

# КІБЕРНЕТИКА та КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

*Виконано макетування сенсорних модулів датчиків газів, їх тестування та оптимізацію, виготовлені дослідні зразки модулів для кисню, вуглекислого та чадного газів. Виготовлено допоміжне пневматичне обладнання для перевірки працездатності приладів, їх калібрування та градування. Розроблена методика виконання вимірювань та виконані тестові вимірювання зазначених газів. При підготовці до калібрування були виконані роботи з удосконалення сенсорних приладів, а після її проведення були проведені роботи з доопрацювання мультисенсорного газоаналізатора.*

**Ключові слова:** мультисенсорний газоаналізатор, кисень, вуглекислий газ, чадний газ, калібрування, градування.

© В.М. Будник, М.І. Мудренко, С.І. Лукаш,  
М.М. Будник, 2022

УДК 541.12.011.4.082/.084

DOI:10.34229/2707-451X.22.3.9

В.М. БУДНИК, М.І. МУДРЕНКО, С.І. ЛУКАШ, М.М. БУДНИК

## КАЛІБРУВАННЯ ТА ГРАДУЮВАННЯ МУЛЬТИСЕНСОРНОГО ГАЗОАНАЛІЗАТОРА

**Вступ та постановка задачі.** В Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України на протязі 2013–2017 років виконувалася програма «Сенсорні системи для медико-екологічних та промислово-технологічних потреб: метрологічне забезпечення та дослідна експлуатація», в рамках якої створено ряд дослідних зразків приладів – електрокардіограф, рефрактометр, фотогемометр, фотоплетизмограф, газоаналізатор, вимірювач потужності оптичного випромінювання, мір та робочих засобів вимірювань, проведено їх перевірку та метрологічну атестацію, що частково висвітлено раніше в [1–4].

Сучасний тренд у розвитку медичного обладнання, зокрема, яке містить вбудовані засоби вимірювань, полягає у його мініатюризації, інтелектуалізації, застосуванні інформаційних технологій, впровадженні бездротових та мережевих засобів передачі даних. Мета даної роботи – підготовка мультисенсорного газоаналізатора до калібрування та градування.

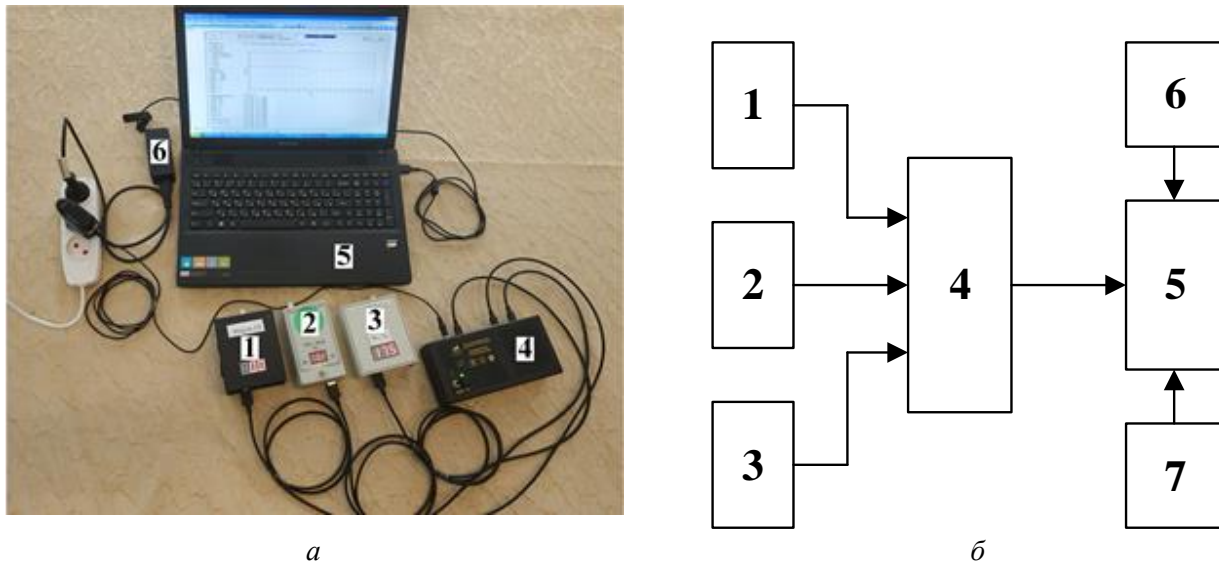
### 1. Конструкція та принцип роботи

Мультисенсорний газоаналізатор призначений для вимірювання об'ємної частки газів – діоксиду вуглецю, кисню та оксиду вуглецю у повітрі видиху людини, моніторингу атмосфери або для контролю технологічного процесу. Згідно ДСТУ 2595-94 [5], найближчим медичним виробом-аналогом є оксикарбоспірограф (реєструвальний прилад для вимірювання кількості споживаного кисню і вуглекислого газу, який виділяється).

Мультисенсорний газоаналізатор може бути застосований не тільки для аналізу видиху людини та містити інші сенсори газів (СО, ацетон, етанол та інші). Це портативний прилад, простий і зручний у застосуванні, електронні блоки виготовлені на сучасній елементній базі. На рис. 1, а показано зовнішній вигляд приладу, а на б – блок-схему.

До складу приладу входять 3 сенсорні модулі з датчиками газу CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> та CO, які через кабелі з'єднані з 3-ма USB входами електронного блоку. Порція газової суміші, що надійшла до електрохімічного датчика газу сенсорного модуля породжує слабкий

електричний сигнал. Підсилений сигнал від сенсорного модуля в аналоговому вигляді подається в електронний блок, з якого у цифровому вигляді подається у комп'ютер, де реєструється та обробляється програмним забезпеченням «GASOANALYS» [6]. Прилад може визначати концентрацію кисню у діапазоні 0–21%; вуглекислого газу – в діапазоні 0–10 %; чадного газу – 0–1 %.



РІС. 1. а – загальний вигляд, б – блок-схема мультисенсорного газоаналізатора: 1–3 сенсорні модулі з датчиками газу CO тип NAP 505 фірми (Nemoto Sensor Engineering Co., Ltd.); CO<sub>2</sub> тип TGS 4160 фірми (FIGARO Engineering Inc.), O<sub>2</sub> тип KE-25 (FIGARO Engineering Inc.); 4 – електронний блок; 5 – ноутбук; 6 – адаптер живлення; 7 – програмне забезпечення «GASOANALYS»

## 2. Калібрування газоаналізатора в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України

**2.1. Калібрування за допомогою парів етанолу.** Було проведено аналіз підходів до калібрування [7] та розроблено стенд для калібрування за допомогою парів етанолу [8]. Калібрувальна залежність визначалася на основі відносного сигналу  $R_s/R_o$  від концентрації парів етанолу у двох точках. Використані мультисенсори фірми UMWELTSENSORTEKNIK 10 (Німеччина) GGS 1541D, GGS 2541 та GGS 6541D на основі діоксиду олова (SnO<sub>2</sub>). Датчик виконано у пластиковому корпусі D на ізолюваній підкладці з 3-ма чутливими шарами, де 1-й шар чутливий до парів органічних рідин, 2-й – до парів етанолу, 3-й – до парів води. Розмір 2,3×2 мм, опір нагрівача  $11 \pm 0,5$  Ом, при T= 0°C точність  $\pm 30$  % [9].

Спочатку при відборі порції газу-аналіту з посудини 1 в мікродозатор 2 трійники 3а, 3б закриті і відокремлюють мікродозатор від інших частин пневматичної системи та пневматичну систему від навколишнього середовища. В такому стані трійники 3а, 3б показано на рис. 2. Після заповнення мікродозатора 2 парами етанолу із посудини з рідиною-аналітом трійник 3а переводять у відкрите положення, що сполучає об'єми мікродозатора, камери і компресора та включають компресор 5. До отворів мікродозатора, камери, компресора та трійників кріплять з'єднувальні трубки 8.

Пари етанолу діють на чутливі датчики сенсорного блока, в якому формується вихідний сигнал сенсорів 7. Мультисенсорний блок 6 містить як сенсори з перехресною чутливістю до досліджуваних газів, так і селективні сенсори з високою чутливістю до певних газів. Як калібрувальний газ використано насичені пари етанолу при певній сталій (заданій) температурі, при якій тиск парів

відомий. Стенд містить вимірювальну камеру з двома отворами, один отвір з'єднують з компресором, а інший – з каліброваним зразком, яка містить газ-аналіт та референтний газ, у камері розташовують мультисенсорний блок, що містить не менш ніж один сенсор.

Вимірювальна камера 4 виконана у вигляді термостатованої скляної посудини градуйованого об'єму 950 куб. см, застосовують мікродозатор для відбирання градуйованого об'єму рідини-аналіту, пристрій працює у закритому режимі, коли газова суміш циркулює всередині без контакту з навколишнім середовищем (рис. 2).

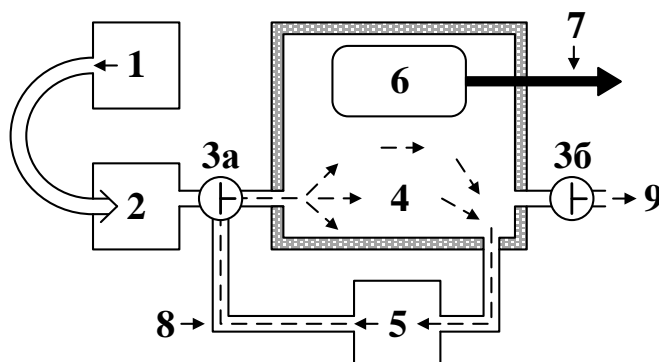


РИС. 2. Блок-схема стенду для калібрування: 1 – посудина з рідиною-аналітом (етиловий спирт); 2 – мікродозатор; 3а та 3б – пневматичні трійники; 4 – вимірювальна камера; 5 – компресор; 6 – мультисенсорний блок; 7 – вихідний сигнал; 8 – з'єднувальні трубки; 9 – навколишнє середовище

Суть робіт з приготування парів заданої концентрації полягає у відборі проби рідини-аналіту (етанолу) мікродозатором певного об'єму, введенні проби у вимірювальну камеру, створенні насиченої пари досліджуваного газу при температурі, заданій у термостаті. Прокачування суміші за допомогою компресора забезпечує вирівнювання концентрації у всьому замкнутому об'ємі.

Вихідний сигнал сенсора при вимірюваннях концентрації газів – це опір певного його шару. При цьому використовують додаткову інформацію про опір того ж чутливого шару в середовищі референтного стандартного газу. Як інформаційний сигнал застосовано відносний сигнал  $R_s/R_o$  - відношення опору сенсора при дії газу-аналіту  $R_s$  до його опору при дії референтного газу  $R_o$ . Референтний газ – повітря з параметрами, близькими до стандартного повітря (температура 20 °С, вологість 60 %, тиск 760 мм рт. ст.) [10]. На рис. 3 показана калібрувальна залежність відносного сигналу  $R_s/R_o$  на основі 2-х значень концентрацій парів етанолу.

Згідно методики [7, 8] для певного газу-аналіту вибирають сигнал від сенсора з максимальною амплітудою, вимірювання повторюють не менш ніж для 2-х концентрацій газу-аналіту, обчислюють калібрувальну криву та визначають відносні похибки у кожній точці вимірювань, визначають точність калібрування як граничну похибку в діапазоні вимірюваних концентрацій (див. рис. 3). Для підвищення точності калібрування використовують термостат та вимірювальну камеру каліброваного об'єму; вимірюють та усереднюють не менш ніж 10 сигналів від найбільш чутливого сенсора, вимірювання повторюють для різних концентрацій у закритому режимі, коли газова суміш циркулює у пневматичній частині.

В результаті отримано чутливість до етанолу, рівну  $2,1 \cdot 10^{-5}$  відн.од./ppm та точність 9,5 % в діапазоні 820–2025 ppm. Для порівняння пунктиром наведено відрізок калібрувальної кривої сенсора GGS 2330T [11, 12].

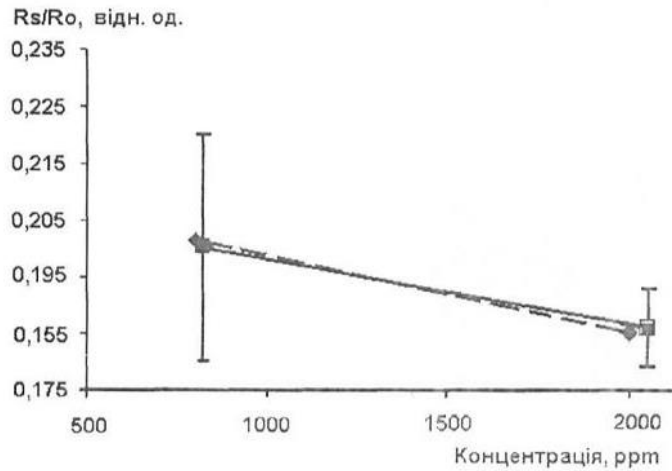


РИС. 3. Калібрувальна залежність для парів етанолу

**2.2. Калібрування за допомогою повітряно-газової суміші (ПГС) вуглекислого газу.** Для калібрування зібрано стенд (рис. 4).

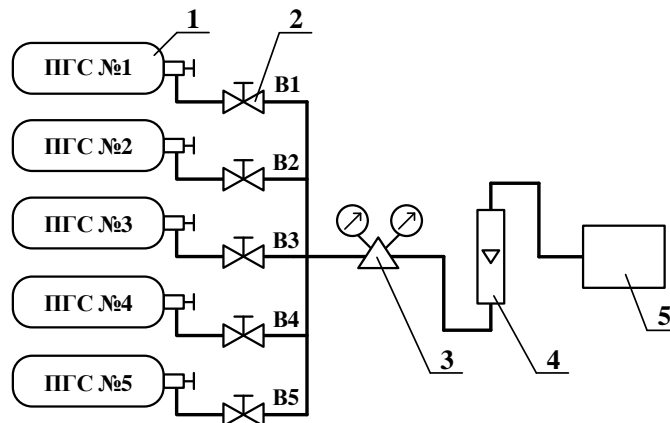


РИС. 4. Схема подачі газоповітряної суміші: 1 – балон з ПГС; 2 – вентиль; 3 – редуктор БКО-50-2; 4 – ротаметр РМ-А-0,0063Г; 5 – мультисенсорний газоаналізатор

Методика калібрування включає наступні дії:

1) на пневматичний вхід приладу подається проба газової суміші ПГС № 1 (рис. 4) за допомогою відкриття вентилів, якими встановлюється потрібний потік газу, рівний  $0,3 \pm 0,1$  л/хв., що надходить у камеру для вимірів. Під час вимірювань потік газу має бути постійним, що контролюється за допомогою ротаметра;

2) продути шланги для подання газоповітряної суміші протягом 60 с;

3) реєстрація сигналу ПГС 1:

3.1) включити газоаналізатор;

3.2) при включенні аналізатора мигання зеленого світлодіода свідчить, що прилад працює у режимі калібрування, слід витримати його в атмосфері чистого повітря на протязі 2-х годин. Після завершення автоматичного калібрування мигання світлодіода припиняється – прилад готовий до вимірів. Приблизно через 2 хв на моніторі ноутбука почне відображатися сигнал сенсора;

3.3) у вікні програми нажати кнопку «Зберегти», програма згенерує файл даних у текстовому форматі для наступної обробки у програмі «Excel». Закрити комп'ютерну програму (кнопка «Вихід»), прилад вимикається відключенням живлення та закривають всі вентиля подачі газів;

4) визначення основної абсолютної похибки:

4.1) розрахувати основну абсолютну похибку газоаналізатора,  $\Delta C$  згідно:

$$\Delta C = C - C_{\text{ПГС}},$$

де  $C$  – зареєстроване значення концентрації,  $C_{\text{ПГС}}$  – значення концентрації згідно паспорту ПГС;

5) виконати операції за п. 1) – 4) для інших ПГС:

5.1) дії за п.1) – 4) повторити не менше 3-х раз для кожної з ПГС.

Далі приводимо значення сигналів з використанням сенсорного модуля з визначення концентрації вуглекислого газу (табл.1). Значення основної абсолютної похибки газоаналізатора знаходилось у межах 0,24 – 0,31 %.

ТАБЛИЦЯ 1. Значення сигналів при калібруванні газосенсора

№ ПГС	Найменування компонентів	Концентрація, %	Зареєстрована концентрація, %	Границі основної абсолютної похибки, %	Номер державного стандартного зразка
1	CO2 -повітря	1	1,24	0,24	ГСО 3907
2	CO2 -повітря	2	2,18	0,18	ГСО 3907
3	CO2 -повітря	3	3,22	0,22	ГСО 3907
4	CO2 -повітря	4	4,31	0,31	ГСО 3907

### 3. Проведення метрологічної атестації (МА) в ДП «Укрметртестстандарт»

МА газоаналізатора була проведена у відділі газоаналізу з використанням ПГС за ТУ У 24.1-02568182-001:2005 – 5 з кисню, 2 – з вуглекислого газу, 5 – з чадного газу [10, 11]. Схема подачі ПГС на засіб вимірювання та блок-схема стенду показані на рис. 5.

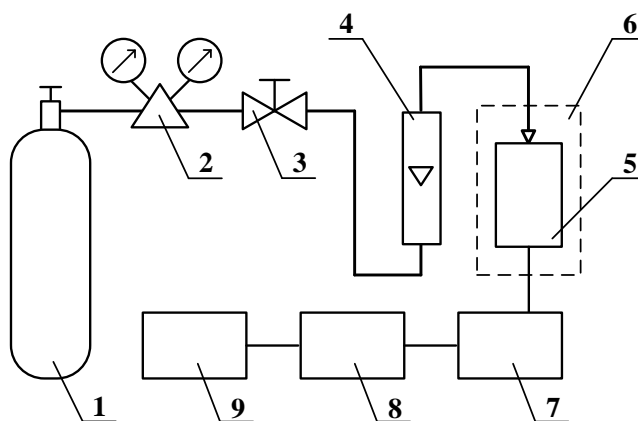


РИС. 5. Схема стенду: 1 – джерело газової суміші; 2 – редуктор балонний БКО-50-4; 3 – вентиль точного регулювання ВТР-1-М160; 4 – ротаметр РМ-А; 5 – сенсорний модуль газоаналізатора; 6 – витяжна лабораторна шафа ШВЛ-04; 7 – електронний блок газоаналізатора; 8 – ПК; 9 – програмне забезпечення «Gasanalysis»

**3.1. Методика вимірювань.** Для виконання калібрування необхідно продути шланги для подання ПГС протягом 60 с, потік газу має бути постійним, що контролюється ротаметром.

На пневматичний вхід приладу подають пробу ПГС відкриттям вентилів, якими встановлюють потрібний потік газу, рівний  $0,3 \pm 0,1$  л/хв. Через 15 секунд на моніторі ПК буде відображено сигнал датчика у вікні програми (рис. 6).

Запускаємо процес реєстрації сигналу від сенсора шляхом натискання кнопки «Пуск» та «Налаштування». Потім вибирають «Тип датчика» та «Час зчитування», та активують вікно «Подача газу». Після досягнення у вікні «Час зчитування» значення 100 %, що означає завершення реєстрації, зберігають дані натисканням вікна «Зберегти». При цьому дані вимірювань програмою будуть автоматично збережені у файлі. Прилад вимикають відключенням адаптера живлення та закривають всі вентилялі подачі газів.

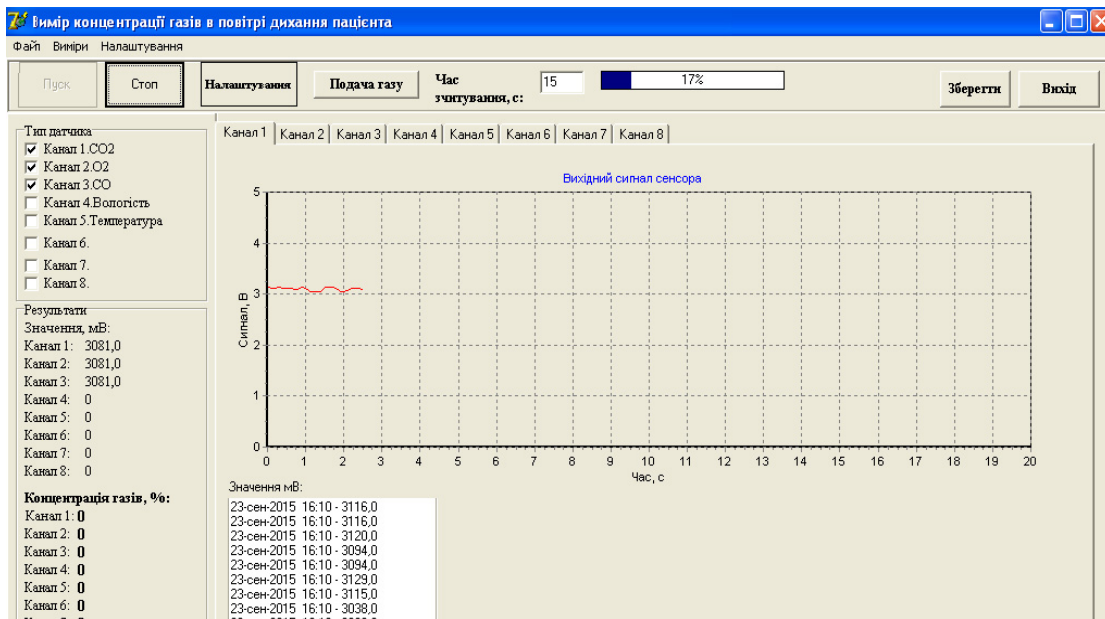


РИС. 6. Вікно програми реєстрації та обробки сигналу газоаналізатора

**3.2. Обробка даних.** Обробка даних виконується у програмі «Excel» згідно методики [6] з використанням максимальних значень сигналів для кожної концентрації. Далі обчислюють середнє значення інформативного сигналу  $V_{INF}$  та середньоквадратичну похибку для кожної концентрації.

**4. Результати градуювання по різним газам**

**4.1. Вуглекислий газ.** Результати проведених вимірювань з визначення концентрації вуглекислого газу наведені в табл. 2.

ТАБЛИЦЯ 2. Вихідний сигнал приладу (мВ) для вуглекислого газу

Тип ПГС та вміст CO2 в %	Номер спостереження					Середнє
	1	2	3	4	5	
Повітря, 0	32	31	28	29	33	30
№ 1, 2,1 %	2230	1980	2180	2020	2000	2082
№ 2, 4,2 %	4240	4050	4380	4310	4035	4203

За результатами вимірювань вуглекислого газу побудовано калібрувальну та градуювальну залежності, які показані на рис. 7. Градуювальна характеристика має лінійний вигляд:

$$C(\text{ppm}) = 10,06V_{\text{INF}}(\text{мВ}) - 184,2.$$

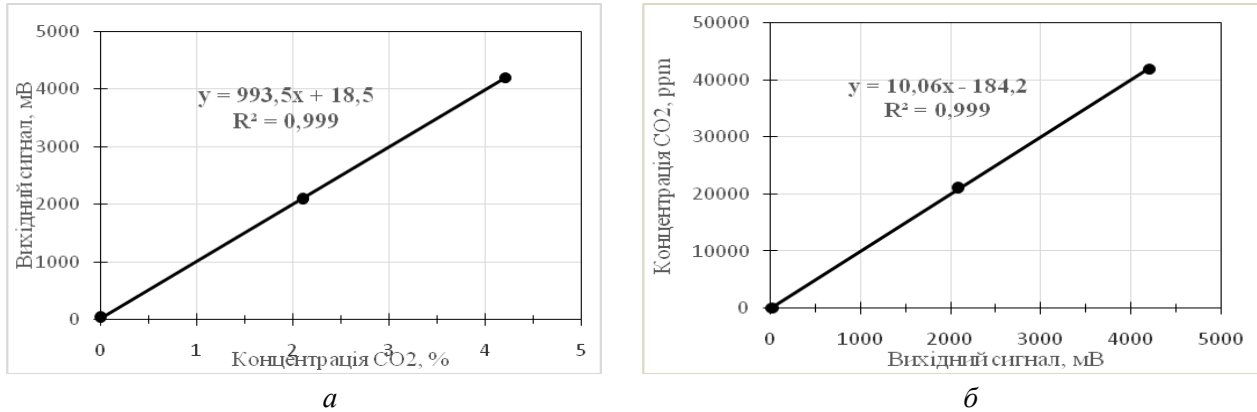


РИС. 7. Залежності газоаналізатора для вуглекислого газу: *a* – калібрувальна, *б* – градувальна

**4.2. Кисень.** В результаті проведених вимірювань були отримані дані з визначення концентрації газу кисню (табл. 3). За результатами вимірювань побудовано калібрувальну та градувальну залежність, які показані на рис. 8. Градувальна характеристика має вигляд:

$$C(\text{ppm}) = 99,73V_{\text{INF}}(\text{мВ}) + 477,1.$$

ТАБЛИЦЯ 3. Вихідний сигнал приладу (мВ) для кисню

Тип ПГС та вміст O <sub>2</sub> в %	Номер спостереження					
	1	2	3	4	5	Середнє
№ 1, 12 %	1192	1211	1207	1189	1193	1198,4
№ 2, 14 %	1387	1392	1413	1384	1415	1398,2
№ 3, 16 %	1583	1621	1592	1614	1588	1599,6
№ 4, 1 %	1786	1824	1793	1817	1789	1801,8
№ 5, 21 %	2081	2115	2084	2112	2107	2099,8

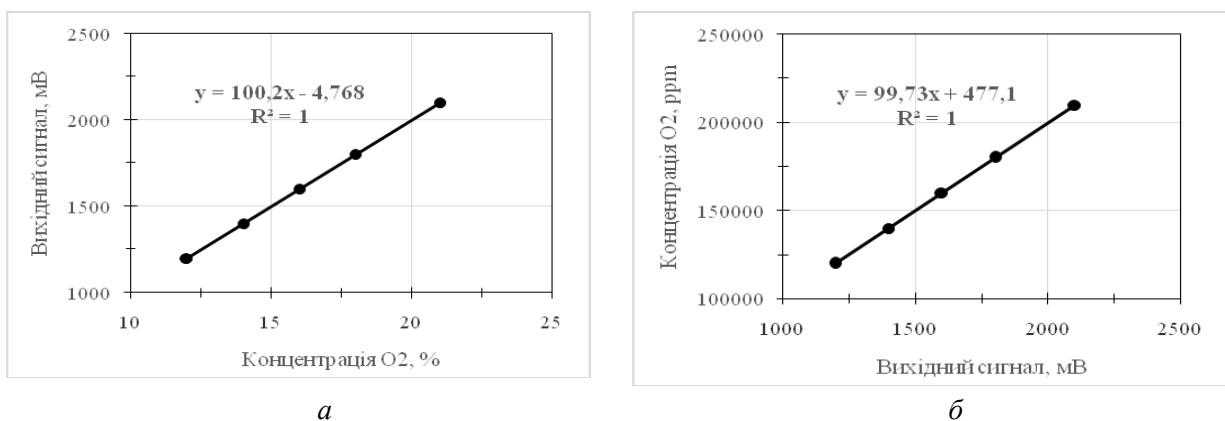


РИС. 8. Залежності газоаналізатора для кисню: *a* – калібрувальна, *б* – градувальна

**4.3. Чадний газ.** В результаті проведених вимірювань були отримані дані з роботи сенсорного модуля визначення концентрації чадного газу (табл. 4). За результатами вимірювань чадного газу побудовано калібрувальну та градувальну залежності, які показані на рис. 9. Отже, за результатами градувальна характеристика має наступний вигляд:

$$C(\text{ppm}) = 2,143V_{\text{INF}}(\text{мВ}) - 109,2 .$$

ТАБЛИЦЯ 4. Вихідний сигнал приладу (мВ) від чадного газу

Тип ПГС та вміст CO в %	Номер спостереження					
	1	2	3	4	5	Середнє
№ 1, 0.1 %	538	541	543	539	538	539,8
№ 2, 0.35 %	1638	1642	1643	1641	1639	1640,6
№ 3, 0.5 %	2364	2374	2375	2373	2365	2370,2
№ 4, 0.55 %	2663	2673	2674	2672	2667	2669,8
№ 5, 0.57 %	2684	2694	2695	2693	2684	2690,0

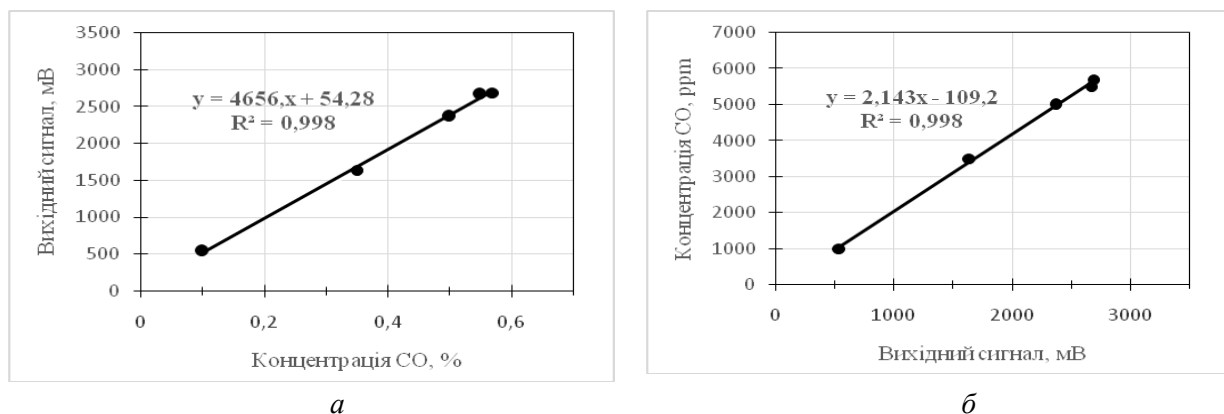


РИС. 9. Залежності газоаналізатора для чадного газу: а – калібрувальна, б – градувальна

### Висновки та обговорення.

В результаті виконання роботи створено дослідний зразок приладу, проведено його тестування, калібрування та градування в ДП «Укрметртестстандарт» [13], виконавець – відділ газоаналізу НВІ вимірювань складу, властивостей, кількості речовин і матеріалів та оцінки відповідності ЗВТ, ДП «Укрметртестстандарт», у підсумку отримано 4 свідоцтва:

1) газоаналізатор МГАК(П)8, № 01, визначення частки CO<sub>2</sub>; свідоцтво про ДМА № 12-13709 від 29.07.2014 р.;

2) газоаналізатор МГАК(П)8, № 01, визначення частки кисню; свідоцтво про ДМА № 12-14632 від 25.11.2015 р.;

3) газоаналізатор МГАК(П)8, № 01, визначення частки CO<sub>2</sub>; свідоцтво про ДМА № 12-14859 від 13.06.2016 р.;

4) газоаналізатор МГАК(П)8, № 01, визначення частки CO; свідоцтво про ДМА № 12-14989 від 5.09.2016 р.

Отримані метрологічні характеристики зведено в табл. 5.



ТАБЛИЦЯ 5. Результати, отримані в ДП «Укрметртестстандарт»

Газ	Метрологічна характеристика	Значення
CO <sub>2</sub> (2014)	Діапазон вимірювань, %	0–4,5
	Границі допустимої основної похибки в інтервалах діапазону вимірювань, %	–
	Абсолютна, від 0–0,2 %	± 0,04
	Відносна, понад 0,2 %	± 20
CO <sub>2</sub> (2016)	Діапазон вимірювань, %	0–5
	Границі основної абсолютної похибки, %	± 0,5
O <sub>2</sub>	Діапазон вимірювань, %	0–21
	Границі основної абсолютної похибки, %	± 0,5
CO	Діапазон вимірювань, %	0–1
	Границі основної абсолютної похибки, %	± 0,1

В 2014 році з вуглекислого газу через деградацію сенсора була отримана велика відносна похибка ( $\pm 20\%$  у діапазоні концентрацій більше  $0,2\%$ ), тому калібрування було повторено після вдосконалення конструкції та використано новий сенсор. В результаті, границі основної абсолютної похибки за різними газами знаходяться у діапазоні  $0,1\text{--}0,5\%$ , що свідчить про досить високий рівень створеного приладу. Прилад тестувався для аналізу видиху людини на основі оцінки коефіцієнта газообміну за кількістю споживаного кисню і вуглекислого газу [14].

**Подяки.** Автори висловлюють подяку с.н.с. відділу № 220 **М.І. Ходаковському**, співробітникам відділу газоаналізу ДП «Укрметртестстандарт» О.С. Левбаргу, Д.М. Мельнику, Ю.М. Магдичу за отримані консультації, поради та калібрування. Робота виконана за проектом «Розробка, дослідна експлуатація та впровадження у виробництво біомедичних інформаційно-діагностичних систем та інтелектуальних сенсорних приладів» (керівник – д-р техн. наук М.М. Будник), в рамках цільової програми наукових досліджень НАН України «Розумні» сенсорні прилади нового покоління на основі сучасних матеріалів та технологій» на 2018–2022 рр.

#### Список літератури

1. Будник М.М. Оптичні біомедичні прилади та їх метрологічне забезпечення. *Тези доповідей X міжнародної науково-технічної конференції «Метрологія та вимірювальна техніка»*. 5–7 жовтня 2016 р. Інститут метрології. Харків. 2016. С.120. <http://www.metrology.kharkov.ua/index.php?id=mvt2016>
2. Ходаковський М.І., Будник М.М., Лебедева Т.С., Шпильовий П.Б., Мержвинський П.А., Дегтярук В.І., Риженко Т.М., Тимошенко Я.М., Грищенко Л.В., Расчектаєва А.І., Тимофеев Є.П. Забезпечення єдності вимірювань в біомедичних оптичних приладах, *Метрологія та прилади*. 2017. № 1 (63). С. 25–36. <https://mmi-journal.org/index.php/journal/issue/view/2>
3. Ходаковський М.І., Будник М.М., Риженко Т.М., Лебедева Т.С., Шпильовий П.Б., Мудренко М.І., Тимошенко Я.М. Розроблення метрологічного забезпечення рефрактометричних вимірювань на основі поверхневого плазмонного резонансу. *Метрологія та прилади*. 2017. № 5 (67). С. 25–31. <https://mmi-journal.org/index.php/journal/issue/view/13>
4. Ходаковський М.І., Будник М.М., Риженко Т.М., Мержвинський П.А., Мудренко М.І., Тимошенко Я.М., Грищенко Л.В., Расчектаєва А.І., Тимофеев Є.П. Оптичні вимірювання для неінвазивної гемоглобінометрії. *Український метрологічний журнал*. 2017. № 4. С. 53–64. <https://doi.org/10.24027/2306-7039.4.2017.125515>
5. ДСТУ 2595-94. Прилади вимірювання та апаратура функціональної діагностики. Київ: Держстандарт. 1994. 43 с. <http://shop.uas.org.ua/ua/katalog-normativnih-dokumentiv/11-okhorona-zdorovya/priladi-vimirjuval-ni-ta-aparatura-funkcional-noi-diaagnostiki-termini-ta-viznachennja.html>

6. Остапенко О.Ю., Мерзвинський П.А., Лукаш С.І. Розробка комп'ютерної програми газоаналізатора вуглекислого газу. *Біологічна і медична інформатика та кібернетика (БМІК-2014): матеріали щорічної науково-технічної школи-семінару*. Київ: Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України. 2014. С. 116–121. <https://www.nas.gov.ua/publications/books/SiteBook/Pages/default.aspx?ffn1=ISBN&fft1=Eq&ffv1=978-966-02-7206-4>
7. Лукаш С.І., Вакал Л.П. Розробка методики вимірів маркерних газів у повітрі дихання. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2012. № 11. С. 84–86. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/46491>
8. Лукаш С.І., Будник М.М. Спосіб калібрування мультисенсорного газоаналізатора та пристрій для його реалізації. Патент на винахід UA 105054. Опубл. 10.04.2014. Бюл. № 7. 2014. 19 с. <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1018034/>
9. Електронний ресурс: <https://www.umweltsensortechnik.de/en/gas-sensors/mox-gas-sensors-types.html> (звернення: 14.09.2022)
10. ДСТУ EN 45544-1:2009. Повітря робочої зони. Електричні прилади для безпосереднього виявлення та безпосереднього вимірювання вмісту токсичних газів і парів. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2009. 38 с. <https://www.en-standard.eu/csn-en-45544-1-workplace-atmospheres-electrical-apparatus-used-for-the-direct-detection-and-direct-concentration-measurement-of-toxic-gases-and-vapours-part-1-general-requirements-and-test-methods/>
11. ТУУ 24.1-02568182-001:2005 «Анализ газов. Поверочные газовые смеси. Технические условия». Київ: ДП «Укрметрестандарт». 2005. 32 с. <http://www.ukrcsm.kiev.ua/>
12. Лукаш С.І., Воля О.П., Будник М.М. Спосіб калібрування мультисенсорного газоаналізатора. Патент UA 74213 U, G01N 21/61, G01N 35/00, Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, заявл. 12.03.2012, заявка № u 2012 02875, опубл. 25.10.2012. Офіційний Бюлетень «Промислова власність» № 20. 2012. С. 496. <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/627842/>
13. Ходаковський М.І., Дегтярук В.І., Лукаш С.І., Будник М.М. Особливості метрологічної атестації оптичних та газоаналітичних медичних приладів. *Збірник наукових праць «Біологічна і медична інформатика та кібернетика»*, відп. ред. М. Будник, Київ: Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, 2019. С. 113–115. <https://www.nas.gov.ua/UA/Book/Pages/default.aspx?BookID=0000015616>
14. Ходаковський М.І., Будник М.М., Кобзар Т.А., Крячок Т.В., Використання мультисенсорного газо-аналізатора для тестування складу повітря при диханні людини. *Системи керування та комп'ютери*. 2019. № 3. С. 60–69. <https://doi.org/10.15407/csc.2019.03.060>

Одержано 26.09.2022

**Будник Віталій Миколайович,**

кандидат технічних наук, науковий співробітник  
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,  
<https://orcid.org/0000-0001-6296-4065>  
[budnykv@meta.ua](mailto:budnykv@meta.ua)

**Мудренко Максим Ігоревич,**

провідний інженер-програміст  
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,

**Лукаш Сергій Іванович,**

науковий співробітник  
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,

**Будник Микола Миколайович,**

доктор технічних наук, головний науковий співробітник  
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ.  
<http://orcid.org/0000-0002-4020-0213>  
[budnyk@meta.ua](mailto:budnyk@meta.ua)

MSC 76N15

Vitalii Budnyk \*, Maksym Mudrenko, Serhii Lukash, Mykola Budnyk

**Calibrating and Graduating of Multi-Sensor Gas Analyzer***V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Kyiv*\* Correspondence: [budnykv@meta.ua](mailto:budnykv@meta.ua)

**Introduction.** The article is devoted to the calibration and graduation of the multi-sensor gas analyzer developed at the V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of National Academy of Sciences of Ukraine. The modern trend in the development of medical equipment, in particular, containing built-in measuring devices, consists in its miniaturization, intellectualization, the use of information technologies, and the introduction of wireless and network means of data transmission.

**The purpose** of the article is to design, create electronics and software for recording the concentration of three gases (oxygen, carbon dioxide and carbon monoxide), test and calibrate the device.

**Results.** Three prototypes of sensor modules for oxygen, carbon dioxide and carbon monoxide have been created. The structure, scheme of connection of sensor modules, and the principle of operation of the gas analyzer was described. Testing and optimization of these prototypes were performed. Auxiliary pneumatic equipment for checking the performance of devices, their calibration and graduation was manufactured. Measurement technique was developed and test measurements of the specified gases were performed. The calibration technique was developed and the device was calibrated using two test gas samples such as ethanol vapor and air-gas mixture of carbon dioxide. In addition, a special software has been developed, which allow observe a registered input signal from sensor modules and store it to the file.

**Conclusions.** As a result of the work, prototype of the device was created, its testing, calibration and graduation were carried out at the State Enterprise "Ukrmetrteststandart", 4 certificates of metrological attestation were obtained. The gas analyzer can be used for screening of healthy persons based on study of exhalation to predict the risk of diseases.

**Keywords:** multi-sensor gas analyzer, oxygen, carbon dioxide, carbon monoxide, calibration, graduation.