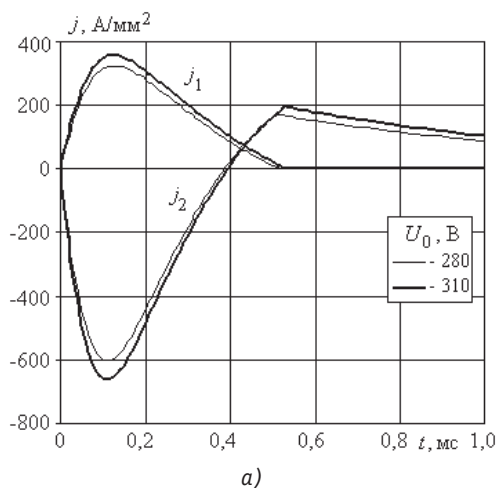


Рис. 2. Электромеханические характеристики ИДК
Fig. 2. Electromechanical characteristics of the IDC

этом высота подбрасывания ПТ существенно зависит от напряжения емкостного накопителя (рис.3).

Короткий, но мощный силовой импульс вызывает автосейсмические колебания фундамента [6, 7]. Для уменьшения влияния автосейсмического явления на показания БЛГ можно выделить два основных метода. В первом из них в интерферометре БЛГ применяется упругий подвес референтного отражателя (P0) [8]. За счет этого при достаточно большом периоде собственных колебаний в системе подвеса можно ослабить влияние как внешних сейсмических помех, так и автосейсмических помех. Во втором методе, обоснованном в работе [9], предложено запускать ПТ с массивной платформы, установленной на пружине малой жесткости, для реализации которой предложено использовать электромагнитный компенсатор жесткости.

Это позволяет сгладить сейсмическое воздействие толчка катапульты на фундамент и, в конечном счете, на P0. В этом случае теоретически возможно снижение автосейсмической составляющей

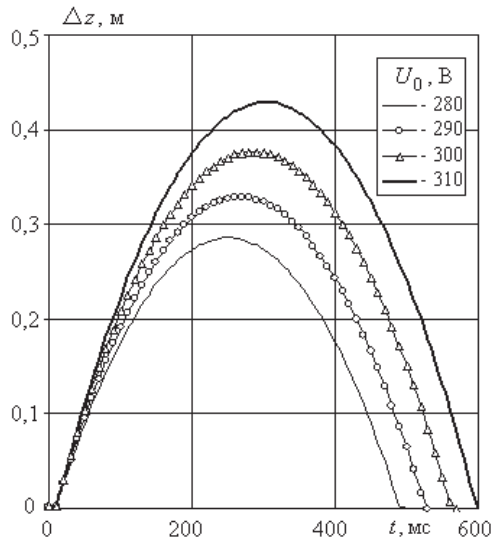


Рис. 3. Характеристики перемещения ПТ ИДК при различных напряжениях емкостного накопителя
 Fig. 3. Movement characteristics of the IDC TB corresponding to different voltages of the capacity

погрешности (АСП) измерения УСП до величины, меньшей 1 мкГал.

Рассмотрим БЛГ с ИДК, в котором совместно применяются оба указанных выше метода уменьшения автосейсмических колебаний на измерение УСП.

МОДЕЛЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ БЛГ С АВТОСЕЙСМИЧЕСКИМИ КОЛЕБАНИЯМИ ФУНДАМЕНТА

Оценим влияние броска ПТ, осуществляемого ИДК, на показания БЛГ, учитывая вертикальные колебания фундамента. Упрощенная схема расположения элементов БЛГ на фундаменте представлена на рис. 4. В момент разгона ПТ катапульты создается сила, действующая на баллистический блок 1, которая через его опоры 7 и 8 передает сейсмическое воздействие на фундамент 2 и дальше, на штатив интерферометра.

На рис. 5 представлена модель механической системы БЛГ. Здесь использованы следующие обозначения: m — масса ПТ; m_1 — масса стартовой платформы; c и b_1 — коэффициенты жесткости и коэффициент демпфирования установки стартовой платформы; m_0 — суммарная масса фундамента, баллистического блока и установленных на нем устройств (за исключением стартовой платформы и ПТ); c_0, b_0 — коэффициенты жесткости грунтового основания и демпфирования основы; m_v — масса виброзащитного устройства РО; c_v и b_v — коэффициенты жесткости и демпфирования виброзащитного устройства РО.

Обозначим через $f_z(t)$ силу, действующую на платформу вертикально вниз при разгоне ПТ. В качестве простейшей модели силы будем рассматри-

вать воздействие прямоугольного вида [6, 7]:

$$f_z(t) = \begin{cases} mg, & \text{при } t \leq 0; \\ mg + f_0, & \text{при } 0 < t \leq \tau; \\ 0, & \text{при } t > \tau, \end{cases} \quad (4)$$

где τ — время разгона ПТ, а величина

$$f_0 = v / \tau m. \quad (5)$$

Движение платформы и фундамента в вертикальном направлении, а значит и референтного отражателя, описывается системой дифференциальных уравнений:

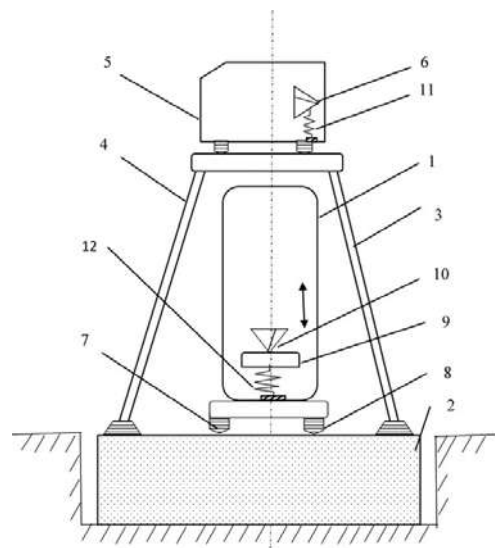


Рис. 4. Схема расположения элементов БЛГ на фундаменте:

- 1 — баллистический блок; 2 — фундамент;
- 3 и 4 — опоры штатива; 5 — интерферометр лазерный;
- 6 — референтный отражатель;
- 7 и 8 — опоры баллистического блока;
- 9 — стартовая платформа; 10 — пробное тело;
- 11 — виброзащитное устройство референтного отражателя;
- 12 — виброзащитное устройство стартовой платформы

Fig. 4. Chart of the BLG elements layout on the bottom

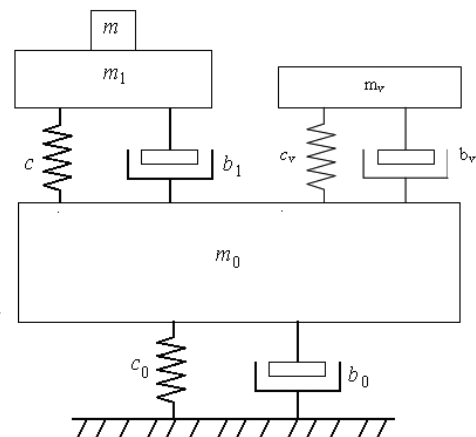


Рис. 5. Модель механической системы БЛГ
 Fig. 5. Model of the BLG mechanical system

$$\begin{cases} m_1 d^2 z_1 / dt^2 + b_1 \cdot dz_1 / dt + c \cdot z_1 = \\ = b_1 \cdot dz_0 / dt + c \cdot z_0 + f_z \\ m_v d^2 z_v / dt^2 + b_v \cdot dz_v / dt + c_v \cdot z_v = \\ = b_v \cdot dz_0 / dt + c_v \cdot z_0 \\ m_0 d^2 z_0 / dt^2 + (b_0 + b_1 + b_v) dz_0 / dt + (c_0 + c + c_v) z_0 = \\ = b_1 \cdot dz_1 / dt + c z_1 + b_v \cdot dz_v / dt + c_v z_v, \end{cases} \quad (6)$$

где z_0, z_1 и z_v — соответственно отклонения фундамента, стартовой платформы и РО от соответствующих начальных положений со снятым ПТ.

Функции $z_0(t), z_1(t)$ и $z_v(t)$ определим из решения системы уравнений (6) с учетом начальных условий:

$$\begin{aligned} z_0(0) &= mg / c_0; \quad z_1(0) = mg(1 / c_0 + 1 / c_v); \\ z_v(0) &= mg / c_0. \end{aligned} \quad (7)$$

Отметим, что, в случае жесткого закрепления стартовой платформы относительно фундамента, $z_1 = z_0$, и система уравнений (7) примет вид:

$$\begin{cases} m_v d^2 z_v / dt^2 = b_v \cdot d(z_0 - z_v) / dt + c_v \cdot (z_0 - z_v) \\ (m_0 + m_1) d^2 z_0 / dt^2 = -b_0 dz_0 / dt - c_0 z_0 - b_v \times \\ \times d(z_0 - z_v) / dt - c_v (z_0 - z_v) + f_z, \end{cases} \quad (8)$$

который совпадает с приведенным в [10].

С другой стороны, при жестком креплении референтного отражателя относительно фундамента $z_v = z_0$, и систему уравнений (7) удобно представить в виде [10]:

$$\begin{cases} m_1 d^2 z_1 / dt^2 = b_1 \cdot d(z_0 - z_1) / dt + c \cdot (z_0 - z_1) + f_z \\ (m_0 + m_v) d^2 z_0 / dt^2 = \\ = -b_0 dz_0 / dt - b_1 \cdot d(z_0 - z_1) / dt - c_0 z_0 - c(z_0 - z_1). \end{cases}$$

Величину АСП измерения УСП определим согласно выражению [7,10]:

$$\Delta g = - \sum_{k=0}^{K-1} z_v(kh + t_0 - \frac{T_b}{2}) \cdot w(k), \quad (9)$$

где $z_v(t)$ — процесс перемещения референтного отражателя; h — интервал дискретизации отсчетов пути, пройденного ПТ; t_0 — момент достижения вершины ПТ; T_b — время полёта ПТ; $w(k)$ — весовые коэффициенты обработки отсчетов путь-время в БЛГ.

При анализе механической системы БГ выделим три подсистемы, каждую из которых будем характеризовать периодом собственных колебаний и коэффициентом относительного демпфирования: подсистему «фундамент — основание» с периодом $T_0 = 2\pi\sqrt{m_0 / c_0}$ и коэффициентом демпфирования $\xi_0 = b_0 / 2\sqrt{c_0 m_0}$; подсистему «стартовая платформа — упругий элемент ее крепления» с периодом $T_1 = 2\pi\sqrt{m_1 / c}$ и коэффициентом демпфирования $\xi_1 = b_1 / 2\sqrt{c m_1}$; подсистему «референтный отражатель — упругий элемент его крепления» с периодом $T_v = 2\pi\sqrt{m_v / c_v}$ и коэффициентом демпфирования $\xi_v = b_v / 2\sqrt{c_v m_v}$.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ВИБРОЗАЩИТЫ БЛГ ОТ АВТОСЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Приведем результаты исследования эффективности систем виброзащиты в БЛГ с использованием приведенных выше аналитических выражений. При моделировании, следуя работе [6], примем массу фундамента $m_0 = 3000$ кг, жесткость основания $c_0 = 125,88$ МН / м, коэффициент вязкого трения основы $b_0 = 73743,2$ Н·с/м; массу ПТ $m = 0,08$ кг; начальную скорость ПТ $v = 1,4$ м/с (что соответствует броску на высоту около 0,10 м при времени полета $T \approx 0,285$ с). Время разгона ПТ положим равным 2 мс. В процессе моделирования были использованы следующие значения параметров подсистемы «референтный отражатель — упругий элемент крепления»: масса РО $m_v = 0,1$ кг, коэффициент относительного затухания $\xi_v = 1$. Таким образом, полагалось, что виброзащитная система РО работает в критическом режиме [11], что соответствует наиболее быстрому затуханию колебаний. Период собственных колебаний T_v дискретно изменялся и принимал значения 0,01, 0,1, 1, 10 с.

Результаты исследований в виде зависимостей АСП измерения УСП Δg от времени обработки T для варианта жесткого крепления стартовой платформы отображены на рис. 6.

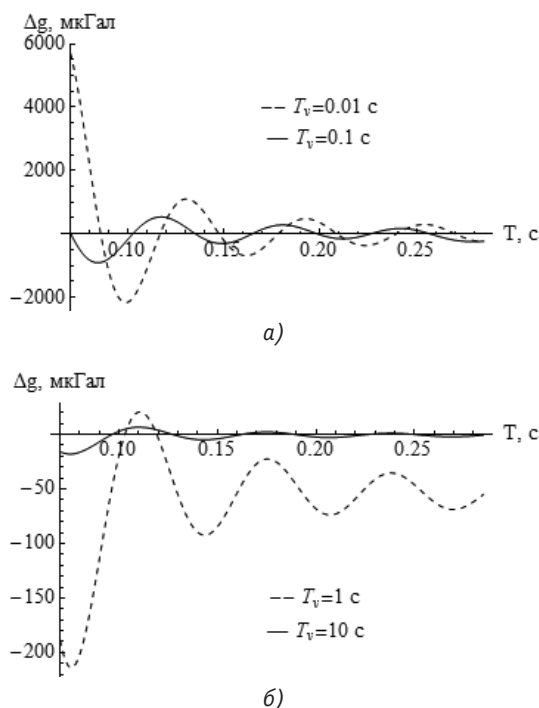


Рис. 6. Зависимость АСП измерения УСП от времени обработки для случая жесткого крепления стартовой платформы

Fig. 6. The dependency of the auto-seismic component of the error of measuring the gravity acceleration on the processing time for the case of stiff mounting of the launch platform

Концепция упругого крепления стартовой платформы обоснована в работе [10], в которой показано, что за счет крепления стартовой платформы на элементах с малыми коэффициентами упругости и демпфирования можно практически полностью нейтрализовать эффект автосеймики. После броска ПТ механическая система БЛГ находится в переходном режиме. Поэтому, в принципе, на интервале полета ПТ демпфирование колебаний в подсистеме стартовой платформы может быть сделано слабым либо отсутствовать вовсе, а после окончания измерительного цикла колебания в подсистеме стартовой платформы должны быть погашены. Для подсистемы «стартовая платформа — упругий элемент ее крепления» были использованы следующие условия: масса стартовой платформы $m = 1,6$ кг, жесткость пружины c дискретно изменялась, а коэффициент относительного демпфирования преимущественно полагался равным нулю $\xi_1 = 0$.

На рис. 7 и рис. 8 приведены результаты моделирования для случаев упругого крепления стартовой платформы и отсутствия демпфера в подсистеме

стартовой платформы. Из анализа результатов моделирования с упругим креплением стартовой платформы сделан вывод, что при периоде собственных колебаний системы подвеса стартовой платформы T_1 , меньшем длительности полета пробного тела T , величина АСП является недопустимо большой и может даже превосходить значения АСП при жестком закреплении катапульты относительно фундамента. Приемлемым вариантом можно считать вариант, когда период собственных колебаний системы подвеса стартовой платформы T_1 хотя бы вдвое превышает длительность полета пробного тела T_b .

Как показано в [10], в случае упругого крепления стартовой платформы с жесткостью $c = 2,09$ Н/м (период собственных колебаний $T_1 \approx 5,5$ с) величина АСП уже не превосходит 1 мкГал даже при жестком креплении РО.

Введение демпфера в устройство крепления стартовой платформы несколько сказывается на величине АСП измерения УСП. В ходе исследований установлено, что при коэффициенте относительного демпфирования $\xi_1 \leq 0.1$ влияние демпфера не является

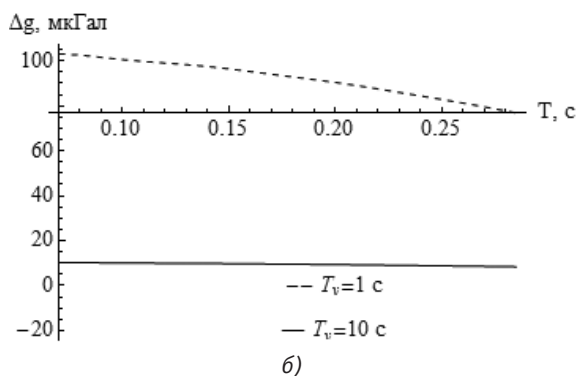
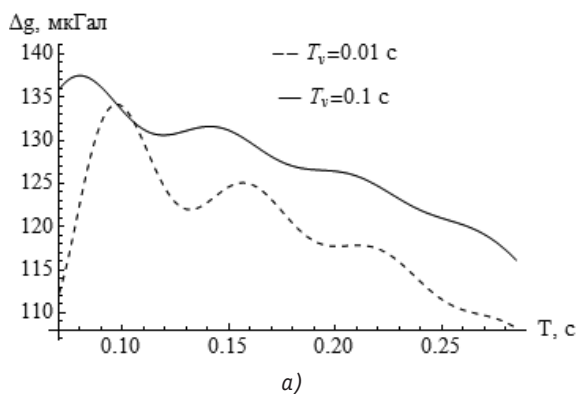


Рис. 7. Зависимость АСП измерения УСП от времени обработки для случая упругого крепления стартовой платформы с коэффициентом жесткости $c = 209$ Н/м (период собственных колебаний $T_1 = 2\pi\sqrt{m_1/c} = 0.55$ с)

Fig. 7. The dependency of the auto-seismic component of the error of measuring the gravity acceleration on the processing time for the case of springy mounting of the launch platform with the stiffness ratio $c=209$ N/m (period of natural vibrations $T_1 = 2\pi\sqrt{m_1/c} = 0.55$ s)

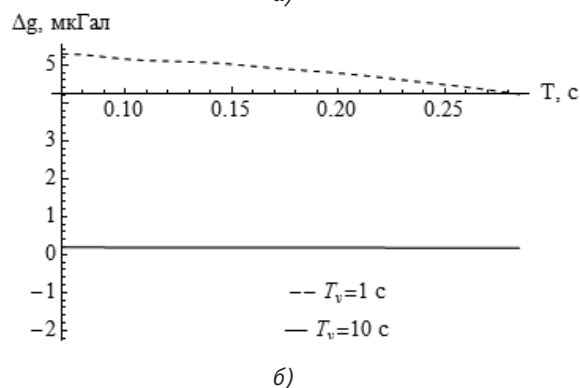
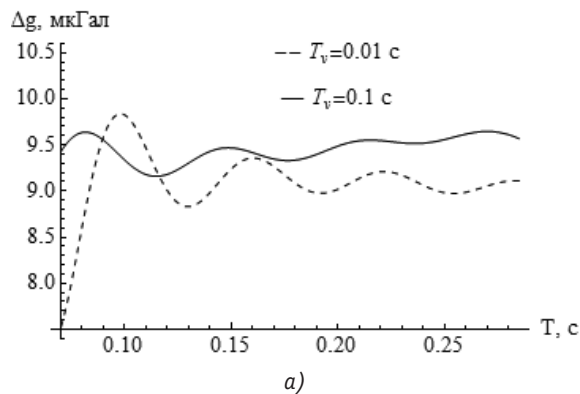


Рис. 8. Зависимость АСП измерения УСП от времени обработки для случая упругого крепления стартовой платформы с коэффициентом жесткости $c = 20,9$ Н/м (период собственных колебаний $T_1 = 2\pi\sqrt{m_1/c} = 1.74$ с)

Fig. 8. The dependency of the auto-seismic component of the error of measuring the gravity acceleration on the processing time for the case of springy mounting of the launch platform with the stiffness ratio $c=20.9$ N/m (period of natural vibrations $T_1 = 2\pi\sqrt{m_1/c} = 1.74$ s)

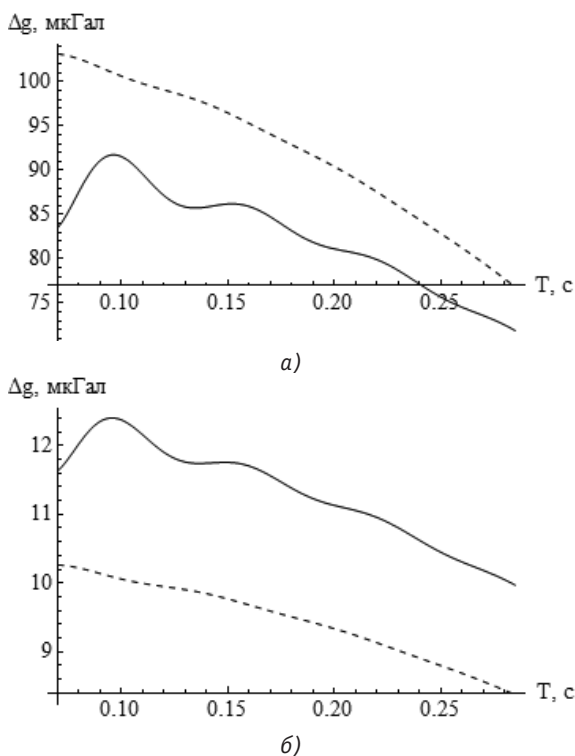


Рис. 9. Зависимость АСП измерения УСП от времени обработки для случая упругого демпфированного крепления стартовой платформы с коэффициентом жесткости $c = 209 \text{ Н/м}$: а) случай $T_v = 1 \text{ с}$; б) случай $T_v = 10 \text{ с}$

Fig. 9. The dependency of the auto-seismic component of the error of measuring the gravity acceleration on the processing time for the case of springy mounting of the launch platform with the stiffness ratio $c=209 \text{ N/m}$: а) when $T_v = 1 \text{ s}$; б) when $T_v = 10 \text{ s}$

существенным. Если же $\xi_1 > 0.1$, то демпфирование может приводить как к увеличению, так и к уменьшению абсолютного значения АСП измерения УСП. В большинстве случаев в области малых значений АСП влияние демпфирования является негативным, т.е. приводит к увеличению АСП. Указанное замечание проиллюстрировано на рис. 9, где сплошными кривыми отображены случаи $\xi_1 = 0.2$, а пунктирными — случаи $\xi_1 = 0$ (отсутствие демпфирования).

Таким образом, БЛГ с ИДК может обеспечивать АСП измерений менее 1 мкГал. Для этого следует подбирать ПТ с массивного основания, установленного на пружине малой жесткости. С уменьшением жесткости этой пружины за счет применения электромагнитного компенсатора АСП измерения УСП уменьшается.

КОНСТРУКТИВНАЯ СХЕМА БЛГ С ИДК И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ КОМПЕНСАТОРОМ ЖЁСТКОСТИ

На основании проведенных исследований предлагается конструктивная схема БЛГ с ИДК, в которой

используется электромагнитный компенсатор жёсткости для компенсации автосейсмических колебаний. Гравиметр содержит вакуумную камеру 1, внутри которой расположены ПТ 2 с оптическим угловым отражателем 3, силовой диск 4, удерживающий ПТ 2, и индукционно-динамическую катапульти (рис.10). ИДК состоит из обмотки 5, подключаемой к емкостному накопителю энергии, и коаксиально расположенного якоря 6, выполненного в виде диска из электропроводящего материала, например, из меди. Силовой диск 4 выполнен с направляющим конусом 7 из изоляционного материала.

Форма боковых стенок конуса 7 совпадает с формой боковых стенок направляющей конусообразной аксиальной выемки 8 внутреннего каркаса 9 обмотки 5. В якоре 6 выполнено центральное отверстие для направляющего конуса 7. Обмотка 6 ИДК расположена внутри ферромагнитного сердечника 10, охватывающего ее наружную боковую и нижнюю торцевую стороны, причем наружный диаметр ферромагнитного сердечника совпадает с наружным диаметром якоря 6. Ферромагнитный сердечник выполнен из магнетодиэлектрика. Гравиметр содержит платформу 11 и опорную плиту 12. На платформе 11 закреплена вакуумная камера 1. На внешних участках платформы 11 выполнены отверстия, которые охватывают вакуумную камеру 1. Внутри отверстий расположены вертикальные стойки 13, которые взаимосвязаны с опорной плитой 12. Плита 12 посредством опор 14 установлена на массивном основании 15.

Вертикальные стойки 13 охвачены винтовыми пружинами 16, которые удерживают платформу 11 относительно опорной плиты 12. К плите 12 присоединен коаксиальный магнит 17, охваченный ферромагнитным сердечником 18. В центральном

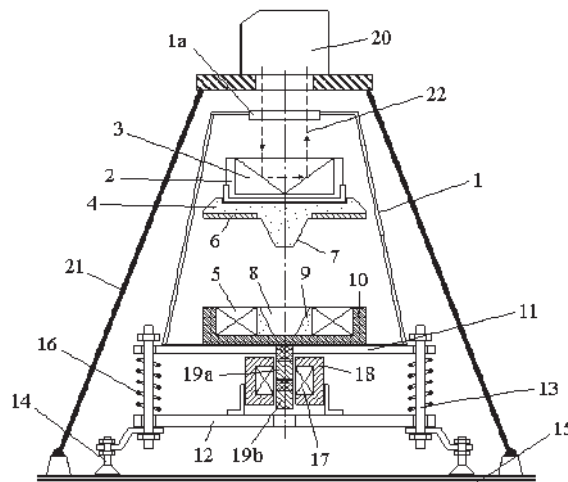


Рис. 10. Баллистический лазерный гравиметр в рабочем состоянии

Fig. 10. Ballistic laser gravimeter in operable condition

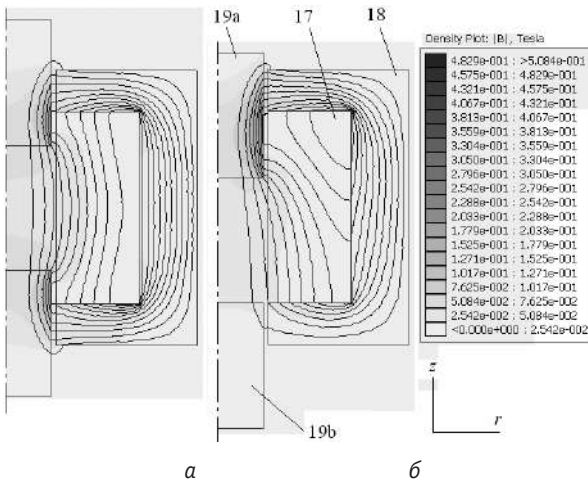


Рис. 11. Распределение магнитных полей в электромагнитном компенсаторе жёсткости при положении подвижного элемента 19 в исходном состоянии (а) и при смещении вниз (б)

Fig. 11. Distribution of magnetic fields in the electromagnetic compensator stiffness at the position of the movable element 19 in the initial state (a) and downward displacement (b)

отверстия магнита 17 расположен цилиндрический подвижный элемент 19, содержащий верхний 19а и нижний 19b ферромагнитные участки, которые расположены симметрично относительно центральной плоскости магнита между немагнитным участком. Цилиндрический подвижный элемент 19 соединен с платформой 11. Оптическое приемно-излучающее устройство 20 расположено на треноге 21, установленной на массивном основании 15. При этом центральное отверстие треноги для лазерного луча 22 расположено напротив оптического окна 1а вакуумной камеры. В исходном состоянии между подвижным элементом 19 и коаксиальным магнитом 17 отсутствуют электромагнитные силы, поскольку верхний 19а и нижний 19b ферромагнитные участки элемента 19 расположены симметрично относительно центральной плоскости магнита 17 (рис. 11а). За счет направляющего конуса 7 и аксиальной выемки 8 внутреннего каркаса 9 силовой диск 4 и обмотка 5 установлены строго аксиально.

Для начала процесса измерения УСП обмотка 5 индукционно-динамической катапульты подключается к заряженному емкостному накопителю. Протекающий в ней импульсный ток посредством магнитного поля индуцирует в электропроводящем якоре 6 вихревой ток. Возникающая при этом электродинамическая сила отталкивания между обмоткой 5 и якорем 6 толкает ПТ 2 вверх с последующим падением вниз. В процессе перемещения ПТ 2 излучаемый лазерный луч 22 из оптического приемно-излучающего устройства 20, проходя через отверстие треноги 21 и опти-

ческое окно 1а вакуумной камеры 1, взаимодействует с оптическим уголковым отражателем 3 ПТ 2. При этом осуществляется прием отраженного луча устройством 20 и измерение ускорения свободного падения g .

Под воздействием электродинамической силы отталкивания обмотка 5 вместе с ферромагнитным сердечником 10 перемещается вниз. Платформа 11 по вертикальным стойкам 13 также перемещается вниз. При этом винтовые пружины 16 сжимаются. Под воздействием винтовых пружин на опорную плиту 12 действует увеличенная сила, направленная вниз. Вместе с платформой 11 происходит перемещение вниз и цилиндрического подвижного элемента 19 (рис. 11б,в). При этом верхний ферромагнитный участок 19а этого элемента приближается к центральной плоскости коаксиального магнита, а нижний ферромагнитный участок 19b удаляется от этой плоскости. Вследствие этого сила притяжения со стороны коаксиального магнита 17 на верхний ферромагнитный участок 19а возрастает, а на нижний ферромагнитный участок 19b уменьшается. Расчеты электромагнитных полей и сил выполнены по методике, представленной в работе [5]. Сила притяжения, действующая на коаксиальный магнит 17, направлена вверх. Поскольку магнит соединен с опорной плитой 12, то указанная сила притяжения компенсирует увеличенную силу вниз, которая действует на плиту 12 со стороны винтовых пружин 16. Сила, которая действует со стороны нижней силовой плиты через опоры 14 на массивное основание 15, практически сохраняется. Поскольку на этом

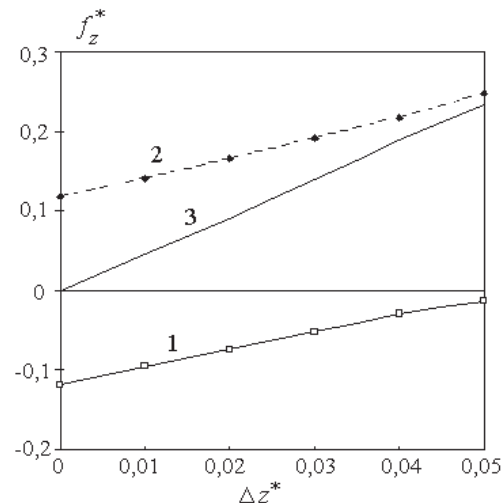


Рис. 12. Относительные силы от элемента 19а (2), от элемента 19b (1) и результирующая сила (3) в зависимости от относительного смещения подвижного элемента 19 вниз
Fig. 12. The relative strength of the element 19а, of the element 19b and the resultant force depending on the relative displacement of the movable element 19 downward

основани 15 установлена тренога 21 с оптическим приемно-излучающим устройством 20, то сила воздействия на них практически не изменяется, и не возникают существенные вибрации. Это способствует повышению точности измерения УСП.

Как показывают расчеты, в диапазоне относительных смещений до $\Delta z^* = 0,04$ результирующая сила f_z^* имеет линейный характер (рис. 12). Это показывает перспективность предложенной концепции БЛГ с ИДК, обладающего пониженным уровнем автосейсмических колебаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Представлена концепция БЛГ с индукционно-динамической катапульты для симметричного спо-

соба измерения ускорения свободного падения, в котором для защиты от автосейсмических колебаний используется упругий подвес стартовой платформы.

2. Показано, что индукционно-динамическая катапульта обеспечивает прямое электромеханическое преобразование энергии и позволяет легко регулировать высоту подбрасывания пробного тела.

3. Для снижения уровня автосейсмических колебаний предлагается запускать пробное тело с массивной платформы, установленной на пружине малой жесткости.

4. Комбинирование упругого подвеса референтного отражателя и запуска пробного тела с массивной стартовой платформы обеспечивает эффективную защиту БЛГ от автосейсмических колебаний.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Витушкин Л.Ф., Орлов О.А., Джермак А., Дагостино Д. Лазерные интерферометры перемещений с субнанометровым разрешением в абсолютных баллистических гравиметрах // Измерительная техника (Vitushkin L.F., Orlov O.A., Dzhermak A., D'agostino D. Lazernyye interferometry peremescheniy s subnanometrovym razresheniem v absolyutnykh ballisticheskikh gravimetrah // Izmeritel'naya tekhnika. — 2012. — no. 3. — pp. 3—8). — 2012. — № 3. — С/Р. 3—8.
2. Баллистический гравиметр для симметричного способа измерений [Текст]: пат. 2192024 Рос. Федерация: МПК G01V7/14 / Гужов В.Б., Кокошкин Н.Н., Шурубкин В.Д.; заявитель и патентообладатель Государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт «Сигнал» — №2001120196/28; заявл. 18.07.2001; опубл. 27.10.2002, Бюл. 18/2007 — 3 с/р (Ballisticheskiy gravimetr dlya simmetrichnogo sposoba izmereniy [Tekst]: pat. 2192024 Ros. Federatsiya: MPK G01V7/14 / Guzhov V.B., Kokoshkin N.N., Shurubkin V.D.; zayavitel i patentobladatel Gosudarstvennoe unitarnoe predpriyatie «Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut «Signal» — no. 2001120196/28; zayavl. 18.07.2001; opubl. 27.10.2002, Byul. 18/2007 — 3 p.).
3. Винніченко О.І. Кінематичні схеми пускових пристроїв балістичних гравіметрів // Метрологія та прилади (Vinnichenko O.I. Kinematychni skhemy puskovykh prystroiv balistychnykh hravimetriv // Metrolohiia ta prylyady. — 2012. — no. 3 (35). — pp. 47—53.). — 2012. — № 3 (35). — С/Р. 47—53.
4. Bolyukh V.F., Vinnichenko A.I., Concept of an induction-dynamic catapult for a ballistic laser gravimeter, Measurement Techniques, January 2014, vol. 56, Issue 10, pp. 1098—1104.
5. Bolyukh V.F., Luchuk V.F., Rassokha M.A., Shchukin I.S., High-efficiency impact electromechanical converter // Russian electrical engineering, 2011, vol. 82, № 2, pp. 104—110.
6. Bolyukh V.F., Omel'chenko A.V., Vinnichenko A.I. Effect of self-seismic oscillations of the foundation on the readout of a ballistic gravimeter with an induction-dynamic catapult // Measurement Techniques. — 2015. — Vol. 58, № 2. — P. 137—142.
7. Омельченко А., Болюх В., Винніченко О. Автосейсмічна складова похибки симетричного балістичного гравіметра, зумовлена коливаннями фундаменту // Метрологія та прилади (Bolyukh V.F., Omelchenko A.V., Vinnichenko A.I. Avtoseysmycheskaya sostavlyayushchaya pohreshnosty symmetrychno ballistycheskoho hravymetra, obuslovlена kolebanyuyamy fundamenta (The auto-seismic component of an error of the symmetric ballistic gravimeter caused by fluctuations of the base), Metrolohiya ta prylyady, 2014, no. 3, pp. 51—56.), — 2014. — № 3, С/Р. 51—56.
8. D'Agostino G., Desogus S., Germak A., etc., The new IMGC-02 transportable absolute gravimeter: measurement apparatus and applications in geophysics and volcanology, Annals of geophysics, 2008, V. 51, № 1, P. 39—49.
9. Балістичний лазерний гравіметр з індукційно-динамічною катапультю для симетричного способу вимірювання прискорення вільного падіння: пат. № 111307 Україна: МПК G01V 7/14 / Болюх В.Ф., Омельченко А.В., Винніченко О.І.; Короткий Ю.О.; заявник і патентовласник В.Ф. Болюх, А.В. Омельченко, О.І. Винніченко, Ю.О. Короткий — №a201505402; заявл. 02.06.2015; опубл. 11.04.2016, Бюл. № 7, 2016 (Balistychnyi lazernyi hravimetr z induktsionno-dynamichnoiu katapultoiu dlya symetrychno sposobu vymiryuvannia pryskorennya vilnoho padinnia: pat. № 111307 Ukraina: MPK G01V 7/14 / Boliukh V.F., Omelchenko A.V., Vinnichenko O.I.; Korotkyi Yu.O.; zaiavnyk i patentovlasnyk V.F. Boliukh, A.V. Omelchenko, O.I. Vinnichenko, Yu.O. Korotkyi — №a201505402; zaiavl. 02.06.2015; opubl. 11.04.2016, Biul. no. 7, 2016.).
10. Болюх В.Ф., Омельченко А.В., Винніченко А.И., Купко В.С. Концепция баллистического лазерного гравиметра с индукционно-динамической катапульты и уменьшенным влиянием автосейсмического эффекта // Український метрологічний журнал (Bolyukh V.F., Omelchenko A.V., Vinnichenko A.I., Kupko V.S. Kontseptsiya ballisticheskogo lazernogo gravimetra s induktsionno-dinamicheskoy katapultoy i umenshennyim vliyaniem avtoseysmicheskogo efekta (A conception of ballistic laser gravimeter with the inductive-dynamic catapult and reduced influence of the auto-seismic effect) // Ukrayinskiy metrologichnyi zhurnal, — 2016, 2, pp. 15—20.), — 2016, — № 2, — С/Р. 13—20.
11. Магнус К. Колебания: Введение в исследование колебательных систем. Пер. с нем. — М.: Мир (Magnus K. Kolebaniya: Vvedenie v issledovanie kolebatelnykh sistem. Per. s nem. — М.: Mir, 1982. — 304 p.), — 1982. — 304 с/р. 📄

Отримано / received: 13.02.2017.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Г.М. Сучковим (Україна).
Prof. G.M. Suchkov, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published

УДК 159.9:629.7:656.7.086.1 (045)

КОНЦЕПЦІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНОГО СТАНУ ЛЬОТНОГО СКЛАДУ

Є. Володарський, доктор технічних наук, президент Академії метрології України, м.Київ;
О. Булигіна, кандидат технічних наук, доцент кафедри біокібернетики та аерокосмічної медицини,
О. Іванець, кандидат технічних наук, доцент кафедри,
 Національний авіаційний університет, м. Київ

Запропоновано підхід, що надає можливість кількісної оцінки психофізіологічного стану пілотів. Підхід засновано на визначенні коефіцієнта енергетичної стійкості, який є відношенням площин під кривою альфа ритму електроенцефалограми в спокійному та збудженому станах. Застосування статистичного апарату ANOVA дозволяє виділити складову, зумовлену зміною психофізіологічного стану, та провести за запропонованим критерієм об'єктивне оцінювання професійної придатності льотного складу.

The proposed approach provides quantitative assessment of psycho-physiological state pilots. The approach is based on the definition of energy sustainability factor which is the ratio of area under the curve of alpha rhythms in a calm and excited states. Application of ANOVA statistical apparatus reveals the part due to changes in psychophysiological state and carry out the proposed criterion for objective assessment of professional competence crews.

Ключові слова: безпека польотів, пілот, психофізіологічний стан, критерій стійкості, екстремальні умови.
Keywords: safety of flying, pilot, psychophysiological state, stability criterion, extremal condition.

Убезпечення польотів є пріоритетом діяльності авіаційного транспорту і невід'ємною складовою національної безпеки. Відповідно до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію Україна як член Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО) повинна дотримуватися установлених цією організацією стандартів, згідно з якими кожна держава — член ІКАО зобов'язана розробити і виконати національну програму безпеки польотів, а суб'єкти авіаційної діяльності — впровадити систему управління безпекою польотів.

Система управління безпекою польотів — це сукупність заходів із застосування єдиного підходу до управління безпекою польотів, що передбачає оптимізацію організаційної структури, розподіл відповідальності між органами державної влади та суб'єктами авіаційної діяльності, визначення політики та експлуатаційних процедур щодо забезпечення безпеки польотів. Основою управління безпекою польотів є системний підхід до виявлення й усунення джерел небезпеки та здійснення контролю за ризиками для убезпечення польотів з метою мінімізації людських втрат, матеріальних, фінансових, екологічних та соціальних збитків [1].

Результати аналізу причин виникнення авіаційних подій та інцидентів за останні десять років свідчать, що приблизно 80 відсотків таких подій та інцидентів сталися через помилкові дії та порушення екіпажами повітряних суден правил експлуатації (людський фактор). Тому постає проблема у встановленні інтегрального показника, за допомогою якого можна проводити кількісну оцінку психофізіологічного стану пілотів та можливості прийняття адекватних рішень за екстремальних умов.



Є. Володарський



О. Булигіна



О. Іванець

На сьогодні прийняття рішення щодо допуску пілотів до виконання своїх службових обов'язків здійснює авіаційний лікар згідно з правилами медичного забезпечення і контролю польотів цивільної авіації України, затвердженими наказом Державіаслужби від 05.12.2005 за № 920 (z0044-06), зареєстрованими Міністерством юстиції України 19.01.2006 за № 44/11918. Згідно з п. 13 зазначених правил для досягнення високої ефективності медичного забезпечення видів польотів велике значення має психофізіологічна підготовка членів екіпажу. Для цього лікар авіаційної компанії повинен: брати участь у формуванні стійкості організму пілотів до факторів польоту (проведення спеціальних фізичних вправ, навчання та тренування у використанні спеціального спорядження, барокамерні випробування, вестибулярні випробування, активний відпочинок, інші заходи, які підвищують стійкість до прискорень, кисневої недостатності, заколихування, виникнення ілюзій у польоті тощо); проведенні спеціальних тренувань щодо дій в особливих випадках польоту (це тренування у кабінах літаків і на тренажерах, а також у польоті на літаках) для вивчення індивідуальних психофізіологічних особливостей авіаційного персоналу (це реєстрація певних фізіологічних функцій: пульсу, дихання, — спостереження за поведінкою); визначенні раціональних норм льотного навантаження у процесі освоєння нових типів літаків із урахуванням індивідуальних психофізіологічних особливостей авіаційного персоналу, реакції організму на виконання складних видів польоту, рівня психофізіологічних можливостей; навчати авіаційний персонал вимогам авіаційної психології, фізіології та гігієни, спрямованих на збереження здоров'я та працездатності; проводити психофізіологічні та психогігієнічні заходи, спрямовані на зниження емоційної напруги у польоті, відновлення працездатності після польотів і запобігання стомленню (це навчання методам самонагляду, самоконтролю, самопідготовки, а також методу ауто-тренінгу тощо) [2]. Тобто, перед лікарем авіакомпанії постає завдання комплексної оцінки психофізіологічного стану льотного складу, а особливо процесу прогнозування психофізіологічного стану під час дії екстремальних факторів.

Прогнозування психофізіологічного стану має два аспекти: фізіологічну складову та складову психіки. Якщо оцінювання фізіологічних показників успішно проводяться медичними працівниками, то складова психіки оцінюється лише якісно і в статичному режимі. Використання тестів, за допомогою яких сьогодні проводиться оцінювання психіч-

ного стану пілотів, має суб'єктивний характер та неможливість контролю чесних відповідей. Тому існує необхідність кількісної оцінки психічної складової, а також у прогнозуванні психофізіологічного стану льотного складу. Також проблематичним питанням є введення нових методів та засобів для оцінювання психофізіологічного стану, оскільки перелік процедур для медичної сертифікації є законодавчо затвердженим переліком. А зазвичай пілоти проти проведення додаткових обстежень. Тому необхідно виконувати оцінювання та прогнозування психофізіологічного стану пілотів у рамках вже проведених процедур. У цій роботі запропоновано виконувати оцінювання з використанням обстеження, яке є обов'язковим для льотного складу, а саме, електроенцефалографії.

Для пілотів, як операторів екстремальних видів діяльності, суттєвим є їх психофізіологічний стан, який відображається на електроенцефалограмі. Доцільно досліджувати стан пілотів за нормальної робочої обстановки і екстремальних обставин та їх співвідношення. Найбільш ефективним для вирішення такого завдання є використання α -ритмів, рівень сигналу яких більше ніж на півпорядку перевищує рівень сигналів інших біоритмів, отриманих за спокійного та збудженого станів [3]. Це дозволяє оцінити не диференціальні показники, такі як амплітудно-частотний спектр, а інтегральний показник, який оцінює позитивну зміну енергії α -ритму, що відповідає мобілізації психофізіологічних ресурсів, а не просто зміну спектра сигналу [4].

Випадковий процес $x(t)$, яким є сигнал, що відповідає α -ритму, характеризується спектральною щільністю

$$S_x(\omega) = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{D_x(\omega, \omega + \Delta\omega)}{\Delta\omega}. \quad (1)$$

Ця функція називається спектральною щільністю реалізації. Якщо припустити, що випадковий процес є напругою або струмом, то чисельник виразу (1) можна розглядати як потужність, що виділяється на опорі 1 Ом. Тому $S_x(\omega)$ ще називають спектральною щільністю потужності. Взв'язавши до уваги, що в чисельнику (1) одиниця фізичної величини — Вт, а в знаменнику — Гц, то $S_x(\omega)$ має розмірність Вт·с, що відповідає енергії сигналу. Саме цей параметр випадкового процесу може характеризувати психофізіологічну енергоздатність пілотів до прийняття і реалізації рішень за екстремальних умов.

Спектральна щільність випадкового процесу може бути визначена за допомогою теореми Вінера-Хінчина як перетворення Фур'є від кореляційної

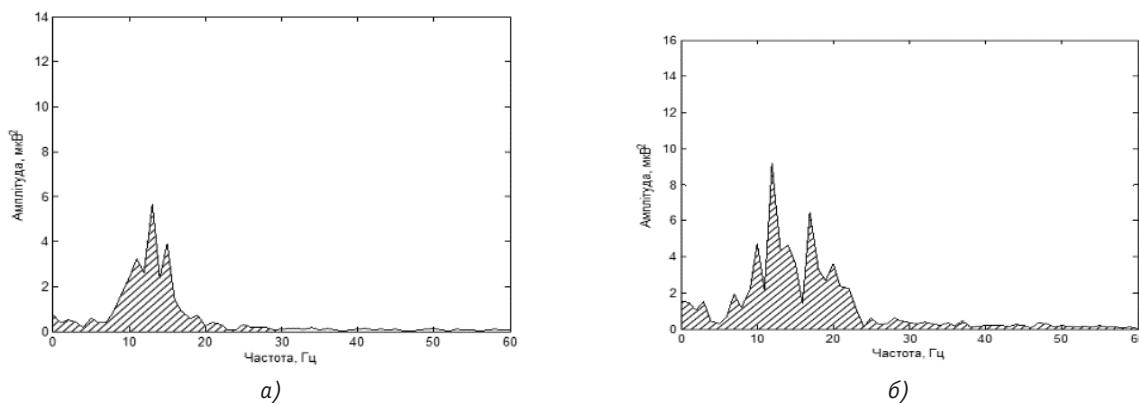


Рис. 1. Спектральна щільність α -ритму біосигналу: а) у стані спокою; б) у стані збудження
 Fig. 1. The spectral density of alpha rhythm biosignals: a) at rest; b) in a state of excitement

функції

$$S_x(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} R_x(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau. \quad (2)$$

Отже, повній енергії стаціонарного (квазістаціонарного) випадкового процесу відповідає площа під кривою спектральної щільності [5].

На рис.1 наведено приклади спектральної щільності потужності сигналу електроенцефалограми оператора за один цикл дослідження/випробування. Між графіками а і б існує суттєва відмінність між площами під кривими спектральної щільності потужності. Більш того, на наведеному рисунку спектральна щільність потужності, а тим самим і енергетика оператора у збудженому стані більша, ніж у заспокійливому. Це відповідає здібності пілота мобілізувати свої психофізіологічні можливості в екстремальній ситуації, що дозволяє більш ефективно виконувати свої функціональні (професійні) обов'язки. Здібність пілота до мобілізації та підтримки фізіологічного потенціалу за екстремальної ситуації оцінюється за допомогою відносного показника — коефіцієнта енергетичної стійкості $\theta = P_{сп} / P_{зб}$, що відповідає відношенню повних енергій сигналів α -ритму, отриманих за спокійного (фонового) стану і за збудження, який дає можливість виконувати кількісну інтегральну оцінку психофізіологічного стану льотно-го складу для роботи за екстремальних умов [6].

Як коефіцієнт професійної придатності пілота до виконання професійних обов'язків запропоновано використовувати співвідношення $\eta = 1 - \theta$, яке наблизиться до нуля, чим менше пілот придатний для роботи за екстремальних умов. При цьому професійна придатність льотно-го складу залежить не від його вихідного психофізіологічного стану, а від можливості мобілізувати енергетичні ресурси за виникнення екстремальної ситуації. Коли $\eta = 0$, це означає, що енергетика пілота не змінюється за екстремальної ситуації й він не зможе вчасно відреагувати на фактори стресу.

На рис. 2 представлено сукупність реалізацій спектральної потужності, розсіювання яких можна пояснити двома причинами: внутрішніми випадковими факторами функціонування складного організму людини і впливом стресової (нештатної) ситуації. Для виявлення та оцінювання впливу внутрішніх факторів необхідно провести декілька послідовних циклів дослідження, які складаються з фаз спокійного і збудженого станів пілотів, а потім провести статистичне опрацювання обчисленої сукупності коефіцієнтів професійної придатності. Для оцінювання професійної придатності пілота необхідно створити «відносну шкалу». Для цього залучаються пілоти, які мають багаторічний позитивний досвід професійної діяльності, включаючи й нештатні (екстремальні) ситуації. Застосування статистичного апарату *ANOVA* дозволяє виділити складову, зумовлену зміною психофізіологічного стану та провести за запропонованим критерієм об'єктивне оцінювання професійної придатності пілотів.

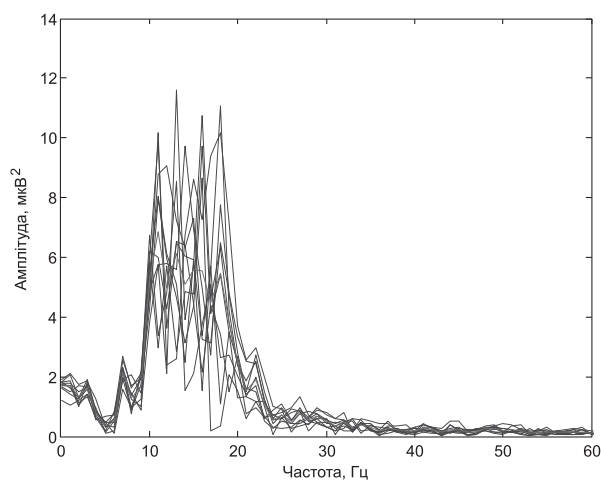


Рис. 2. Сукупність реалізацій спектральної потужності сигналу α -ритму
 Fig. 2. A set of implementations spectral signal alpha rhythm

ВИСНОВКИ

Запропонований підхід надає можливість кількісної оцінки психофізіологічного стану пілотів. Підхід засновано на визначенні коефіцієнта енергетичної стійкості, який надає можливість кількісно оцінити стан пілота за екстремальних умов під час вико-

нання професійної діяльності. Такий підхід, разом з використанням методу ANOVA, дозволяє об'єктивно оцінити зміну психофізіологічного стану льотного складу за дії екстремальних факторів та можливість прогнозування прийняття адекватних рішень під час дії стресових факторів [7].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 05.03.2009 № 273-р щодо державної цільової програми безпеки польотів на період до 2015 року (Rozporuyadzhennya Kabinetu Ministriv Ukrayiny` vid 05.03.2009 № 273-r shhodo derzhavnoyi cil`ovoyi programy` bezpeky` pol`otiv na period do 2015 roku).
2. Наказ від 05.12.2005 № 920 Про затвердження Правил медичного забезпечення і контролю польотів цивільної авіації України (Nakaz vid 05.12.2005 № 920 Pro zatverdzhennya Pravy`l medy`chnogo zabezpechennya i kontrolyu pol`otiv sy`vil`noyi aviaciyi Ukrayiny`).
3. Володарський Є.Т. Статистичне оцінювання професійної придатності операторів екстремальних видів діяльності / Є.Т. Володарський, О.В.Булигіна// Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. ВНТУ-2012 (Volodars`ky`j Ye.T. Staty`sty`chne oscinyuvannya profesijnoyi pry`datnosti operatoriv ekstremal`ny`x vy`div diyal`nosti / Ye.T. Volodars`ky`j, O.V.Buly`gina// Informacijni tehnologiyi ta komp`yuterna inzheneriya. VNTU-2012). — №3(25). — С/С. 71—78. — ISSN 1999-9941.
4. Булигіна О.В. Методика експериментальних досліджень щодо оцінювання професійної придатності операторів транспортних засобів, Автошляховик України. Вісник Центрального наукового центру Транспортної академії України (Buly`gina O.V. Metody`ka ekspery`mental`ny`x doslidzhen` shhodo oscinyuvannya profesijnoyi pry`datnosti operatoriv transportny`x zasobiv, Avtoshlyahovy`k Ukrayiny`. Visny`k Central`nogo naukovogo centru Transportnoyi akademiyi Ukrayiny`). — 2015. — № 1—2. — С/С. 9—11.
5. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С. И Баскаков// — 3-е изд. — М.: «Высшая школа» (Baskakov S.I. Radiotekhnicheskie tsepi i signaly / S. I Baskakov// — 3-e izd. — М.: «Vysshaya shkola»), 2000. — 462 с/с. — ISBN 5-06-003843-2.
6. Авторське свідоцтво № 52712 Україна, Розрахунок інформативних параметрів електроенцефалограми для оцінювання психофізіологічного стану операторів / Булигіна О.В., Кузовик В.Д., Гордеев А.Д.; заявник Національний авіаційний університет — № 52986 заявл. 22.10.2013; опубл. 20.12.2013 р. (Avtors`ke svidocztvo № 52712 Ukrayina, Rozrahunok informatyvny`x parametriv elektroencefalogramy` dlya oscinyuvannya psy`hofiziologichnogo stanu operatoriv / Buly`gina O.V., Kuzovy`k V.D., Gordyeyev A.D.; zayavny`k Nacional`ny`j aviacijny`j univ`ersy`tet — № 52986 zayavl. 22.10.2013; opubl. 20.12.2013 r.).
7. Freund John E., Walpole Ronald E.: Mathematical Statistics 4th Ed. Prentice-Hall, Inc., NJ 1987. 📄

Отримано / received: 04.03.2017.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Л.О. Кошевою (Україна).
Prof. L.O. Kosheva, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.

УДК 620.179.14

ПОБУДОВА АВТОМАТИЗОВАНИХ ПРИСТРОЇВ БЕЗКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЮ ДІАМЕТРА КАЛІБРОВАНИХ НЕМАГНІТНИХ ПРУТКІВ

М. Сіренко, кандидат технічних наук, професор кафедри приладів і методів неруйнівного контролю,
Б. Горкунов, доктор технічних наук, професор кафедри інформаційно-вимірвальних технологій та систем,
С. Львов, кандидат технічних наук, доцент кафедри,
Аббасі Жаббар, аспірант,
 Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Розглянуто теоретичні аспекти методу та побудови алгоритму функціонування автоматизованих пристроїв безконтактного контролю діаметра каліброваних немагнітних прутків. Розроблено методуку та проведено розрахунки основних параметрів сигналів вихорострумове трансформаторного перетворювача з контрольованими прутками заданого діапазону зміни їх діаметрів. Запропоновано функціональні схеми автоматизованих пристроїв для розбракування прутків. Застосування розробленого пристрою контролю з диференціальним вихорострумівим трансформаторним перетворювачем дозволяє підвищити точність контролю.

Production of billets and long products in the modern steel production facilities requires continuous monitoring of the organization of quality products. The main controllable parameters in this case are the geometrical dimensions of products. Important requirement for such control are non-contact measurement,

their automation, the ability of measurements of parameters of moving products on a given number of sections along its length in real time. Accordingly, the essential requirements for sensors and control devices are presented, such as high sensitivity to the measured parameter, specified the level of measurement accuracy, high reliability, protection from the effects of external factors on the measurement results, the presence of alarm devices for defective products. Eddy current transformer converters for quality control of long products meet the above requirements. The actual problem of monitoring the quality of calibrated non-magnetic stainless steel rods in terms of production is the development of automatic devices for contactless measurement of their diameter. As a result of the research the algorithm of work and functional circuit of automated devices, which are designed for contactless electromagnetic control of diameter of standard nonmagnetic rods and sorting developed. The methodology for calculating the expected signal converter with controlled rods predetermined diameter range offered.

Ключові слова: вихорострумівий трансформаторний перетворювач, екстремум функції перетворення, калібрований немагнітний прутко, автоматизований пристрій безконтактного контролю.

Keywords: eddy current transformer converter, extremum of conversion function, a non-magnetic calibrated rod, automated device for contactless control.

Виробництво заготовки і сортового прокату на сучасних металургійних підприємствах потребує організації безперервного контролю якості продукції. Основні контрольовані параметри при цьому — геометричні розміри виробів [1]. Важливими вимогами для такого контролю є безконтактність вимірювань, їх автоматизація, можливість вимірювань параметрів рухомого виробу на заданій кількості ділянок уздовж його довжини у реальному вимірі часу. Відповідно, до датчиків та пристроїв контролю також пред'являються суттєві вимоги, такі як висока чутливість до вимірюваного параметра, заданий рівень точності вимірювань, висока надійність, захист від впливу зовнішніх факторів на результати вимірювань, наявність пристроїв сигналізації щодо

бракованої продукції. Таким вимогам за контролю якості сортового прокату насамперед відповідають вихороструміві трансформаторні перетворювачі (ВТП) [1—5].

Актуальною задачею поточного контролю якості каліброваних прутків з немагнітних конструкційних нержавіючих сталей за умов виробництва є розроблення автоматичних пристроїв для безконтактних вимірювань їх діаметра d . Цей геометричний параметр виробу не повинен перевищувати граничних відхилень межі його розміру Δd (з урахуванням знаку) згідно з вимогами відповідного стандарту [6]. Тому ця межа розміру одночасно є й межею між стандартним і бракованим виробом, тобто критерієм для розбракування.

Як теоретично показано у роботах [7, 8], це завдання можна вирішити за умови здійснення електромагнітного контролю прутків із застосуванням ВТП прохідного типу. В роботі [8] запропоновано спосіб одночасного контролю діаметра та електропровідності немагнітних прутків на основі пошуку екстремуму функції перетворення ВТП з об'єктом контролю. Тому далі необхідно розробити пристрої для автоматизації промислового контролю якості таких виробів.

Мета статті — розроблення алгоритму роботи та функціональних схем автоматизованих вимірювальних пристроїв, призначених для безконтактного електромагнітного контролю діаметра стандартних каліброваних прутків із немагнітних металів та їх розбракування.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Результати досліджень [8] дозволяють реалізувати контроль якості каліброваних немагнітних прутків із застосуванням ВТП, оскільки значення його вихідного сигналу залежить від діаметра прутка, електропровідності та частоти збудження ВТП. Отже контроль може бути реалізований безпосередньо за граничними відхиленнями значень вихідного сигналу ВТП за умови, що електропровідність σ матеріалу прутків є незмінною (щонайменше для однієї плавки металу) і відповідає заданому стандарту значенню за визначеної температури (зазвичай за 20 °C після охолодження заготовки чи сортового прокату). Тому спочатку розглянемо теоретичні аспекти вихорострумовевого способу контролю, які обумовлюють принцип дії відповідних вимірювальних пристроїв.

АЛГОРИТМ РОБОТИ ПРИСТРОЮ

В алгоритмі роботи пристрою можна виділити 3 етапи: встановлення робочого режиму ВТП з об'єктом контролю, вимірювання його сигналів і прийняття рішення (розбракування виробів).

Установлення робочого режиму ВТП передбачає збудження електромагнітного поля із заданим значенням його напруженості H і частоти f_0 .

Попереднє визначення і подальше встановлення цієї частоти пов'язано з пошуком екстремуму функції перетворення ВТП з немагнітним прутком. У статті [8] показано, що екстремуму цієї функції відповідає лише одне значення узагальненого параметра $x_0 = 1,6175$ незалежно від діаметра d прутка та електропровідності σ його матеріалу. З іншого боку, екстремум цієї функції досягається також за одного значення частоти f_0 електромагнітного

поля ВТП з прутком [8]. За заданих стандартом [1] значень діаметра d та питомої електропровідності σ каліброваного прутка можна розрахувати значення частоти f_0 , яка відповідає екстремуму функції перетворення ВТП з немагнітним прутком за значення узагальненого параметра $x_0 = 1,6175$ за формулою [8]:

$$f_0 = 2x_0^2 / \pi d^2 \mu_0 \sigma, \quad (1)$$

де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (Гн/м) — магнітна константа.

Максимальне значення напруженості H електромагнітного поля ВТП залежить від максимального значення сили струму I_n у намагнічувальній (первинній) обмотці ВТП і обчислюється як

$$H = I_n W_n / l_n, \quad (2)$$

де W_n — число витків намагнічувальної обмотки ВТП; l_n — довжина намагнічувальної обмотки ВТП.

Якщо значення напруженості H задано, то для ВТП з конкретними значеннями параметрів його намагнічувальної обмотки (W_n та l_n) розрахувати максимальне значення намагнічувального струму I_n можна за формулою:

$$I_n = H l_n / W_n. \quad (3)$$

На етапі вимірювання пристрій повинен здійснити вимірювання сигналів ВТП. Потрібно врахувати, що значення напруженості H поля ВТП впливає на рівень його вихідного сигналу, яким є електро-рушійна сила (ЕРС) E на затискачах вимірювальної (вторинної) обмотки ВТП. Для порожнього ВТП (без виробу) значення цієї ЕРС складає [1—5]:

$$E_0 = 1,11 f_0 W_b \pi d_b^2 \mu_0 H, \quad (4)$$

де W_b — число витків вимірювальної обмотки ВТП; d_b — діаметр вимірювальної обмотки ВТП.

Очікуване значення ЕРС E для цього ж датчика з контрольованим прутком можна визначити із рівняння

$$E = E_0 N d^2 / d_b^2, \quad (5)$$

де N — питомий, нормований, внесений виробом магнітний потік у ВТП, причому, як відомо з роботи [8], для значення узагальненого параметра $x_0 = 1,6175$, значення параметра $N = 0,2983556$.

Для здійснення операцій розбракування за величиною зовнішнього діаметра контрольованих виробів потрібно попередньо визначити очікувані значення сигналів ВТП з дослідним прутком, діаметр якого має максимально допустиме стандартом [1] значення граничного відхилення межі цього розміру Δd . У цьому випадку значення діаметра виробу складає ($d + \Delta d$, з урахуванням знаку), а значення питомої електропровідності залишається незмінним. Параметри електромагнітного поля ВТП (H і f_0) та сигнал порожнього ВТП (E_0) залишаються незмінними під час контролю. Оскільки змінилося значення

діаметра контрольованого прутка, то і відбулася зміна значення параметра x_0 на значення x_i , яке розраховується тепер за формулою

$$x_i = ((d + \Delta d) / 2) \sqrt{2\pi\mu_0\sigma f_0}. \quad (6)$$

Після цього, скориставшись даними довідника [9] або відповідним програмним забезпеченням, можна визначити і нове значення питомого магнітного потоку N_i .

Тоді для обраного граничного значення діаметра $(d + \Delta d)$ контрольованого виробу і визначеного параметра N_i можна розрахувати очікуване значення ЕРС E датчика з таким прутком:

$$E = E_0 N_i (d + \Delta d)^2 / d_0^2. \quad (7)$$

Отже, оскільки відомий із нормативних документів, допустимий діапазон зміни значень діаметрів $(d + \Delta d)$ прутків за незмінного значення електропровідності σ , то можна визначити діапазон зміни сигналу (ЕРС E) цього датчика.

ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРИСТРОЮ

Для побудови автоматизованого пристрою на основі ВТП, який реалізує зазначений спосіб контролю, потрібні генератор синусоїдальних сигналів, калібратори змінних напруг, компаратор напруги, пристрої реєстрації вимірювальної інформації та сигналізації стосовно бракованої продукції. На рис. 1 наведено функціональну схему автоматизованого пристрою.

За визначеного номінального значення діаметра d контрольованого каліброваного прутка за наведеним вище алгоритмом попередньо потрібно розрахувати значення частоти f_0 та сили намагнічувального струму I_H , а потім гранично допустимі значення ЕРС — мінімальне (E_{\min}) і максимальне (E_{\max}) її значення.

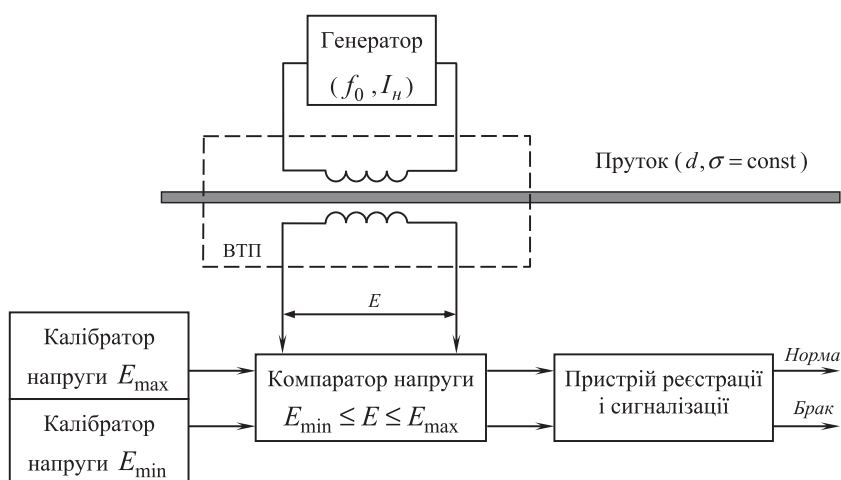


Рис. 1. Функціональна схема автоматизованого пристрою контролю діаметра каліброваних прутків

Fig. 1. Functional scheme of automated devices to control the diameter of the calibrated rod

Генератор повинен підтримувати вибране значення I_H струму синусоїдальної форми однієї частоти f_0 , який протікає за витками первинної (намагнічувальної) обмотки ВТП та створює у його порожнині змінне електромагнітне поле напруженості H з частотою f_0 . За проходження всередині порожнини ВТП каліброваного прутка на затискачах його вторинної (вимірювальної) обмотки з'являється напруга E (рис. 1), яка подається на перший вхід компаратора напруги. На другий його вхід подаються калібровані напруги мінімально допустимого (E_{\min}) та максимального допустимого (E_{\max}) значень, які задаються за допомогою калібраторів цих напруг. Результат порівняння цих сигналів ($E_{\min} \leq E \leq E_{\max}$) фіксується пристроєм реєстрації та сигналізації у виді, який є зручним для оператора та для подальшого управління пристроєм розбракування прутків. Цей пристрій також може виробляти звукові та світлові сигнали стосовно наявності бракованої продукції, яка не відповідає вимогам стандарту за допустимими граничними відхиленнями значень діаметра каліброваних прутків.

Важливою особливістю такого пристрою є можливість контролю розміру діаметра немагнітних каліброваних прутків у процесі їх руху, причому на кожній ділянці прутка. Тобто у такий спосіб здійснюється 100 % контроль якості за цим параметром. Для проведення динамічних вимірювань швидкодія автоматизованого пристрою повинна перевищувати швидкість протягування прутка через ВТП.

Для підвищення чутливості й точності вимірювань потрібно застосувати метод порівняння, зокрема, один із його різновидів — диференційний метод вимірювань.

ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ ДІАМЕТРА ПРУТКІВ

Суть диференційного методу вимірювань полягає у тому, що це метод вимірювань, в якому невелика різниця між вимірюваною величиною і вихідною величиною міри вимірюється відповідним приладом [10].

Тому для підвищення чутливості й точності вимірювань діаметра прутків застосовується диференційна схема на основі використання двох ідентичних ВТП і з'єднання їх вторинних обмоток послідовно-зв'язано

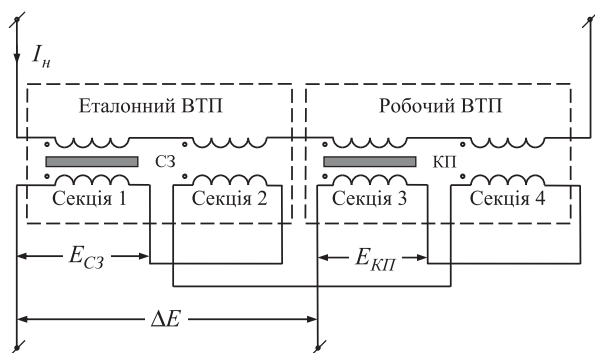


Рис. 2. Схема з'єднання обмоток еталонного і робочого перетворювачів
 Fig. 2. Scheme of the connection coils of the working and exemplary converters

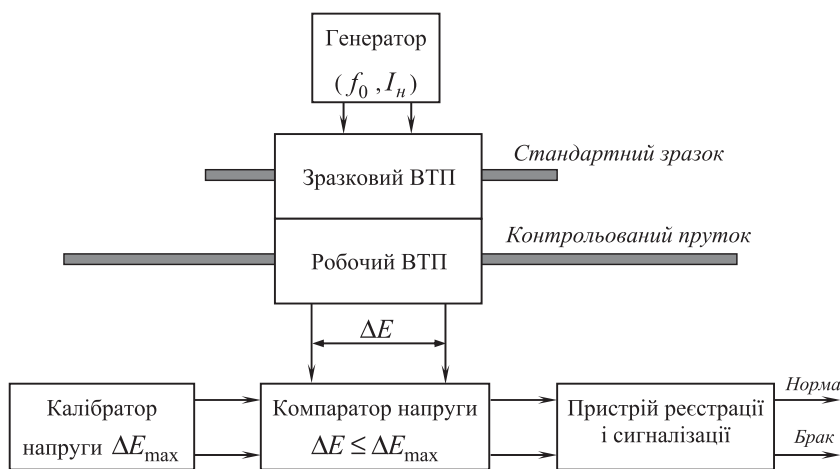


Рис. 3. Функціональна схема автоматизованого пристрою контролю з диференціальним перетворювачем
 Fig. 3. Functional scheme the automated control device with a differential converter

(рис. 2). Початок кожної секції обмоток має позначку «О».

ВТП використовується як міра і є еталонним, оскільки в порожнині його секції 1 міститься стандартний зразок (СЗ) каліброваного прутка з номінальним розміром діаметра d . На затискачах його вимірювальної обмотки наводиться ЕРС E_{C3} :

$$E_{C3} = E_0 N d_{C3}^2 / d_b^2, \quad (8)$$

де E_0 — ЕРС на затискачах секції 2 вимірювальної обмотки зразкового ВТП за заданої частоти f_0 та напруженості H поля; N — нормований параметр, який відповідає [8] значенню узагальненого параметра $x = 1,6175$ за екстремуму функції перетворення ВТП і дорівнює 0,29835563; d_{C3} і d_b — діаметри стандартного зразка та вимірювальної обмотки еталонного ВТП відповідно.

Другий ВТП — повністю аналогічний першому і вважається робочим, оскільки через порожнину його робочої секції 3 протягується контрольований пруткок (КП) з діаметром $d_{КП}$. На виході цього датчика наводиться ЕРС $E_{КП}$:

$$E_{КП} = E_0 N_x d_{КП}^2 / d_b^2, \quad (9)$$

де E_0 — ЕРС на затискачах секції 4 вимірювальної обмотки робочого ВТП за заданої частоти f_0 та напруженості H поля; N_x — нормований параметр, який відповідає значенню узагальненого параметра x , розрахованого за формулою (6) за відомого значення відхилення стандартного значення діаметра d прутка на поточний розмір Δd ; $d_{КП}$ і d_b — діаметри контрольованого прутка та вимірювальної обмотки робочого ВТП відповідно.

Вимірювальні обмотки обох ВТП з'єднані між собою послідовно-зустрічно, тому на кінцевих затискачах такого диференційного датчика створюється

ЕРС ΔE , яка дорівнює

$$\Delta E = E_{C3} - E_{КП}. \quad (10)$$

У разі, якщо стандартний та контрольований прутки мають однакові розміри діаметра, диференційний сигнал ΔE дорівнюватиме нулю.

Оскільки діаметр контрольованого прутка $d_{КП}$ може відрізнятися від діаметра стандартного зразка d_{C3} на поточний розмір Δd (з урахуванням знаку), його можна розраховувати, як

$$d_{КП} = d_{C3} - \Delta d. \quad (11)$$

Максимальне значення ЕРС ΔE_{max} визначається граничним відхиленням значення розміру

діаметра Δd , яке встановлено відповідним стандартом. Тоді, з урахуванням співвідношень (8) — (11), це значення можна обчислювати за формулою

$$\begin{aligned} \Delta E_{max} &= E_0 / d_b^2 (N d_{C3}^2 - N_x d_{КП}^2) = \\ &= E_0 / d_b^2 (N d_{C3}^2 - N_x (d_{C3} + \Delta d)^2). \end{aligned} \quad (12)$$

Розрахунок максимального значення ЕРС ΔE_{max} потрібний для визначення еталонного сигналу калібрувальника напруги, який разом із сигналом ΔE_{max} диференційного ВТП подається на компаратор напруги (рис. 3). У разі перевищення сигналом ВТП ΔE максимального значення ΔE_{max} спрацьовує сигналізація стосовно бракованої продукції.


ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень розроблено алгоритм роботи та функціональні схеми автоматизованих пристроїв, призначених для безконтактного електромагнітного контролю діаметра стандартних каліброваних прутків з немагнітних металів та їх розбракування. Запропоновано

методику розрахунку очікуваних сигналів ВТП з контрольованими прутками заданого діапазону зміни їх діаметрів. Застосування автомати-

зованого пристрою контролю з диференційним ВТП дозволяє підвищити чутливість і точність контролю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Неразрушающий контроль: Справочник. Т.2 / Под общ. ред. В.В. Ключева. — Москва: Машиностроение (Nondestructive testing: Directory. Vol.2 / Ed. V.V. Klyuev. — Moskva: Mashinostroenie), 2003. — 688 с/р.
2. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 3. Электромагнитный контроль: Практическое пособие / Под ред. В. В. Сухорукова. — Москва: Высшая школа (Nondestructive testing. Vol. 3. Electromagnetic Testing: A Practical Guide / Ed. V. V. Suhorukov. — Moskva: Vysshaya shkola), 1992. — 312 с/р.
3. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник / Под ред. Г.С. Самойловича. — Москва: Машиностроение (Non-destructive testing of metals and products. Directory / Ed. G.S.Samoylovich — Moskva: Mashinostroenie), 1976. — 456 с/р.
4. Неразрушающий контроль качества изделий электромагнитными методами / Герасимов В.Г., Останин Ю.Я., Покровский А.Д. [и др.] — Москва: Энергия (Non-destructive control of quality of products by electromagnetic methods / Gerasimov V.G., Ostanin Y.Y., Pokrovskiy A.D. [and others] — Moskva: Energiya), 1978. — 216 с/р.
5. Себко В.П. Исследование электромагнитного проходного преобразователя с цилиндрическим изделием / В.П. Себко, С.Б. Голоцван, В.М. Горкунов // Приборостроение. Известия ВУЗов (Sebko V.P. Research the electromagnetic transducer with cylindrical product / V.P. Sebko, S.B. Golotsvan, V.M. Gorkunov // Priborostroenie. Izvestiya VUZov) — 1988. — № 7. — С/Р. 53—59.
6. ГОСТ 7417-75. Сталь калиброванная круглая. Сортамент. — Москва: Стандартинформ (Standart USSR 7417-75. Calibrated round steel. Assortament. — Moskva: Standartinform), 2012. — 5 с/р.
7. Оптимизация работы электромагнитного преобразователя по частоте возбуждающего поля / Горкунов Б.М., Авраменко А.А., Львов С.Г. и др. // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит (Optimization of the electromagnetic transducer frequency power supply field / Gorkunov B.M., Avramenko A.A., Lvov S.G. [and others] // Energosberezhenie. Energetika. Energoaudit). — 2014. — Т. 2, — № 9 — (128). — С/Р. 120—124.
8. Сіренко М.М. Функція перетворення вихорострумовевого перетворювача з немагнітними виробами / М.М. Сіренко, Б.М. Горкунов, С.Г. Львов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. — Харків: НТУ «ХПІ» (Sirenko M.M. Conversion function of eddy current transducer with nonmagnetic products / M.M. Sirenko, B.M. Gorkunov, S.G. Lvov // Visnik NTU «KhPI». Seriya: Avtomatika ta priladobuduvannya. — Kharkiv: NTU "KhPI"), — 2016. — № 15 (1187). — С/Р. 45—48.
9. Справочник со специальными функциями с формулами, графиками и таблицами / Под ред. М. Абрамовиц и И. Стиган. — Москва: Наука (Directory of special functions with formulas, graphs and tables / Ed. M. Abramovits, I. Stigan. — Moskva: Nauka), 1979. — 832 с/р.
10. Основы метрологии и электрические измерения / Под ред. Душина Е.М. Ленинград: Энергоатомиздат (Fundamentals of metrology and electrical measurements / Ed. Dushin E.M. Leningrad: Energoatomizdat), — 1987. — 480 с/р. 

Отримано / received: 22.02.2017.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Ю.Ф. Павленком (Україна).
Prof. Yu.F. Pavlenko, D. Sc. (Tech.), Ukraine, recommended this article to be published.

УДК 656.61.052

ВПЛИВ ТЕЧІЇ НА БЕЗПЕКУ СУДНА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗА ЗДІЙСНЕННЯ ДИНАМІЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ

Р. Габрук, кандидат технічних наук, докторант,
Національний університет «Одеська морська академія».

Сформовано математичну модель впливу течії на судно забезпечення під час динамічного позиціонування. Математичну модель програмним чином реалізовано в середовищі програмування MATLAB. Представлено результати моделювання.

The mathematical model of current disturbance on supply vessel during dynamic positioning was formed in the article. The mathematical model was implemented programmatically in the programming environment MATLAB. The simulation results were introduced.

Ключові слова: судно забезпечення, безпека мореплавства, системи динамічного позиціонування, течія, математична модель.
Keywords: supply vessel, safety of navigation, dynamic positioning systems, current, mathematical model.

Освоєння нових родовищ вуглеводнів, розташованих на шельфі, зумовлює необхідність використання систем динамічного позиціонування (СДП). У технологічному процесі освоєння ресурсів шельфу беруть участь багато рухомих об'єктів водного транспорту (РОВТ). Одним із найпоширеніших типів РОВТ є судно забезпечення (СЗ). Регістр судноплавства України визначає судно забезпечення як судно, призначене для доставки запасів, матеріалів та обладнання до морських споруд [1]. За проведення додаткових, узгоджених із класифікаційним товариством досліджень конструктивних модифікацій сфера застосування СЗ може бути істотно поширена. Для розроблення ресурсів шельфу Чорного та Азовського морів, які не виділяються великими глибинами, саме СЗ є найбільш перспективним об'єктом керування СДП.

СЗ під час виконання ним динамічного позиціонування (ДП) у локально обмеженому просторі проведення технологічної роботи з постачання збудує чинники навколишнього середовища: вітер, хвилювання і течію. Зважаючи на властивості плинності, вони представляють різні моделі рідини.

Суттєвий вплив на СЗ відбувається з боку течії. Швидкість і напрямок течії в локально обмеженому просторі виконання технологічної роботи зумовлюють курс СЗ під час ДП. Саме зміни напрямку і швидкості течії є головними факторами, що впливають на безпеку ДП, а резервом безпеки в такому випадку можна назвати запас керованих реакцій рушійного комплексу РОВТ. Операторам СДП для забезпечення стандартів безпеки мореплавства, які впроваджує Міжнародна морська організація та Регістр судноплавства України [1, 2], необхідно знати вектор силового збурення течії.

Мета статті — побудова математичної моделі визначення впливу течії на конкретний тип суден — СЗ за виконання ДП у локально обмеженому просторі виконання роботи з постачання. А також реалізація алгоритмів у програмному середовищі MATLAB для представлення наочної інформації щодо сил збурення СЗ з метою



© Габрук Р., 2017

підвищення рівня знань операторів СДП у процесі вирішення питань безпеки ДП РОВТ.

ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Течія є переміщенням часток середовища з постійною середньою швидкістю потоку. Вертикальні переміщення часток води з одного шару до іншого не мають визначального значення. У зв'язаній системі координат гідродинамічні сили і момент, викликані дією течії, визначаються у такий спосіб [2]:

$$\begin{cases} R_{ГХ} = C_x^r \frac{\rho_B}{2} F_{\sigma} V_T^2, \\ R_{ГУ} = C_y^r \frac{\rho_B}{2} F_{\sigma} V_T^2, \\ M_{ГХОУ} = C_{МХОУ}^r \frac{\rho_B}{2} F_{\sigma} L_{ТУ} V_T^2, \end{cases} \quad (1)$$

де C_x^r , C_y^r , $C_{МХОУ}^r$ — безрозмірні гідродинамічні коефіцієнти; ρ_B — масова щільність води, $\text{кг} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$; F_{σ} — приведена площа зануреної частини СЗ, м^2 ; V_T — відносна швидкість течії, отримувана шляхом геометричного складання векторів швидкості істинної течії й руху корпусу СЗ, $\text{м}/\text{с}$.

Єдиний практично застосовний шлях розв'язання системи полягає у розрахунку останніх на базі апроксимації результатів випробувань серії моделей.

Під час виконання роботи з постачання СДП СЗ функціонує у режимі стабілізації на точці. Тобто, величини переміщення СЗ та його швидкості є малими величинами. Характерною особливістю виконання ДП — це те, що кути можливого дрейфу СЗ становлять 360 градусів. Саме ця особливість зумовлює використання методики Н.І. Анісімової. Результати, отримані Н.І. Анісімовою [3—6], дозволяють розраховувати гідродинамічні характеристики РОВТ за будь-яких значень кута дрейфу:

$$\begin{cases} C_x^r = -0,75 \sin \left(\left(\pi - \arcsin \left(\frac{C_{x0}}{0,075} \right) \right) \cdot \left(1 - \left(\frac{\beta}{\varphi_x} \right) \right) \right), \\ C_y^r = \frac{1}{2} C_{y\beta}^B \sin(2\beta) \cos(\beta) + c_2 \sin^2(\beta) + c_3 \sin^4(2\beta), \\ C_{МХОУ}^r = m_1 \sin(2\beta) + m_2 \sin(\beta) + m_3 \sin^3(2\beta) + m_4 \sin^4(2\beta). \end{cases} \quad (2)$$

β — кут дрейфу ($\beta = 0$ відповідає руху вперед під час ДП). У формулу (2) кут дрейфу підставляється в градусах. Кут φ_x визначається за спеціальною номограмою, залежить від приведенного коефіцієнта повноти зануреної частини діаметральної площини корпусу СЗ σ і також підставляється в градусах. Коефіцієнт опору води за нульового кута дрейфу C_{x0} можна прийняти рівним 0,015. Коефіцієнти $C_{y\beta}^B$, c_2 , c_3 , m_1 , m_2 , m_3 , m_4 визначаються за допомогою спеціальних номограм.

Приведена площа зануреної частини діаметральної площини СЗ розраховується за формулою:

$$F_{\sigma} = L T_m \sigma \quad (3)$$

де L — найбільша довжина СЗ, м ; T_m — осадка на міделі, м ; σ — приведений коефіцієнт повноти зануреної частини діаметральної площини СЗ:

$$\sigma = 1 - \frac{3}{20-i} \cdot \frac{F_{\mu}}{L T_m} + \frac{0,054 L}{T_m} (\psi_1 + \psi_2), \quad (4)$$

де i — номер теоретичного кормового шпангоута, пограничного між шпангоутами U -подібної і V -подібної форм; F_{μ} — площа, що доповнює контур кормової частини діаметральної площини РОВТ до прямокутника, м^2 ; ψ_1 — тангенс статичного диференту; ψ_2 — тангенс ходового диференту.

По суті, шпангоут з номером i характеризує точку за довжиною СЗ, в якій кормовий дейдвуд зливається з корпусом. У разі, якщо СЗ не має дейдвуда і U -подібна форма шпангоута зберігається уздовж усього кормового краю, під шпангоутом i слід розуміти перший, починаючи з корми, контур якого торкається основної площини. При цьому для розрахунків допускається, що номер шпангоута може бути як цілим, так і дробовим. Площа F_{μ} може бути визначена за бічною проекцією теоретичного креслення. Важливим є питання щодо включення до площі F_{μ} площі керма, гвинтової групи, поворотних насадок, азимутальних рушіїв. Якщо в розрахунку містяться параметри перекладання керма, кутів розвороту азимутальних рушіїв, то їх площі треба включати до площі F_{μ} , інакше — ні. Зважаючи на наведені вище особливості функціонування СДП за проведення роботи з постачання, можна прийняти $\psi_1 = \psi_2$.

Алгоритм розрахунку гідродинамічних сил і моменту, що збурюють СЗ під час ДП у зв'язаній системі координат в програмному середовищі *MATLAB*, представлено на рис. 1. Цей алгоритм є частиною комп'ютерної програми «ДП помічник» [7]. Програма представляє ієрархічно побудовані комплексні модулі, які дають можливість проводити комплексування з бортовою апаратурою, швидко налаштовувати роботу програми для конкретного РОВТ.

За необхідності, особливості гідрології акваторії проведення технологічної роботи можуть бути враховані методом суперпозиції сил впливу. Наприклад, моделювання звальних течій у річках, накладання на основну течію приливної течії (в сизигію або квадратуру з урахуванням повної та малої вод), дії постійних або періодичних течій біля гідротехнічних споруд. Значення гідродинамічних сил (у кгс) та моменту (в кгс·м) залежно від кута впливу течії, вираженого в градусах, наведено на рис. 2.

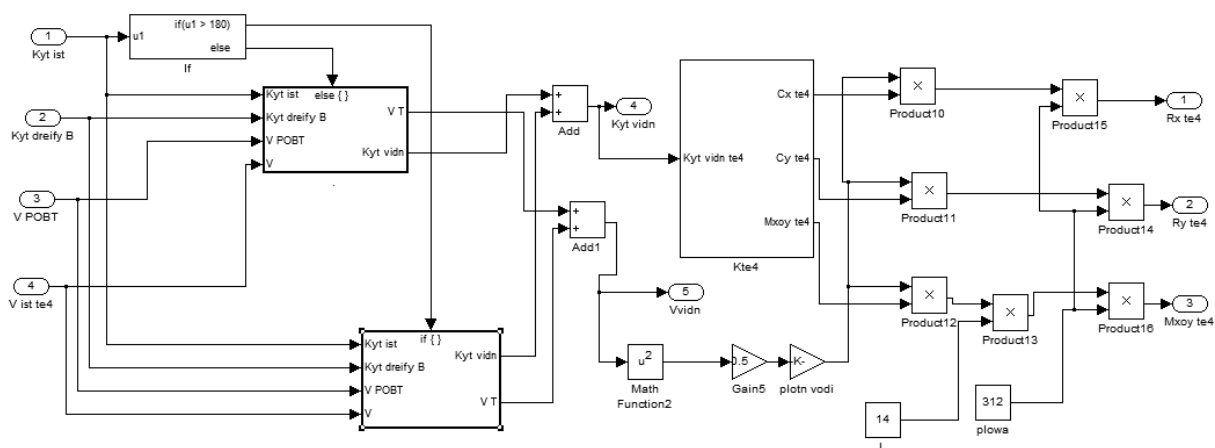


Рис. 1. Алгоритм розрахунку гідродинамічних сил та моменту
 Fig. 1. Algorithm hydrodynamic forces and moment

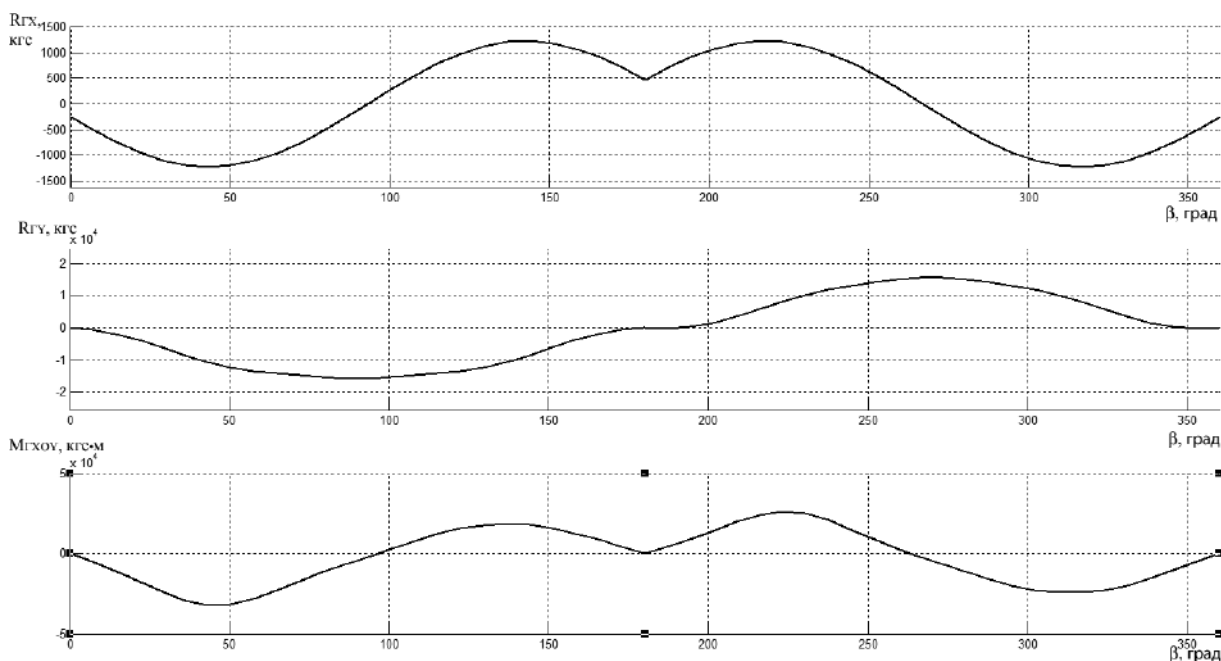


Рис. 2. Гідродинамічні сили та момент, що збурюють СЗ під час ДП
 Fig. 2. Hydrodynamic force and moment that divided the NW at SE

За математичного моделювання значення швидкості водного потоку прийнято рівним 1 м/с.

Як об'єкт моделювання взято СЗ проекту UT 733-2. СЗ цього проекту обладнано СДП першого класу (повна класифікація: ABS+A1, OFFSHORE SUPPORT VESSEL, TOWING VESSEL, DPS-1, FIRE FIGHTING CLASS 1, +AMS). Це СЗ призначено для перевезення вантажів, людей, здійснення буксирних операцій та операцій із заведення якорів. Порівняння результатів натурного експерименту та імітаційного моделювання в середовищі програмування MATLAB з використанням пакету Simulink [4] за алгебраїчними виразами для блоків відповідних моделей підтвердило адекватність роботи програми.

Практична оцінка безпеки виконується оператором СДП шляхом порівняння сил та моменту збу-

рень з наявним запасом керованих реакцій, ураховуючи особливості рушійного комплексу POBT. Потрібно підкреслити можливість наявності протиріччя у конфліктних вимогах щодо орієнтації POBT, які висуває виконання технологічної роботи. У такому випадку оператор СДП повинен забезпечити в першу чергу наявність запасу керувальних впливів (не менше 20%).

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВА ПОДАЛЬШОЇ РОБОТИ

Сформовано математичну модель, яка дозволяє у зв'язаній системі координат провести оцінку впливу течії на СЗ, що здійснює ДП за проведення технологічної роботи з постачання.

Практична цінність полягає в тому, що запропоновано комп'ютерну програму, яка допомагає провести кількісну оцінку впливу течії на РОВТ, обладнаного СДП будь-якого класу, а також оптимізувати процес динамічного позиціонування та зменшити витрати судновласника під час комерційної експлуатації.

Результати досліджень можуть бути використані в процесі розроблення рекомендацій і нормативних актів стосовно гарантування безпеки динамічного позиціонування згідно з міжнародними ви-

могами стандартів безпеки та системою управління безпекою судноплавства на морському і річковому транспорті [8]. Перспективою подальшої роботи можна назвати розроблення моделей впливу течії на інші класи РОВТ зі СДП, що можуть брати участь у розроблянні нафти і газу в акваторіях Чорного та Азовського морів. При цьому увагу треба приділяти не лише гідродинамічним особливостям корпусів нових об'єктів досліджень, а й особливостям функціонування СДП за проведення відповідних технологічних робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Загальні положення про діяльність при технічному нагляді. Правила класифікації та побудови суден. Частина I «Класифікація». Том 1 / Регістр судноплавства України. — Київ.: РСУ, 2014. — 205 с. (General provisions on the activities with technical supervision. Rules for classification and construction of vessels. Part I «Classification». Volume 1 / Shipping Register of Ukraine. — Kyiv.: RSU, 2014. — 205 p.)
2. Войткунский Я.И., Справочник по теории корабля: В 3 т. / Я.И. Войткунский, А.А. Русецкий, В.В. Луговский, Е.Б. Юдин. — Л.: Судостроение, 1985. — 1752 с. (Voitkunskyy Y.I. Hand book on shiptheory: In 3 v. / Y.I. Voitkunskyy, A.A. Rusetskiy, V.V. Luhovskyy, E.B. Yudin. — L.: Shipbuilding, 1985. — 1752 p.)
3. Анисимова Н.И. Позиционные гидродинамические характеристики судов на произвольных углах дрейфа. — Л.: Судостроение 1968. — № 5. — С. 13—17. (Anisimova N.I. Positional hydrodynamic characteristics of ships at random angles of drift. — L.: Shipbuilding 1968. — № 5. — p. 13—17.)
4. Термины, применяемые в морской индустрии. Русско-английский словарь-справочник. Том 1 «Флот/Российский Морской Регистр Судоходства». — С-Пб.: РМРС, 2010. — 78 стр. (The terms used in the marine industry. Russian-English dictionary catalog. Volume 1 «Fleet / Russian Maritime Register of Shipping». — Saint-Petersburg.: RMSR, 2010. — 78 p.)
5. Фосен Т.И. Моські системи керування. — Норвезький Університет Технологій та Науки. Трондхейм, Норвегія. 2002. — 528с. (Fossen Thor.I. Marine Control Systems. — Norwegian University of Science and Technology. Trondheim, Norway. 2002. — 528 p.)
6. Комп'ютерна програма «ДП Помічник»: А.с. 33461 Україна. / Р.А. Габрук — № 33461; Заявл. 29.03.2010; Опубл. 15.09.2010, Бюл. № 22. — 681 с. (Computer program «DP Assistant»: AS 33,461 Ukraine. / R.A. Gabruk — № 33461; Appl. 29.03.2010; Publ. 15.09.2010, Bull. № 22. — 681 p.)
7. Правила класифікації та побудови суден. Том 4 / Регістр судноплавства України. — Київ.: РСУ, 2014. — 656 с. (Rules for classification and construction vessels. Volume 4 / Shipping Register of Ukraine. — Kyiv.: SRU, 2014. — 656 p.)
8. Наказ № 904 МТУ від 20.11.2003. «Про затвердження Положення про систему управління безпекою судноплавства на морському і річковому транспорті». — Київ: Офіційний вісник України, 2004. — № 52 (09.01.2004) (частина 2). — С. 2844. (Order number 904 from 20.11.2003 MTU. «Approval of Regulations on safety management system of navigation for sea and river transport». — Kyiv, Ukraine Official Herald, 2004. — № 52 (09.01.2004) (Part 2). — p. 2844.)

Отримано / received: 04.07.2016.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Г.Л. Барановим (Україна).
Prof. G.L. Baranov, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.

УДК 543.271.08

ПОБУТОВІ ПРИЛАДИ КОНТРОЛЮ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ Й ОКИСУ ВУГЛЕЦЮ В НАВКОЛИШНЬОМУ ПОВІТРІ

В. Козубовський, доктор технічних наук, професор кафедри технології машинобудування,
І. Алякшев, інженер,
Ужгородський національний університет

Розглянуто питання безпеки побуту як наслідок аналізу складу навколишнього повітря на предмет наявності токсичних речовин і компонентів розкладу вуглецевих матеріалів у випадку виникнення пожежі. Підкреслено необхідність аналізу оксиду вуглецю (CO), який виникає на початкових стадіях розвитку пожежі й в результаті нестачі кисню (відсутності тяги) у приладах, які використовують горіння вуглецевого палива для опалення приміщень, нагрівання води, приготування їжі. Зроблено висновок, що для аналізу в побуті токсичного оксиду вуглецю найбільш прийнятні газоаналізатори CO з автономним живленням від батарейок і з використанням традиційного електрохімічного сенсора. На промислових пожежебезпечних об'єктах доцільно використовувати мультисенсорні пожежні сповіщувачі газові (димові) з можливим контролем температури. У побутових приміщеннях для контролю пожежі й загазованості CO мають бути найбільш затребувані комбіновані прилади – газоаналізатори CO з каналом пожежного сповіщувача газового (CO) і теплового. Його переваги: відносно дешевий; може встановлюватися у приміщеннях, де наявні пари води, аерозолі, пил (кухні, ванні кімнати, майстерні тощо); немає проблем з метрологічним забезпеченням вимірювань. Описано конструкцію по-

дібних приладів, їх схемні рішення. Прилади розроблено вітчизняними підприємствами.

The article deals with the safety domestic space through the analysis of ambient air for the presence of toxic substances and decomposition components of carbon materials in case of fire. The necessity of analyzing carbon oxide, which occurs in the early stages of the fire and as the resulting lack of oxygen (no draft) in devices that use combustion of carbon fuels for home heating, water heating, cooking. It is concluded that for analysis of toxic carbon monoxide in domestic premises the most appropriate are CO analyzers with battery supply and using conventional electrochemical sensor. For the industrial flammable buildings is advisable to use multisensor fire detectors, gas (smoke) with temperature control. In domestic premises to control the fire and CO gas concentration are the most popular combined devices - gas analyzers CO with fire detector channel CO and heat. Its advantages: relatively cheap, can be installed in areas where there is water vapor, aerosols, dust (kitchens, bathrooms, workrooms, etc.), there are no problems with the metrological support of measurements. We describe the design of these devices, fundamental schematic solutions. Instruments are developed by Ukrainian enterprises.

Ключові слова: сповіщувач, пожежа, газосигналізатор, мультисенсорний, газ, прилад.
Keywords: detector, fire, gas alarm, multisensory, gas, device.

Процеси горіння, окрім задоволення наших потреб у теплі, їжі, можливості швидкого і комфортного пересування, створюють велику кількість проблем. Це й пожежі, й забруднення нашого середовища проживання. Процес горіння, скажімо, вуглеводнів, за достатньої кількості кисню і високих температур, екологічно чистий — у результаті утворюється CO₂ і пари води. Однак на початкових стадіях горіння, коли температура горіння ще низька, утворюється оксид вуглецю (CO) (вуглець не окислюється до CO₂) і незгорілі частки вуглецю (дим). CO утворюється у значних кількостях також за нестачі O₂ (відсутності тяги). CO є отруйним газом — блокує перенесення кисню гемоглобіном в організмі, що зумовлює смерть від задухи. Гранично допустима концентрація (ГДК) робочої зони складає 30 ppm. Звичайно, ці проблеми



В. Козубовський



І. Алякшев

доводиться вирішувати. Для цього слугують газосигналізатори CO (EN 50291), пожежні сповіщувачі диму (EN 54-7) і CO (EN 54-26).

Останніми роками ці проблеми у нас стали ще більш актуальними. Так, у зв'язку з колосальним підвищенням комунальних тарифів на газ, відбувається масова відмова споживачів від газового опалення і перехід на альтернативні види палива. Причому цей перехід відбувається без дотримання правил техніки безпеки і пожежної безпеки. Якщо у випадку газового опалення дотримання правил безпеки контролювали постачальники газу — вимагали встановлення приладів контролю загазованості приміщень метаном і чадним газом, наявність тяги, вентиляції, то у випадку, скажімо, переходу на тверде паливо (дрова, вугілля, пелети тощо) немає ніяких вимог до споживачів, ніяких контролювальних організацій. Хоча у випадку твердого палива основна небезпека постає від чадного газу і можливості виникнення пожежі, а у випадку електроопалення — від виникнення пожежі внаслідок короткого замикання і загорання легкозаймистих речовин.

У розвинених країнах один із найбільш популярних побутових приладів — газосигналізатор чадного газу (CO), який продається у всіх супермаркетах за помірну ціну. В Україні, на жаль, через необхідність економії на всьому, економлять на власній безпеці, й прилади CO не встановлюють у приміщеннях, що опалюються. Не встановлюються також прилади пожежної безпеки — пожежні сповіщувачі. Розглянемо цю ситуацію з приладами CO вітчизняного виробництва, новими вітчизняними розробленнями.

1. ГАЗСИГНАЛІЗАТОРИ CO І СПОВІЩУВАЧІ ПОЖЕЖНІ ГАЗОВІ

На вітчизняному ринку представлено достатньо широку гамму газосигналізаторів CO (прилади Лелека-2, Варта-2, Страж, ГСБ-01 тощо). Це прилади на основі метал-оксидних (електрохімія поверхні) сенсорів TGS 3870 (Figaro, Japan), АЧЕ-16 (вітчизняне розроблення), які мають значне енергоспоживання, працюють на межі необхідної чутливості (ГДК робочої зони 0,003 % об.). Окрім того, це двокомпонентні сенсори (метан, CO), і відповідно є цикли вимірювання метану, CO, що збільшує час реагування, вартість сенсора.

Усі ці прилади живляться від мережі (в основному, 220 В), що створює проблеми з точки зору техніки безпеки і вимагає монтажу цих приладів спеціалізованими організаціями.

Пожежні сповіщувачі газові (CO) на ринку України відсутні.

На відміну від цієї ситуації в економічно розвинених країнах для аналізу CO використовують, в основному, прилади з автономним живленням — від звичайної батарейки. У цих приладах використовують електрохімічні сенсори, які фактично є джерелами струму і не вимагають живлення, але ціна електрохімічних сенсорів, унаслідок традиційного використання в них драгметалів, достатньо значна, і газосигналізатори CO на їх основі не підійомні за ціною для наших пересічних споживачів.

Порівняння параметрів електрохімічних і метал-оксидних сенсорів наведено в табл.1.

Як видно з табл. 1, електрохімічні реакції за використання електроліту дають можливість отримати більш прийнятні технічні характеристики датчиків. Однак експлуатаційні характеристики метал-оксидних датчиків дещо кращі — це напівпровідникові вироби і, як і всі подібні, мають великий термін зберігання і служби. Для електролітичних датчиків ситуація протилежна. Дійсно, датчики не працюють за високих температур і чутливі до вологи. Окрім того, за достатньо великих фонових концентрацій CO, постійно йде електрохімічна реакція і, природно, ресурс електроліту не безмежний.

Більш детально з параметрами сенсорів CO можна ознайомитися в роботах [1, 2].

Останнім часом багато фірм проводять дослідження з метою покращення експлуатаційних і комерційних характеристик класичних електрохімічних сенсорів: надійності (метрологічної надійності, терміну зберігання, напрацювання на відмову), здешевлення. Поява на ринку недорогих і надійних електрохімічних сенсорів спричинить перехід до використання приладів газової і пожежної безпеки з автономним живленням.

Таблиця 1. Порівняння основних технічних характеристик електрохімічних датчиків

Table 1. Comparison of the main technical characteristics of electrochemical sensors

Параметр	Принцип детектування	
	Електрохімія об'ємна	Електрохімія поверхні
Лінійність	Лінійний	Логарифмічний
Час відгуку і відновлення	Швидкий	Дуже швидкий
Селективність	Добра	Слаба
Вплив вологи	Не впливає	Незначно впливає
Механічна стійкість	Хороша	Хороша
Споживана потужність	Відсутня	Незначна (100–300 мВт)

Так вітчизняні організації (ПП «Аналізер», ПП «Артон») на основі цих сенсорів розробили ряд побутових приладів CO різного призначення.

1.1. Газосигналізатор побутовий ГСБ-01-3

1.1.1. Описання газосигналізатора

Газосигналізатор призначений для контролю мікроконцентрацій CO в приміщеннях, де встановлені котли, що працюють на твердому, рідкому і газовому паливі. Основна відмінність від попередньої моделі газосигналізатора, який використовував метал-оксидний сенсор TGS 2442 [3] і живився від мережі 220 В, — це автономне живлення від батареї, використання побутового електрохімічного сенсора Nap 508, який не вимагає живлення і сам є джерелом струму. Блок-схему приладу наведено на рис. 1. Сигнал із датчика через підсилювач надходить на вхід АЦП мікроконтролера. Використовується диференціальний вхід з програмованим коефіцієнтом підсилення, що дозволяє реєструвати як достатньо малі концентрації, так і великі. Використовується стандартний підсилювач згідно з рекомендаціями фірми *Nemoto* для батарейного живлення. Для перевірки справності датчика проводиться періодичне зміщення вхідного сигналу через схему контролю несправності (згідно з рекомендаціями фірми *Nemoto*). Мікроконтролер опрацьовує сигнал, у разі перевищення рівня порогу видає сигнал на світлову та звукову індикацію, у варіанті з підключенням до зовнішніх пристроїв включає реле. Живлення пристрою відбувається від однієї батареї напругою 3В типу Li-MnO₂ ємністю 1800 mAh або від двох стандартних лужних батарейок AA. Зважаючи на незначне споживання приладу, такої батареї достатньо для роботи у режимі детектування протягом 2,5—3 років.

Алгоритм опрацювання сигналу в ГСБ 01-3 за умови акумулятивного методу вимірювання (концентрація×час) наведено на рис. 2. У разі увімкнення приладу він перебуває в стані початкового прогрівання до його виходу на робочий режим. При цьому періодично спалахує зелений світлодіод. Після прогрівання прилад починає роботу в нормальному режимі. Вимірювання концентрації газу

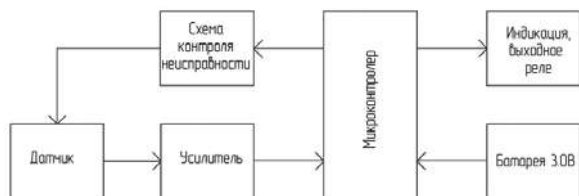


Рис.1. Блок-схема газосигналізатора ГСБ 01-3

Fig.1. Block diagram of gas alarm GSB 01-3

відбуваються щосекунди, після циклу вимірювання, що триває 5—7 мс, мікроконтролер переходить у режим глибокого сну, що дозволяє суттєво знизити енергоспоживання.

У циклі вимірювання проводиться зчитування даних з АЦП з підсиленням $1\times$ і $8\times$, залежно від рівня сигналу вибирається одне зі значень, що дозволяє нормально визначати як малі дози, так і достатньо великі.

Вимірені дані фільтруються, перераховуються у відсотки вмісту CO у повітрі, проводиться термокомпенсація. Оскільки обчислювальні ресурси мікроконтролера дуже обмежені, використовується простий IIR фільтр типу $y(n) = 0.875 \cdot y(n-1) + 0.125 \cdot x(n)$, який легко можна представити у цілочисельному виді як $y(n) = (7 \cdot y(n-1) + x(n))/8$.

Залежно від рівня CO збільшується значення лічильника дози, за досягнення лічильником значення однієї тисячі спрацьовує тривога. За швидкого наростання сигналу відбувається прискорений набір дози, що дозволяє зменшити інерційність датчика і вкластися в регламентовану норму під час перевірки приладу на концентраціях 100 і 300 ppm.

За зниження концентрації нижче 30 ppm відбувається зменшення значень даних лічильника (дози), а коли він досягне значення 8000 відключається візуальна сигналізація.

На рис. 3 зображено плату газосигналізатора ГСБ 01-3, закріплену в базі корпусу приладу.

1.1.2. Описання експериментальної установки для дослідження параметрів газосигналізаторів

Дослідження параметрів газосигналізаторів виконувалися за допомогою стенда для дослідження їх характеристик та установки для зволоження газових сумішей [4]. Стенд призначений для дослідження характеристик електрохімічних газосигналізаторів у режимі реального часу, проведення довготривалих досліджень та інших вимірювань. Контроль параметрів газосигналізаторів здійснювався стендом, і дані виводилися на монітор.

Мікроконтролер є «серцем» стенда, він керує усіма іншими його блоками. Як мікроконтролер використовується ATtiny861 фірми Atmel. Цей контролер має вбудований блок аналого-цифрового перетворювача та PGA, що дозволяє істотно спростити схему стенда.

У циклі вимірювання проводиться зчитування даних з АЦП з підсиленням $1\times$ (синій) і $8\times$ (блакитний), залежно від рівня сигналу вибирається одне зі значень, що дозволяє нормально визначати як малі дози, так і достатньо великі.

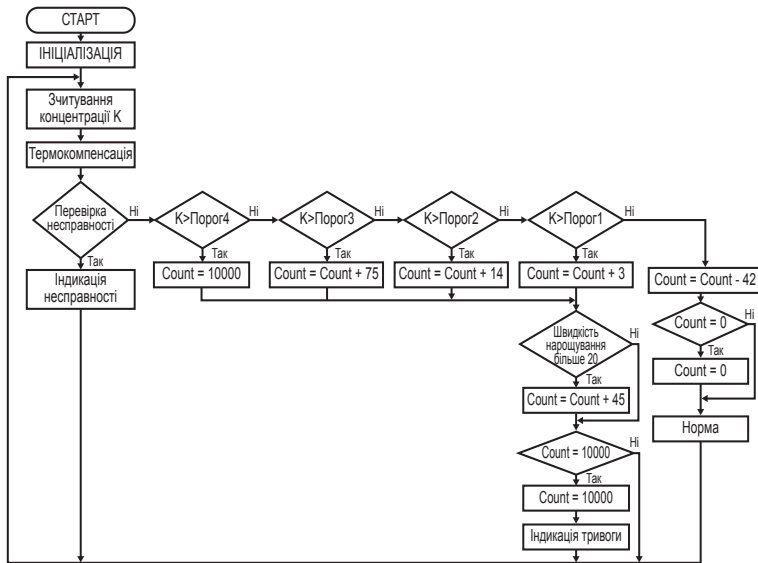


Рис. 2. Алгоритм роботи газосигналізатора ГСБ 01-3

Fig. 2. The works algorithm of gas alarm GSB 01-3



Рис. 3. Плата приладу ГСБ 01-3, закріплена на його базі

Fig. 3. The printed board unit GSB 01-3, fixed on its base

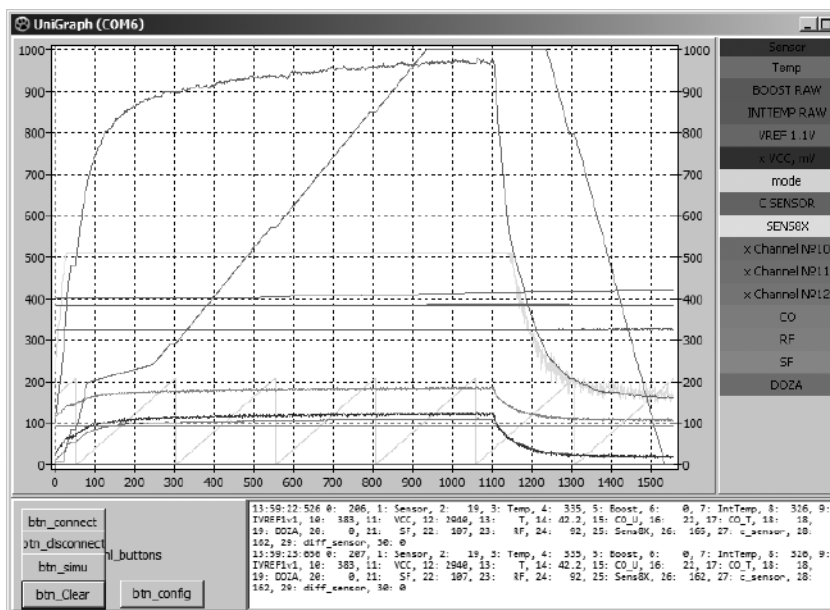


Рис. 4. Приклад роботи програми

Fig. 4. The example of operation of the program

Вимірені дані фільтруються, перераховуються у відсотки вмісту CO у повітрі, проводиться термокомпенсація (коричнева лінія на рис. 4).

Залежно від рівня CO збільшується значення лічильника дози (червона лінія), за досягнення лічильником значення однієї тисячі спрацьовує тривога. За швидкого наростання сигналу відбувається прискорений набір дози, що дозволяє зменшити інерційність датчика і вкластися у регламентовану норму під час перевірки приладу на концентраціях 100 і 300 ppm (область 0—90 с на графіку).

За зниження концентрації нижче 30 ppm відбувається зменшення значень даних лічильника (дози), а коли він досягне значення 8000, відключається візуальна сигналізація.

Пояснення: Зелена лінія — внутрішній лічильник циклу, в кінці проводиться перевірка несправності датчика. Червона лінія — температура всередині приладу, °C × 10. Зелена лінія (BOOST) — напруга з підвищувального конвертера, активна лише за тривоги і призначена для живлення звукової сигналізації. Зелена лінія (INT TEMP) — температура, вхідні дані для перерахунку в градуси. Сіра лінія (VREF) — напруга внутрішнього опорного джерела, що використовується для визначення напруги живлення. Синя лінія (Sensor) — напруга з підсилювача датчика, коефіцієнт підсилення 1×. Блакитна лінія (Sens 8×) — напруга з підсилювача датчика, коефіцієнт підсилення 8×.

Темно-зелена лінія (C Sensor) — напруга з підсилювача датчика після фільтрації. Фіолетова лінія (CO) — перерахована концентрація CO в ppm. Помаранчева лінія (RF) — зовнішня опорна напруга. Помаранчева лінія (SF) — напруга з підсилювача безпосередньо, без PGA. Червона лінія (DOZA) — лічильник накопиченої дози.

Прилад за реальних умов працює в навколишньому середовищі з певною вологістю. Зазвичай відносна вологість повітря в приміщенні складає (40 ÷ 60) %. Під час проведення

Таблиця 2. Випробувальні гази для імітації аварійної ситуації

Table 2. The test gases to simulate emergency

Еталонний газ для випробувань	Концентрація CO, ppm	ПГС CO, ppm	Без сигналізації до спрацювання, хв	Спрацювання з сигналізацією не пізніше, хв
A	30	33±3	120	-
B	50	55±5	60	90
C	100	110±10	10	40
D	300	330±30	-	3

досліджень з використанням балонів з повірочною газовою сумішшю (ПГС) останню потрібно зволожувати для отримання параметрів газосиг-

налізаторів за реальних умов експлуатації. Окрім того, нами проводилися дослідження залежності сигналу приладу від вологи. Тому за проведення вимірювань використувувалася установка зволоження газових сумішей [4]. Принцип роботи установки заснований на насиченні газових сумішей парами води під час барботування за заданих значень температури і витрати газової суміші. У роботі установки використано явище встановлення дина-

мічної рівноваги тиску парів води над поверхнею зволожувача у результаті дифузії молекул з верхні води.

Таблиця 3. Результати випробування газосигналізаторів CO за EN 50291-1

Table 3. The test results of CO gas detectors according to EN 50291-1

Найменування пункту	Метод випробувань	Результати випробувань
1. Умови видавання сигналу тривоги	Згідно з табл. 1., відновлення зі стану тривоги-подавання чистого повітря	Витримав
2. Довготермінова стабільність	Прилад перебуває у включеному стані протягом 3 місяців і піддається періодичному впливу випробувальної газової суміші CO. Під впливом суміші CO-повітря сигнал тривоги повинен спрацювати відповідно до умов Табл.3. Відновлення зі стану тривоги відбувається протягом 6 хв під впливом чистого повітря	Витримав
3. Час спрацювання	Прилад не повинен спрацювати під час первинного впливу чистого повітря. Пристрій повинен спрацювати протягом 3 хв за впливу високої концентрації 300 ppm CO. Після впливу високої концентрації CO, прилад повинен відновитися протягом 15 хв у середовищі чистого повітря	Витримав
4. Вплив зміни температури	Витримати пристрій і еталонний газ за температури $(-10 \pm 1) ^\circ\text{C}$ протягом 6 год, після чого, за кімнатної температури, протягом, принаймні, 6 годин і, нарешті, за температури $(40 \pm 1) ^\circ\text{C}$ протягом не менше 6 годин. У кінці кожної експозиції й перед кожною зміною умов піддавати прилад впливу випробувального газу. Під впливом суміші CO-повітря сигнал тривоги повинен видаватися відповідно до табл. 3	Витримав
5. Сигналізація під час прогрівання	Встановити прилад у чистому повітрі на 24 год, не включаючи його. Подати випробувальний газ D і негайно увімкнути пристрій. Пристрій повинен видати сигнал тривоги через 15 хвилин після включення	Витримав
6. Швидкість випробувального газу	Подати на пристрій випробувальний газ A за швидкості суміші у проточній камері $(1,2 \pm 0,1) \text{ м/с}$ протягом 2 годин. Протягом усього випробування сигнал тривоги не повинен видаватися	Витримав
7. Вплив інших газів	Впливати на прилад газовою сумішшю етанолу об'ємною концентрацією 2000 ppm протягом 30 хв. Після випробування газом витримати прилад одну годину за нормальних умов. Піддати прилад випробуванням ступінчастим впливом газами (після кожного газу очищувати повітря протягом 15 хв) за нормальних умов відповідно до Табл. 3.	Витримав

1.1.3. Випробування

На побутові газосигналізатори загазованості приміщень діють стандарти EN 50291-1 «Електричне обладнання для виявлення окису вуглецю в побутових приміщеннях — Частина 1: Методи випробувань і вимоги» [5]. Розглянемо вимоги до випробувань газосигналізаторів відповідно до цих нормативних документів. Необхідно відразу зазначити, що вплив певної концентрації CO на людину залежить від часу, протягом якого вона піддавалася впливу цієї концентрації. Скажімо, за концентрації 50 ppm вона може піддаватися її впливу протягом не більше 3-х годин. Тому EN 50291-1 вимагає встановлення трьох порогів спрацювання, які залежать як від концентрації, так і від часу (Табл. 2).

1.2. Сповіщувач пожежний газовий (CO)

Останнім часом приділяється велика увага розробленню й серійному виробництву пожежних сповіщувачів газових (ПСГ). Прилади подібного типу дозволяють виявити пожежу на ранній стадії її розвитку, вони можуть працювати у заплених приміщеннях, на їхню роботу не впливають пари води, пари, що виникають під час готування їжі. Вимоги щодо цих приладів встановлено Європейськими стандартами EN 54-26, EN 54-30, EN 54-31 [6—8].

У процесі розроблення пожежного сповіщувача газового ПСКГТ-01 ми взяли за основу пропонувану фірмою Figaro вимірювальну схему для підключення метал-оксидного сенсора CO TGS2442. У цій схемі застосовується імпульсне живлення нагрівача.

Нами розроблено концепцію мультисенсорного пожежного сповіщувача, який включає газовий сенсор CO і тепловий сенсор. На рис. 6 продемонстровано принцип його роботи.

Датчик працює у циклічному режимі: 14 мс термоочищення й 986 мс охолодження. Вимірення проводиться наприкінці холодного періоду. Окрім мо-

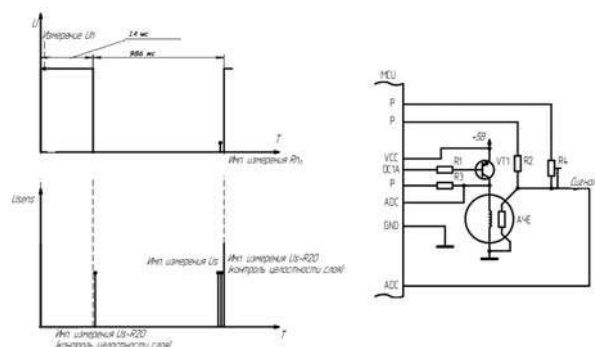


Рис. 6. Принцип вимірення концентрації газу і режими роботи

Fig. 6. The principle of measuring the gas concentration and work modes

менту вимірення (імпульс близько 1 мс), виводи контролера переводяться у високоомний стан. Опір нагрівача контролюється імпульсами з виходу контролера P через резистор R3. Напруга з нагрівача зчитується АЦП.

Сигнал знімається із чутливого шару за різних навантажень. За допомогою R2 контролюється цілісність шару, R4 — вимірення концентрації. Для контролю температури застосовується терморезистор, напруга з якого зчитується кожену секунду, за таблицею перераховується в температуру. За перевищення 60 °C спрацьовує сигналізація.

Сповіщувач пожежний газовий з тепловим каналом ПСКГТ-01 призначений для захисту об'єктів (у тому числі тих, де можливе перебування людей: установ, квартир, торговельних приміщень, складів, гаражів тощо) від пожеж шляхом аналізу газоповітряного середовища на предмет збільшених понад допустимих меж концентрації окису вуглецю та температури, видавання світлових повідомлень і сигналів щодо пожежі або несправності у зовнішні ланцюги.

Сповіщувач може також використовуватися як газосигналізатор CO в системах контролю загазованості приміщень CO відповідно до «Технічних вимог та правил щодо застосування сигналізаторів до вибухонебезпечних концентрацій паливних газів і мікроконцентрацій чадного газу в повітрі приміщень житлових будинків та громадських будинків і споруд». У цьому випадку він має бути сертифікований як газосигналізатор, який є засобом вимірюваної техніки (ЗВТ).

Сповіщувач реагує на окис вуглецю CO (чадний газ), згідно з EN 54-26 і на зміну температури згідно з ДСТУ EN 54-5:2003. Принцип роботи сповіщувача заснований на визначенні концентрації газу шляхом вимірення поверхневого опору напівпровідникового чутливого елемента й контролю температури шляхом вимірення зміни опору терморезистора.

Сповіщувач забезпечує миготливе світіння світлодіода червоного кольору за нормального стану сповіщувача.

Технічні характеристики сповіщувача такі:

- Номінальне значення порогу спрацювання сигналізації, об'ємна частка оксиду вуглецю (чадного газу) у повітрі — 50 мкл/л.
- Границі допустимої абсолютної похибки за умов експлуатації, об'ємна частка оксиду вуглецю у повітрі — ± 25 мкл/л.
- Номінальне значення порогу спрацювання сигналізації за температурою — 60 °C клас A2 згідно з ДСТУ EN 54-5.

- Час прогрівання сповіщувача — не більше 3 хв.

- Час спрацювання сигналізації сповіщувача у межах від 25 до 75 мкл/л — не більше 3 хв за CO і 2 хв. за теплом (за швидкості наростання концентрації CO — 6 мкл/л·хв⁻¹ і температури — 20 °К/хв).

Сповіщувач виконано у пластмасовому корпусі, в якому розміщено плату з чутливими до CO та температури елементами й електрорадіоелементами.

На кришці сповіщувача є прорізи для доступу контрольованого повітря до чутливих елементів. За появи сигнальної концентрації оксиду вуглецю (чадного газу), підвищення температури в приміщенні опір чутливого елемента (сенсора газового TGS 2442 для CO, термістора RH16-3H103 для температури) зменшується, що призводить до спрацювання порогових пристроїв електричної схеми сповіщувача.

При цьому сповіщувач видає світлові сигнали:

- миготливе світіння червоного сигнального індикатора — **індикація живлення**;
- безперервне світіння червоного сигнального індикатора — концентрація CO ≥ 25 ppm або температура ≥ 55 °C;

За досягнення **порогу** спрацювання за оксидом вуглецю або (і) граничної температури спрацює електромагнітне реле, і його нормально розімкнуті контакти замикаються, зменшуючи опір у колі виведення.

Плату сповіщувача виконано з двостороннім SMD монтажем радіокомпонентів. Як датчик газу вибрано сенсор TGS 2442 (поз. 2 на рис. 7), який працює в імпульсному режимі й споживає в середньому 14 мВт. Датчиком температури слугує NTC терморезистор RH16-3H103 (поз. 3 на рис. 7). Недорогий мікроконтролер 5 ATTINY 44A-SSU (поз. 5 на рис. 7) є серцем приладу і керує всіма режимами роботи СПГ (живленням, виміреннями, сигналізацією). Стабілізоване живлення 5В забезпечується стабілізатором напруги TL431ACDBZR (поз. 6 на рис. 7).

На платі встановлено також світлодіод 1, який сигналізує щодо стану сповіщувача у певний момент часу, і пружина 4 для забезпечення контакту з металевою сіткою 3 (рис. 8). Металева сітка і плата утворюють «клітку Фарадея» і забезпечують захист від завад.

Обсяг і послідовність проведення приймально-здавальних і періодичних випробувань повинні відповідати Табл. 4.

Нижче наведено конструкцію розробленого нами газового каналу CO (рис. 9 — кон-

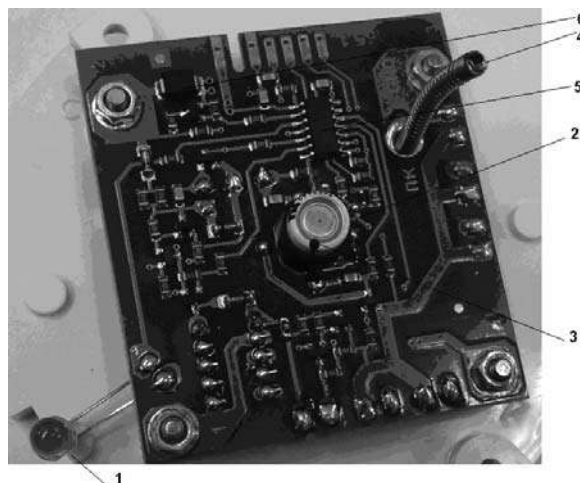


Рис. 7. Плата з радіокомпонентами:
1 — світлодіод; 2 — датчик газу; 3 — датчик температури; 4 — контакт; 5 — мікроконтролер; 6 — стабілізатор напруги
Fig.7. Printed circuit board with radio components:
1 — LED; 2 — gas sensor; 3 — temperature sensor; 4 — contact; 5 — microcontroller; 6 — voltage



Рис.8. Зовнішній вид СПКГТ-01: 1 — світлодіод; 2 — кришка з прорізами; 3 — металева сітка
Fig. 8. Appearance SPKHT-01: 1 — LED; 2 — cover with slots; 3 — metal mesh

струкція каналу, рис. 10 — зовнішній вид каналу). Результати проведених нами випробувань зразків пожежних сповіщувачів CO/тепло СПКГТ-01 виробництва ПП «Артон» і ПП «Аналізер» відповідають ТУ У 30.5-30150047-031:2012, розробленим нами, і основним вимогам EN 54-30.

2. МУЛЬТИСЕНСОРНІ ПОЖЕЖНІ СПОВІЩУВАЧІ ТА КОМБІНОВАНІ ПРИЛАДИ

Останнім часом стають популярними мультисенсорні сповіщувачі газові та комбіновані прилади — пожежний сповіщувач + газосигналізатор. Ці прилади дають можливість більш повно контролювати навколишнє середовище і відповідно більш точно визначити виникнення пожежі й появи токсичних

Таблиця 4. План випробувань

Table 4. Test plan

Найменування випробувань	Номер пункту ТУ		Вид випробувань	
	Технічні вимоги	Методи випробування	Примально-здавальні	Періодичні
1. Перевірка часу спрацювання за CO	1.3.14	5.2		+
2. Перевірка часу спрацювання за тепло	1.3.14	5.3		+
3. Перевірка повторності (CO)	1.3.15	5.4		+
4. Перевірка залежності від напрямку (CO)	1.3.16	5.5		+
5. Перевірка залежності від напрямку (тепло)	1.3.17	5.6		+
6. Перевірка нижньої межі відгуку на тепло	1.3.18	5.7		+
7. Перевірка відтворності (CO)	1.3.19	5.8		+
8. Перевірка відтворності (тепло)	1.3.20	5.9		+
9. Перевірка перехресної чутливості	1.3.21	5.10		+
10. Перевірка довготермінової стабільності (CO)	1.3.22	5.11		+
11. Перевірка стійкості до насичення	1.3.23	5.12		+

газів. Використовуються мультисенсорні пожежні сповіщувачі, де окрім димового і CO датчиків додатково встановлюються у сповіщувач датчик температури і CO₂ (для детектування пожеж, які вже розвинулися). Для сповіщення щодо пожежі на початковій стадії слугують димові й газові (CO) пожежні сповіщувачі. Виникає питання, навіщо для оповіщення щодо пожежі на ранній стадії необхідно два типи сповіщувачів. Справа в тому, що кожен тип має свої переваги і недоліки. Обговоримо їх.

2.1. Димовий пожежний сповіщувач

Тут розглядатиметься лише пожежний сповіщувач, який працює за принципом детектування роз-

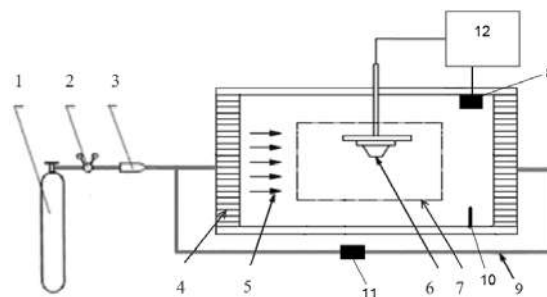


Рис. 9. Газова випробувальна камера, робоча секція, вид збоку

Fig. 9. Gas test chamber working section, side view
Пояснення: 1 — балон з ПГС; 2 — вентиль тонкого регулювання; 3 — ротаметр РМ-А-0,1г УЗ; 4 — спрямовувальний елемент; 5 — повітряний потік; 6 — випробуваний(-і) сповіщувач(-и); 7 — робочий об'єм; 8 — CO газоаналізатор електрохімічний; 9 — обвідний канал; 10 — датчик швидкості повітряного потоку; 11 — вентилятор; 12 — блок представлення інформації (ПК).



Рис. 10. Експериментальна установка «Газовий канал»

Fig. 10. Experimental setup «Gas channel»

сіяного на диму світла. Цей тип сповіщувача найбільш популярний. Його переваги:

- ♦ відносно недорогий;
- ♦ має достатньо хорошу чутливість до процесів тління деревини, бавовни і до низькотемпературного горіння (важкі вуглеводні (n-гексан, декалін) й синтетика (поліуретан)).

Проблеми:

* частинки незгорілого вуглецю (дим) достатньо важкі й дуже повільно піднімаються вгору потоком теплого повітря від джерела горіння (димові сповіщувачі встановлюються під стелею). Оскільки йдеться стосовно початкової стадії горіння, потік має слабку інтенсивність. Отже датчик диму інерційний;

* датчик малоселективний — реагує на пари води і пил точно так, як і на дим. Тому їх не рекомендують встановлювати на кухнях, у ванних, інших приміщеннях, де можуть бути присутніми пари

води. Не встановлюють їх і в достатньо запилені приміщеннях — якщо датчик відразу і не спрацює від пилу, то спрацює через деякий час у результаті забруднення камери розсіювання. Тому в запилені приміщеннях їх доводиться періодично продувати;

* частки диму мають дуже складну конфігурацію, яка залежить від багатьох факторів. Тобто їх здатність до розсіювання світла сильно відрізняється. Тому для визначення чутливості датчика використовують фізичний еквівалент — аерозоль. Отже, чутливість датчика до реального диму залишається невідомою.

2.2. Газовий (CO) пожежний сповіщувач

Переваги:

► Має хорошу чутливість до процесів тління (тління деревини, бавовни, глибоке тління бавовни тощо), тобто до початкових процесів горіння.

► датчик CO селективний. Реагує лише на CO і не реагує на пари води, пил. Отже, його можна експлуатувати в тих приміщеннях, де димові датчики не працюють (кухні, ванни тощо);

► молекулярна вага CO - 28, така ж, як і у азота (N₂). Газ рівномірно розподіляється по приміщенню і з потоком теплого повітря швидко піднімається вгору. Внаслідок молекулярної дифузії проникає за межі перешкод. Тобто швидкодія датчика дуже добра;

► немає проблем з метрологічним забезпеченням вимірювань. Наявні еталони CO, як правило, газогенератори, є газові суміші CO-повітря, які готуються з хорошою точністю. Тобто достовірно відомо, що вимірюється.

Недоліки:

◀ пожежні сповіщувачі газові (CO) достатньо дорогі прилади — у 2–3 рази дорожчі ніж димові.

◀ газові сповіщувачі можуть спрацювати й у приміщеннях, загазованих CO, за відсутності в них пожежі, наприклад, у приміщеннях, призначених для куріння, або в гаражах, підземних парковках від вихлопних газів автомобілів. Тому їх не рекомендують встановлювати в цих приміщеннях.

2.3. Мультисенсорні пожежні сповіщувачі і комбіновані прилади

Тепер обговоримо ситуацію з мультисенсорними пожежними сповіщувачами, а також з комбінованими приладами — пожежними сповіщувачами димовими, тепловими + газосигналізатор CO. Ці прилади достатньо популярні. Для них розроблено стандарти випробувального центру LPS1274, LPS1279, LPS1282, європейські стандарти EN 54-30, EN 54-31 і між-

народні стандарти ISO 7240-8. Стандарти LPS1274, EN 54-30, ISO 7240-8 стосуються пожежного сповіщувача газового (CO) + температура. Подібні прилади чутливі як до процесів тління (CO), так і до пожеж, які вже розвинулися (температура). Їх переваги і недоліки визначаються, в основному, пожежним сповіщувачем газовим. Про що йдеться в стандартах LPS1279, EN 54-31? Вони стосуються мультисенсорних приладів — пожежний сповіщувач димовий, тепловий + пожежний сповіщувач CO. По-перше, технічні характеристики приладу повинні задовольняти вимогам EN 54-31 і вимогам індивідуальних стандартів — для пожежного сповіщувача CO вимогам EN 54-26 [6]; для димового датчика вимогам EN 54-7; для теплового датчика вимогам EN 54-5. Якщо звичайно вимоги індивідуальних стандартів не суперечать вимогам EN 54-31, хоча відмінності дуже незначні. Випробування проводяться за аналогічними методиками з тією ж сукупністю типів пожеж. Сказано лише, що сигнали пожежі від різних датчиків повинні підсилювати один одного. Оскільки димові сповіщувачі реагують на пари води, аерозолі й пил, комбіновані сповіщувачі не можна встановлювати в приміщеннях, де такі є в наявності (пари води і пил).

Отже, всі недоліки, властиві димовим сповіщувачам, автоматично переносяться на комбінований прилад за EN 54-31. Окрім того, з'являється ще один недолік — прилад дуже дорогий (датчики достатньо дорогі, сертифікація і приймальні випробування складні й відповідно їх вартість значна).

LPS 1282-1 [9] розглядає можливість створення комбінованого приладу — побутового сповіщувача диму за BS EN 14604: 2005 та сигналізатора CO за EN 50291. У стандарті йдеться, що комбінований прилад повинен відповідати всім вимогам BS EN 14604: 2005 і EN 50291, окрім таких вимог:

▲ індикатор несправності сповіщувача диму повинен бути жовтого кольору;

▲ маркування приладу повинно проводитися за LPS 1282-1;

▲ ступінь захисту приладу по воді не повинен задовольняти п.14 за DIN EN 60529: 1991;

▲ в інструкції з експлуатації необхідно вказати, що прилад не можна встановлювати в приміщеннях, де пари води, пил можуть проникнути в корпус приладу.


Виникає питання, навіщо як побутовий сповіщувач виникнення пожежі на початковій стадії його розвитку використовувати димовий датчик? Адже CO датчик для цих цілей більш придатний. Окрім того, в комбінованому приладі — побутовому

газосигналізаторі CO, пожежному сповіщувачі побутовому газовому (CO) можна використовувати один і той же датчик CO, а поділ каналів вимірювання дози CO і реєстрацію концентрації (пожежі) можна розділити за рахунок алгоритму опрацювання сигналу. Окрім того, за одночасного спрацювання каналів газосигналізатора CO і пожежного сповіщувача газового може включатися сигналізація загальної тривоги, за появи якої необхідні адекватні дії (наприклад, візуальний контроль наявності пожежі за допомогою веб-камери). Отже, отримаємо комбінований побутовий прилад без тих недоліків, які характерні для комбінованого приладу за LPS 1282-1, і дешевший, що дуже важливо для країн, які розвиваються. Що стосується недоліків пожежних сповіщувачів газових, то навряд чи хтось запускатиме двигун машини в закритому гаражі; для досягнення сигнальної концентрації пожежного сповіщувача газового, уста-

новленого в приміщенні для куріння ($3 \times 5 \times 3$) м, необхідно одночасно викурити 20 сигарет; підземні парковки поки що у нас рідкість. Сертифікацію подібного комбінованого приладу можна проводити із застосуванням стандартів EN 50291, EN 54-30.

Отже, можна зробити висновок, що комбінований прилад — газосигналізатор CO, пожежний сповіщувач газовий і можливо тепловий сповіщувач має право на існування і має ряд істотних переваг порівняно з приладом, що відповідає LPS 1282-1, якщо звичайно йдеться щодо побутового призначення подібного приладу. Дійсно, найбільш пожежонебезпечні побутові приміщення — це кухні, а димові сповіщувачі там не можна встановлювати. Окрім того, у побуті рідко можна зустріти гексан, декалін, до горіння яких чутливий димовий сповіщувач. Тому такий прилад мав би мати попит на ринку України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Козубовський В. Хімічні датчики // Метрологія та прилади (Kozubovskyy V. Chemical Sensors. // Metrology and instruments). — 2014 — №5. — С/Р. 55–66. (ISSN 2307-2180).
2. Kozubovskiy V.R., Ph.D, Misevich I.Z., Eng., Ivanchuk M.M., Ph.D. Comparative Analysis of Sensors Contained in Gas Detectors Designed For Early Fire Detection // ВіТР, Vol. 40 Issue 4, 2015, pp. 107–122.
3. Козубовський В., Алякшев І. Упровадження в Україні європейських стандартів на побутові газосигналізатори//Стандартизація, сертифікація, якість.– 2014. — №4. — С/Р. 45–49. (ISSN 2307-2180).
4. В.Р.Козубовський, М.Федак Вплив вологи на роботу електрохімічного сенсора напівпровідникового типу. // Метрологія та прилади (Kozubovskiy V., Fedak M. A water vapor effect on work of an electrochemical sensor of semi-conductor type. // Metrology and instruments). — 2012, — №2. — С/Р. 66–70.
5. BS EN 50291-1:2010+A1:2012 Electrical apparatus for the detection of carbon monoxide in domestic premises. Test methods and performance requirements.
6. BS EN 54-26:2015 Fire detection and fire alarm systems. Carbon monoxide detectors. Point detectors.
7. BS EN 54-30:2015 Fire detection and fire alarm systems. Multi-sensor fire detectors. Point detectors using a combination of carbon monoxide and heat sensors.
8. BS EN 54-31:2014+A1:2016 Fire detection and fire alarm system. Multi-sensor fire detectors. Point detectors using a combination of smoke, carbon monoxide and optionally heat sensors.
9. Loss Prevention Standard LPS 1282: Issue 1.1 Requirements and testing procedures for combined domestic smoke and carbon monoxide detectors. 

Отримано / received: 27.02.2017.

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

ДО 80-РІЧЧЯ ГЕОРГІЯ ІЛЛІЧА ЛЕОНОВА

14 квітня 2017 року виповнилося 80 років **Георгію Іллічу Леонову**, провідному інженеру з метрології науково-виробничого відділу вимірювань сили та об'єму рідини ДП «Укрметртестстандарт», одному із найавторитетніших метрологів України.

Георгій Ілліч складні воєнні роки пережив у евакуації в м. Актюбінську, де навчався 2 роки. З 1946 року навчався у 49-ій школі м. Харкова, закінчивши її зі срібною медаллю. У 1959 році закінчив Харківський політехнічний інститут за спеціальністю «інженер-механік».

Його життєва дорога, ім'я якої «Метрологія», обрала одразу і на все життя. Свою професійну діяльність Г.І. Леонов розпочав у Харківському державному інституті мір та вимірювальних приладів (нині ННЦ «Інститут метрології»), пройшовши шлях від інженера до керівника відділу фізико-механічних вимірювань. З головою поринув у роботу, ставши одним із тих фахівців, які розвивали метрологію як науку, постійно досягаючи поставленої мети. Роки роботи в Харкові були для нього щасливими, сповненими творчості та бажання максимально реалізувати свої можливості й таланти, роками визнання його як провідного в країні метролога. Під керівництвом Г.І. Леонова вперше в СРСР було створено науково обґрунтовану систему організації та проведення масової повірки спідометрів, очолюваний ним відділ було призначено провідним у Союзі в сфері державних випробувань і нагляду за спідометрами та таксометрами.

Георгій Ілліч постійно прагнув виконувати будь-яке доручене завдання щонайкраще, повсякчас упроваджував наукові розроблення у життя. Організованість у роботі та високий рівень вимогливості до себе та співробітників підрозділів, які він очолював, працюючи з 1996 року в ДП «Укрметртестстандарт» керівником відділу, головним фахівцем, а нині провідним інженером з метрології науково-виробничого відділу вимірювань сили та об'єму рідини, дали свої результати. Георгій Ілліч є взірцем для молодого покоління спеціалістів, які приходять у сферу метрології.

За участю Г.І. Леонова:

* створено та впроваджено у повірочну практику сімейства еталонних силосилосимірювальних машин серії ОСМ: на 10 кН — 2 од., 50 кН — 16 од. (упроваджені в 16 територіальних органах колишнього Держстандарту СРСР — від Риги до Красноярська), 1 МН — 1 од.;

* створено серії перших у колишньому СРСР еталонних установок для повірки спідометрів — 4 модифікації;

* створено та впроваджено у серійне виробництво еталонні установки для повірки спідометрів, виробництво яких організовано у містах Києві, Єревані, Вільнюсі, Рязані, Володимирі;

* створено еталонні установки для повірки моментних ключів та еталонних моментомірів — 4 модифікації (Харків — 1, Київ — 3);

* підготовлено протягом 20 років викладацької роботи у ВІСМ понад 1200 фахівців із вимірювань маси та сили. Нині — це еліта метрології України. Вони і сьогодні вважають Георгія Ілліча своїм учителем і наставником, звертаючись до нього за консультаціями та порадами.

Метрологія без стандартизації неможлива, тому не дивно, що Г.І. Леонов став розробником:

• ГОСТ 8.262-77 «ГСИ. Спидометры автомобильные и мотоциклетные. Методы и средства поверки» та ГОСТ 8.291-78 «ГСИ. Таксометры. Методы и средства поверки»;

• 3-х Національних стандартів України;

• 50-ти методичних документів у сфері вимірювань сили, крутильного моменту сили, маси та об'єму рідини тощо.

Він постійно публікувався у наукових виданнях: видав книгу у співавторстві, має понад 50 статей з питань метрологічної діяльності, закрема, в журналі «Метрологія та прилади», 5 авторських свідоцтв на 5 винаходів, усі з яких запатентовано та впроваджено.

Із 1996 року Георгій Ілліч бере найактивнішу участь у розробленні еталонів. За його ініціативою введено в експлуатацію унікальний комплекс силосилосилосимірювальних машин виробництва фірми KYOWA (Японія). У результаті їх упровадження створено Державний еталон одиниці сили (ДЕТУ 02-07-11).

Працюючи в ДП «Укрметртестстандарт», Г.І. Леонов виявив себе керівником, який організував команду фахівців, націлених на реалізацію мети та поставлених завдань. Він уміло і професійно визначає ефективні напрями метрологічних робіт, урахує слушні пропозиції колег, приймає оптимальні рішення і несе повну відповідальність за їх виконання.

Георгій Ілліч активно вивчає проблемні питання у сферах обліку енергоносіїв, вимірювань сили в атомній енергетиці, що забезпечують експлуатацію ядерних реакторів на АЕС. Плідно працює в освоєнні нових перспективних напрямів діяльності у сферах вимірювання крутильного моменту сили та об'єму рідини, підготовки молодих фахівців. Його знають і поважають провідні фахівці-метрологи не лише державних підприємств Мінекономрозвитку України, а й фірм — виробників засобів вимірювальної техніки близького та далекого зарубіжжя, з якими він співпрацював під час проведення державних приймальних та державних контрольних випробувань ЗВТ.

Держава високо оцінила внесок Г.І. Леонова у розвиток метрології. Він нагороджувався медалями ВДНГ СРСР, має усі відомчі нагороди Держстандарту СРСР та Держспоживстандарту України. Проте головним є те, що від заслужив високу повагу метрологів, визнання як фахівця найвищої кваліфікації у своїй справі.

*Адміністрація ДП «Укрметртестстандарт», члени ПК Технічного комітету, колеги, співробітники, друзі, редакція та редколегія журналу «Метрологія та прилади» щиро вітають шановного **Георгія Ілліча Леонова** з ювілеєм!*

Бажають йому:

в роботі — успіху й терпіння,

у справах — вічного горіння,

в сім'ї — любові і добра

на многії та благії літа!

