

УДК 535.34: 621.373.82Б: 611.814.1: 615.84

В.І. Зубчук, канд. техн. наук, А.В. Кратік, В.Ф. Сташкевич, В.С. Якімчук

Експрес-діагностика на засадах селективних газоаналізаторів та аналіз похибок

Рассмотрены особенности реализации экспрес-диагностики с помощью системы «Электронный нос» (ЭН) в среде LabVIEW. Такая система состоит из набора селективных сенсоров, усилителей-фильтров, аналого-цифрового преобразователя и компьютера для регистрации, распознавания, визуализации и документирования диагностических процедур. Проанализированы основные виды ошибок при использовании амперметрических селективных датчиков. Программно-аппаратные средства LabVIEW обеспечивают оперативные изменения структуры ЭН путём выбора необходимого состава датчиков и методов распознавания результатов измерений.

Effective ENose system is realized with using firmware National Instruments LabVIEW. Such system contains sampler with set of selective gas sensors, amplifier-filters block, analog-digital converter and computer interface elements, which provide registration, recognition, visualization and documentation of diagnostic procedures. LabVIEW environment allows quickly calibrate the sensors channels, and if necessary to change the number and types of sensors that use different methods of recognition, just to rebuild the system to new tasks.

Ключові слова: експрес-діагностика, «електронний ніс», LabVIEW.

Вступ

Експрес-діагностика в медичній практиці набуває все більшого значення, оскільки дозволяє оперативно оцінювати функціональний стан обстежуваного, виявляти патологічні відхилення на ранній стадії і, що особливо важливо, контролювати стан здоров'я з ціллю його корекції до виходу за межі норми. Для реалізації такого підходу треба визначити необхідний і достатній набір контрольованих параметрів та розробити методи і засоби їхнього контролю, що повинні відповідати вимогам: об'єктивність, оперативність, неінвазивність, висока чутливість, дешевизна, відсутність впливу на обстежуваного, простота реалізації процедур обстеження.

Серед методів експрес-діагностики досить перспективною являється експрес-діагностика на основі селективних газоаналізаторів, апаратну реалізацію якої образно називають «Електронний ніс» (ЕН). Використання високочутливих селективних газових сенсорів дозволяє будувати діагностичну апаратуру з досить швидким отримання результатів і без витрат розхідних матеріалів.

Як відомо, обмін речовин в організмі людини в основному відбувається через кров, яка, в свою чергу, циркулює по всьому організму. Відповідно, у випадку виникнення патологій, процес обміну речовин порушується і хімічний склад речовин, які потрапляють у кров в процесі життєдіяльності клітин, буде відрізнятися від хімічного складу, властивого здоровому організму. Далі кров циркулює через легені, де відбувається вивільнення продуктів обміну із еритроцитів в альвеоли і насичення еритроцитів киснем. Коли людина видихає, продукти життєдіяльності клітин всього організму потрапляють в зовнішнє середовище через органи дихання. Відповідно, якщо сконструювати прилад, який буде вимірювати концентрацію газових компонентів у повітрі, що видихається людиною, то при достатній чутливості даного приладу, можливо буде визначити залежності між концентрацією газових компонентів повітря, що видихається людиною, та її функціональним станом. При правильному підході це дозволить виявляти різноманітні захворювання на ранніх етапах їх проявлення. Саме такий механізм покликаний реалізувати прилад, який представлений в даній статті.

Методи і засоби

У загальному випадку до складу пристрою ЕН (рис.1) входить набір селективних сенсорів (D1...Dn), що через підсилювачі (П1...Пn), програмно керований аналоговий мультиплексор і аналого-цифровий перетворювач (АЦП) підключаються до комп'ютера для відображення результатів вимірювання, формування бази даних з результатів вимірів і супровідної інформації [1].

Технічні параметри ЕН прямо залежать від параметрів селективних сенсорів, тому вибір типу, кількості і параметрів чутливості сенсорів є важливим етапом у проектуванні таких пристроїв. На рис. 2 наведено класифікацію хімічних сенсорів [2], які принципово можуть бути використані у системі ЕН.

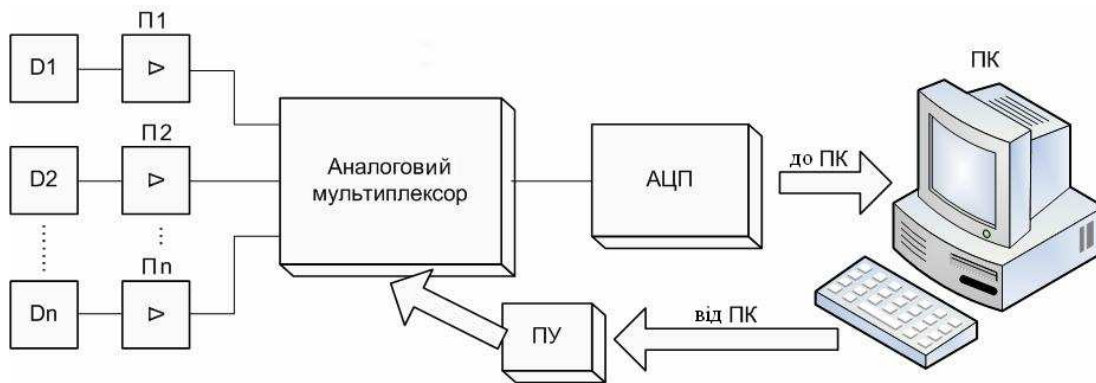


Рис. 1. Функціональна схема пристрою ЕН



Рис. 2. Класифікація хімічних сенсорів

В даній роботі були використані електрохімічні амперометричні сенсори (АС), що розроблені на кафедрі технології електрохімічних виробництв хіміко-технологічного факультету НТУУ «КПІ». Дані сенсори побудовані на основі твердотілих систем із протонопровідними і матричними електролітами. Параметри деяких різновидів такого типу сенсорів наведені в таблиці [3].

Типова характеристика залежності струму амперометричного сенсора від концентрації газу, для ідентифікації якого спроектований сенсор, наведена на рис. 3, а.

Крутість характеристики визначає чутливість К сенсора (вимірювану в мкА/ppm), а лінійна ді-

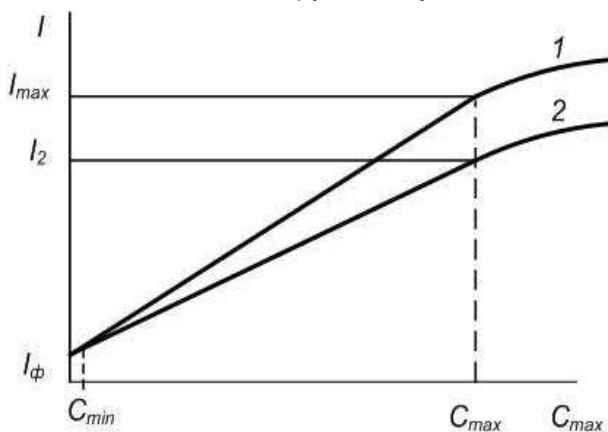
лянка характеристики - діапазон вимірюваних концентрацій і відповідних їм значень вихідного струму сенсора. Чутливість К амперометричних сенсорів істотно відрізняється для різних типів газів і має порядок $K [\text{мкА/ppm}] = 0.001 \dots 1$. При цьому характеристики на рис. 3,а не проходять через початок координат внаслідок існування деякого фонового струму I_{ϕ} при нульовій концентрації відповідного газового компонента в пробі. Фоновий струм I_{ϕ} залежить від температури навколишнього середовища, вологості і змінюється в процесі старіння сенсора. Усе це накладає певні вимоги до електронного підсилювача, що перетворює токовий сигнал АС у

Таблиця 1. Технічні характеристики сенсорів

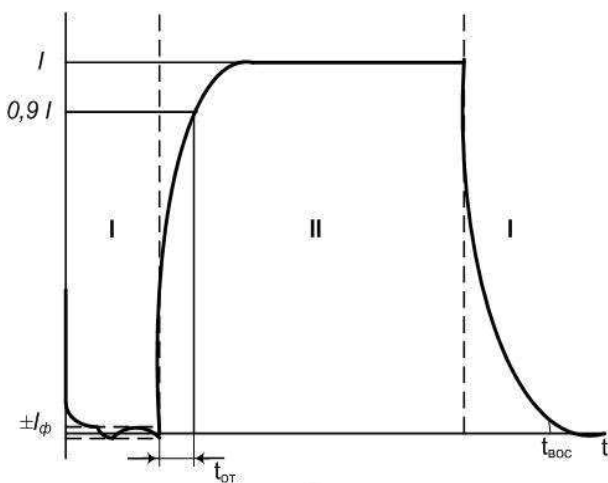
Газ	Тип сенсора	Мін. і макс. діапазони вимірювань, ppm	Час відгуку, $t_{0,9}$, с	Розділ. здатність, ppm	Чутливість, mA/ppm
Аміак	NH ₃ , Sensor E-2	0-20, 0-5000	< 40	1	0,02±0,005
Хлор	Cl ₂ , Sensor E-2	0-5, 0-2500	< 40	0,05	-
Сірководень	H ₂ S, Sensor E-3	0-10, 0-1000	< 30	0,2	1±0,3
Двоокис сірки	SO ₂ , Sensor E-3	0-100, 0-1000	< 30	1	-
Окис азоту	NO, Sensor E-3	0-20, 0-2500	< 20	1	-
Фтороводень	HF, Sensor E-2	0-10, 0-200	< 60	0,3	-
Кисень	O ₂ , Sensor E-2	0 – 30 %	< 10	0,1 %	-

напругу, яка подається на АЦП. Основні вимоги до електронного підсилювача зводяться до наступного:

- забезпечення необхідного передавального опору
- компенсація фоновому струму I_ϕ ;
- фільтрація промислових перешкод;
- мінімальний вхідний опір;
- забезпечення калібрування чутливості.



а



б

Рис. 3. а- характеристика чутливості сенсора (1) з урахуванням старіння (2); б - динаміка формування відклику

На рис. 4 зображена принципова схема підсилювача-фільтра з токовим входом, до входу якого підключаються АС. Вихідний сигнал підсилювача формується у часі в залежності від концентрації вимірюваного газового компоненту і відповідно їй струм сенсора $I(t)$ змінюється по експоненціальному закону [3]:

$$I(t) = I_x - (I_x - I_\phi) \exp(-t / \tau_s), \quad (1)$$

де I_x – асимптотичне значення струму сенсора, яке необхідно визначити; I_ϕ – фоновий струм сенсора, який залежить від температури і має суттєвий статистичний розкид; τ_s – стала експоненти, параметр сенсора, нормований виробником.

Фоновий струм сенсора I_ϕ вносить основну методологічну похибку вимірювань, оскільки ЕН призначається для роботи в умовах змінної температури, вологості, тиску. Тому необхідно передбачити можливість визначення асимптотичного значення струму I_x без урахування впливу фоновому струму I_ϕ . Нами запропонований спосіб вимірювання асимптотичного значення струму сенсора I_x без впливу фоновому струму I_ϕ . Суть його полягає у вимірюванні і реєстрації процесу зміни струму сенсора у часі згідно виразу (1). При наявності хоча б двох значень струму I_1, I_2 у моменти часу t_1, t_2 асимптотичний показник сенсора може бути визначений за допомогою виразу:

$$I_x = \frac{\left\{ I_2 - I_1 \exp\left[\frac{(t_1 - t_2)}{\tau_s}\right] \right\}}{\left[\exp\left(\frac{-t_1}{\tau_s}\right) - \exp\left(\frac{-t_2}{\tau_s}\right) \right]}, \quad (2)$$

Як видно з (2) величина I_x не залежить від фоновому струму I_ϕ . Завдяки цьому пристрій ЕН може працювати в умовах зміни параметрів оточуючого середовища, не потребує попередньої калібрування та компенсаційних налаштувань підсилювачів. Обчислення значення I_x згідно виразу (2) зручно реалізувати у середовищі LabVIEW.

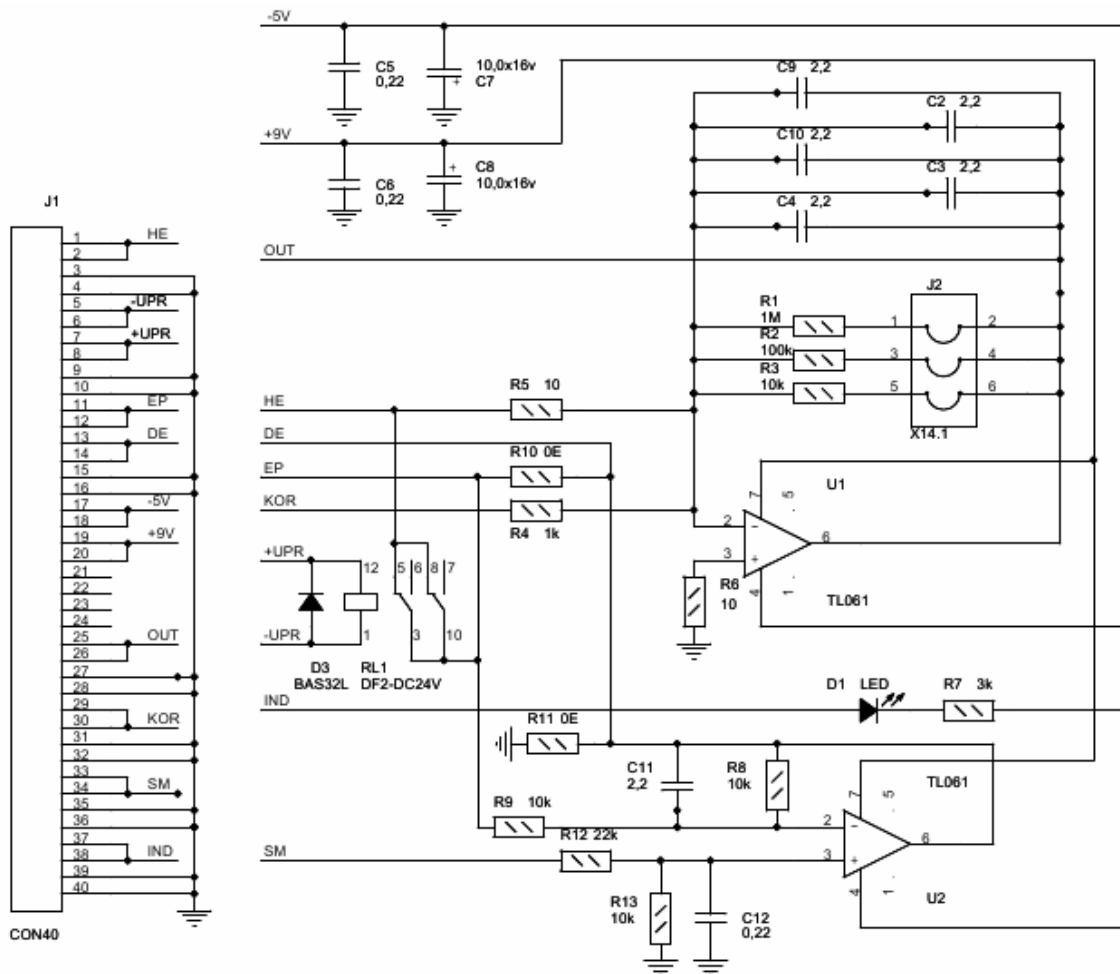


Рис. 4. Принципова схема одного каналу підсилювання

Для ефективної роботи з приладом, критично важливо організувати його взаємодію із комп'ютером, що дозволить автоматизувати процес збору даних та наглядно відображати результати вимірювання. Програмну частину ЕН було вирішено реалізувати в середовищі LabVIEW 7. Такий підхід має як переваги, так і деякі обмеження.

- Основні переваги при використанні LabVIEW 7 :
- Широкий спектр типів АЦП, робота з якими можлива із середовища LabVIEW.
 - Простота підключення різних типів АЦП та гнучкість структури ЕН.
 - Простота обробки та візуалізації результатів дослідження
 - Можливі обмеження LabVIEW 7:
 - Висока вартість АЦП.
 - Висока вартість ліцензії LabVIEW.
 - Неможливість створення виконуваних файлів, тобто для запуску написаної програми необхідно встановити LabVIEW 7 (в нових версіях LabVIEW така можливість вже реалізована, але для вирішення поточних задач цілком достатньо і більш старої версії LabVIEW 7).
 - Складність реалізації графічного інтерфейсу, яка зумовлена відсутністю динамічної

компоновки графічних елементів та складністю обробки подій графічного інтерфейсу.

Тим не менше переваги засобів LabVIEW компенсують існуючі обмеження, особливо при реалізації систем з гнучкою структурою і з необхідністю математичної обробки інформації в режимі on line. Крім того, фірмою National Instruments розроблені та пропонуються користувачам технічні засоби для комплексування цифрових вимірювальних пристроїв з обчислювальним середовищем. Важливим компонентом таких систем є аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі.

На рис. 5 зображений програмний елемент Event structure, всередині якого знаходиться набір віртуальних приладів, що реалізують логіку запуску вимірювання після натиснення на кнопку START. VI DAQ Assistant надає нам інтерфейс взаємодії з АЦП NI USB-6009 (рис.6). Тут необхідно вказати входні параметри, що визначають умови роботи АЦП: частоту дискретизації (Rate_num) та розмір буферу даних (Ratix_num). На виході приладу (data) отримуємо дані вимірювання, які відображаються на графіку та записуються в таблицю.

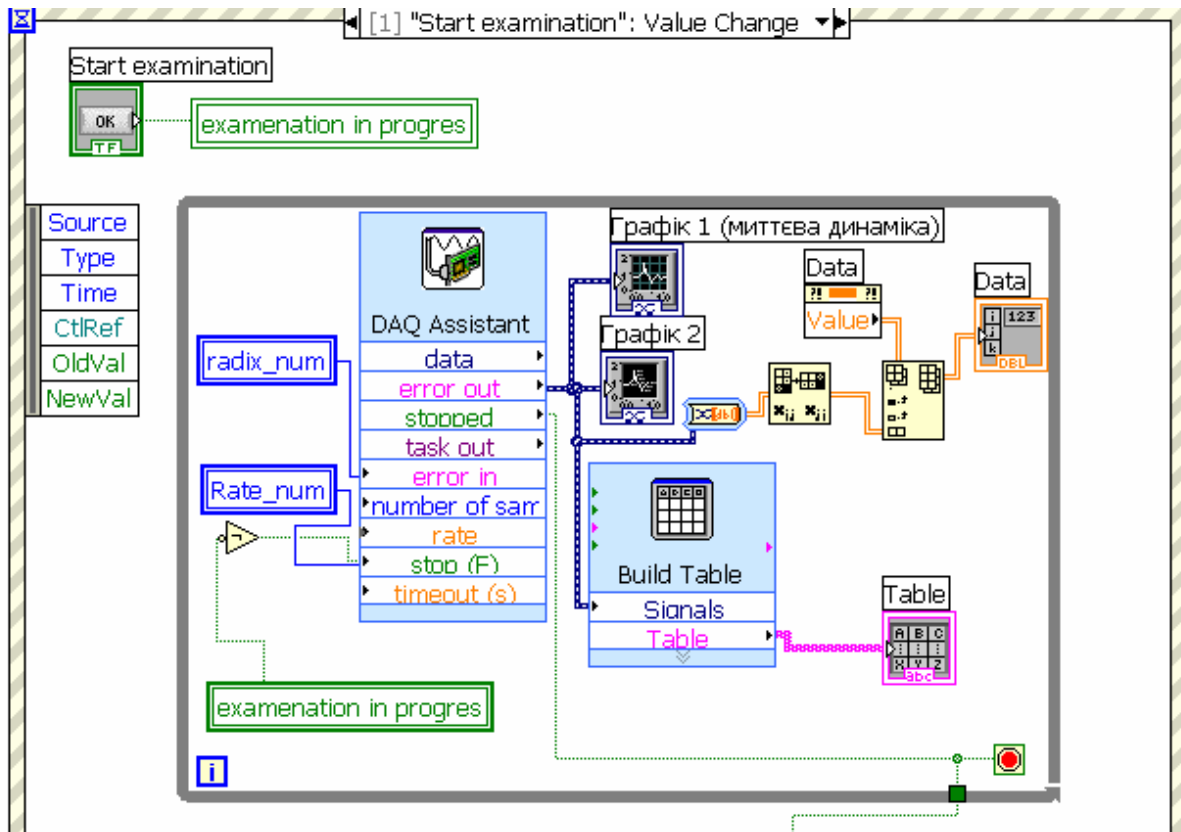


Рис. 5. Частина програмного коду, яка відповідає за підключення до АЦП та виведення результатів дослідження на графік



Рис. 6. АЦП National Instruments USB-6009

Результати

Досвід використання амперметричних електрохімічних сенсорів дозволяє зробити висновок, що достовірність результатів експрес-діагностики визначається чутливістю сенсорів, стабільністю електронних підсилювачів, розрядністю АЦП, коливаннями температури і вологості навколишнього середовища. Основні похибки такої системи обумовлені динамікою формування амперметричними сенсорами вихідного струму, пропорційного концентрації відповідного газового компонента і лінійністю передаточної

характеристики концентрація-струм. Відклики сенсорів зручно відображаються засобами LabVIEW (рис.7), що дозволяє мінімізувати динамічну похибку.

Таким чином, було розроблено 7-канальний програмно-апаратний комплекс «Електронний ніс» з набором амперметричних сенсорів, наведених у таб.1 (рис. 8), розроблена база для реєстрації антропометричних даних та даних вимірювань проб повітря видиху обстежуваних, розпочато процес вимірювання тестових проб та накопичення даних вимірювань груп обстежуваних, класифікованих за гендерною та віковою ознакою.

Висновки

- Розроблений пристрій ЕН на засадах селективних амперметричних сенсорів з використанням засобів LabVIEW.
- Проаналізовані основні типи статичних і динамічних похибок. Запропонований спосіб нейтралізації впливу фоновому струму сенсорів на результати вимірювань.
- Засоби LabVIEW забезпечують можливість побудови систем експрес-діагностики типу ЕН із гнучкою структурою, дозволяють контролювати, мінімізувати похибки системи і обробляти результати вимірювань.

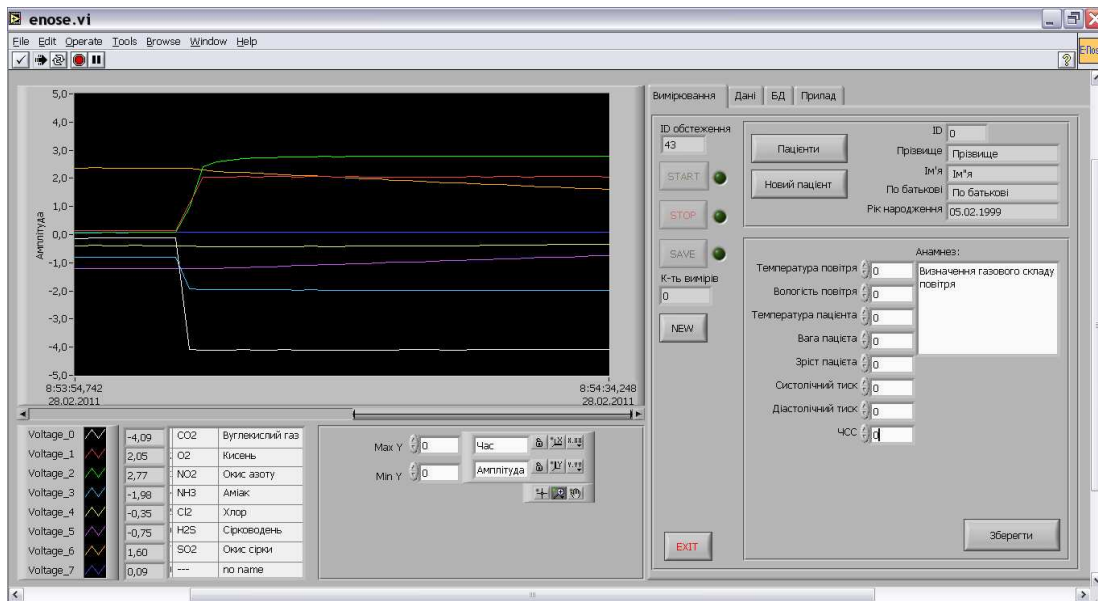


Рис. 7. Головне вікно програми EH, реалізованого у середовищі LabVIEW 7

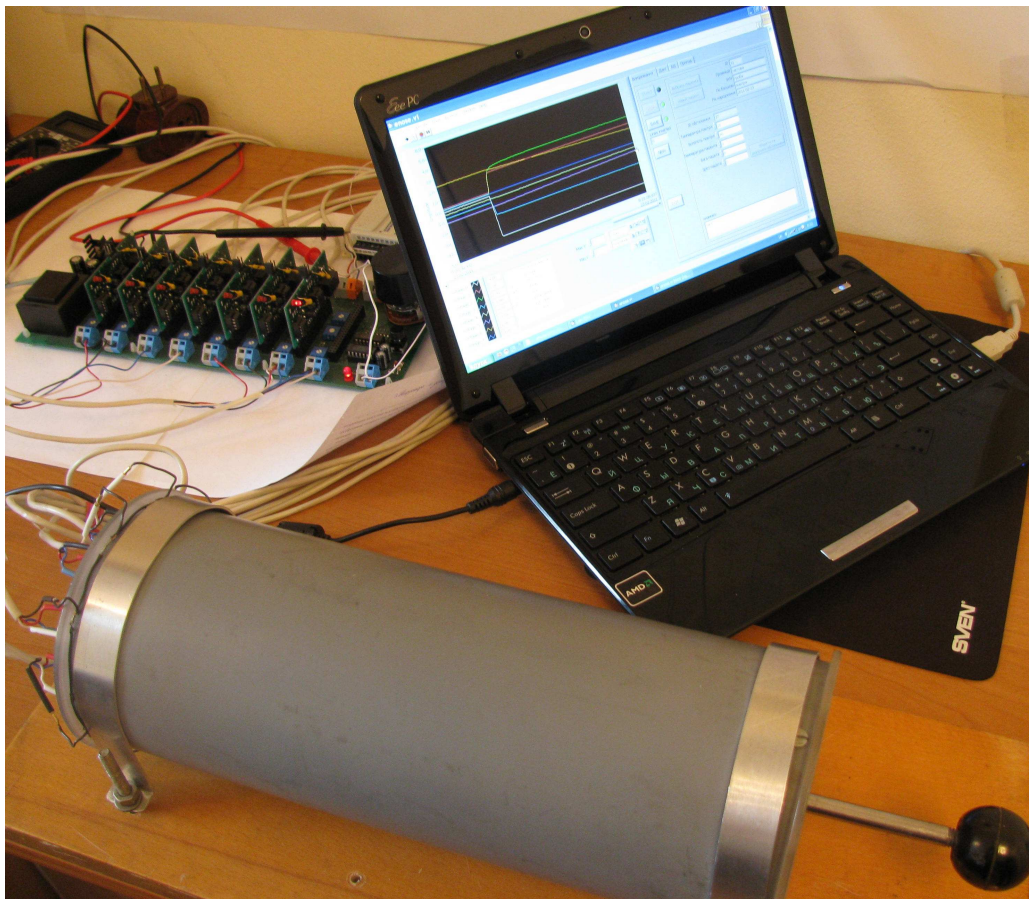


Рис. 8. Програмно-апаратний комплекс «Електронний ніс»

Література

1. *Зубчук В.И., Кратик А.В., Сташкевич В.Ф., Якимчук В.С.* О чувствительности диагностических газоанализаторов / *Электроника и связь.* - 2009.- Ч.2.-С. 222-224.
2. *Долгополов Н., Яблоков М.* *Электроника: Наука, Технология, Бизнес.* Журн. 1/2008.
3. *Чвірук В.П., Поляков С.Г., Герасименко Ю.С.* *Електрохімічний моніторинг техногенних середовищ.* / *Видавничий дім "Академпериодика" НАНУ.* Київ -2007. – 320 с.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»