

УДК 543.27; 57.087

РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Котовський В.Й., Осауленко В.Л., Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна

Стаття присвячена розробці схематехнічних та алгоритмічних рішень пристрою для дослідження газообмінних процесів біологічних об'єктів на базі плати ADC-DAC PCI-1602

Ключові слова: біологічний об'єкт, неінвазивна діагностика, парціальний тиск кисню, електрохімічний сенсор

Вступ

В ході виконання науково-дослідної роботи, пов'язаної з розробкою комплексного методу неінвазивної діагностики біологічних об'єктів (БО) [1], виникла необхідність у розробці лабораторного зразку пристрою для виміру та контролю парціального тиску кисню (pO_2) в крові та міжклітинній рідині.

Параметр pO_2 є найбільш інтегральним і чутливим індикатором контролю функціонального стану БО та ефективності застосованих методик лікування. Визначення pO_2 в крові та міжклітинній рідині необхідно практично в усіх областях біомедицини, а клінічні та експериментальні дослідження в значній мірі залежать від можливостей використаних технічних засобів [2,3].

В медичній практиці, для визначення та контролю pO_2 , використовуються прилади в основу роботи яких закладені електрохімічні методи аналізу. Такими є, наприклад, газоаналізатори TCM3 Radiometer (Данія), TCO₂M Respiration Inc. (США), які головним чином призначені для цілодобового моніторингу пацієнтів в умовах лікарні [4]. Незважаючи на високі метрологічні характеристики, ці прилади не в повній мірі задовольняють потреби при проведенні дослідницьких робіт пов'язаних з вимірюванням та контролем вмісту кисню (O_2) в міжклітинній рідині. Наприклад спостерігається недостатня швидкодія, що ускладнює обробку даних у режимі реального часу. Крім того, зазначені прилади мають досить високу ціну. В Україні подібні прилади не виробляються.

Підвищення метрологічних характеристик, до певних границь, досягається зменшенням площі робочого електроду чутливого елемента (сенсора O_2), що веде до зменшення витрат кисню на аналіз, а відповідно, і впливу приладу на об'єкт дослідження. В роботах [5,6] запропонована технологія виготовлення транскутанного сенсора O_2 , який має оптимальні конструктивні параметри з задовільними експлуатаційними характеристиками, що разом з використанням нових методів обробки вихідних сигналів, відкриває нові перспективи підвищення технічних характеристик приладів для визначення та контролю pO_2 в живому організмі.

Пристрій, що пропонується, створено на базі плати аналогово-цифрового (АЦП) і цифро-аналогового (ЦАП) перетворення (ADC-DAC) типу PCI-1602.

Функціональна схема пристрою

Функціональна схема пристрою для неінвазивних досліджень газообмінних

процесів в організмі БО за допомогою транскутанного сенсора кисню (ТСК) електрохімічного типу, наведена на рисунку 1.

Пристрій складається з: транскутанного сенсора кисню, що містить в собі електрохімічну комірку 1, нагрівач 2 і елемент термостабілізації (датчик температури) 3; блока узгодження (БУ), що містить в собі стабілізатор температури 4, вимірювач температури 5, підсилювач сигналу 6 сенсора кисню, формувач напруги поляризації 7 електрохімічної комірки 1; персонального комп'ютера (ПК), у системному блоці якого розташована плата ADC-DAC PCI-1602 і плата сполучення БУ ТСК.

Електрохімічна комірка 1 виконана на базі модифікованого полярографічного електроду типу Clark із платиновим катодом і срібним анодом [6].

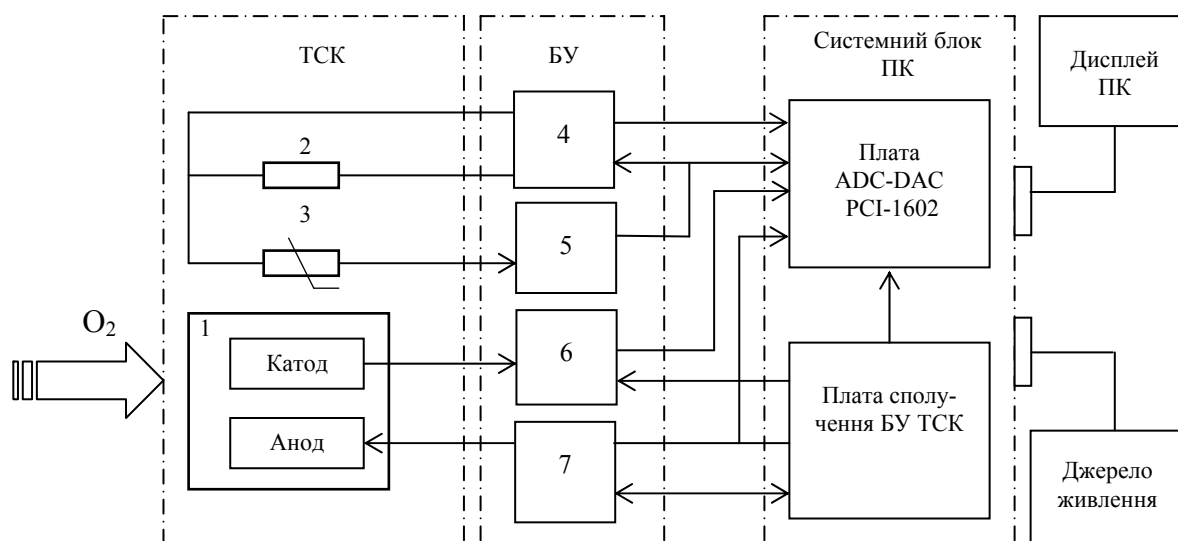


Рис. 1. Функціональна схема пристрою

Для нормального функціонування комірки на анод необхідно подавати зовнішню напругу поляризації 0,5В. Сигналом з катода комірки служить струм, пропорційний вмісту O_2 у вимірюваному середовищі. Середній коефіцієнт перетворення (при температурі 37°C) становить 10–50 нА/160мм рт.ст.

Щоб полегшити дифузію O_2 через шкіру, ТСК необхідно нагріти до певної температури. Цю функцію виконує нагрівач 2 системи термостабілізації. Коли на пристрій подається напруга живлення, ТСК автоматично нагрівається до робочої температури, яка вибирається заздалегідь. Ця температура може встановлюватися в діапазоні від 37° С до 45°С зі збільшеннями по 0,5° С, що відображається на дисплеї.

Елемент термостабілізації (датчик температури) 3 представляє собою тонкоплівковий нікелевий термометр опору.

Функціональну схему плати ADC-DAC PCI-1602 наведено на рис. 2.

Плата сполучення БУ ТСК забезпечує подачу напруги живлення й цифрових ліній вводу-виводу плати ADC-DAC PCI-1602 на БУ.

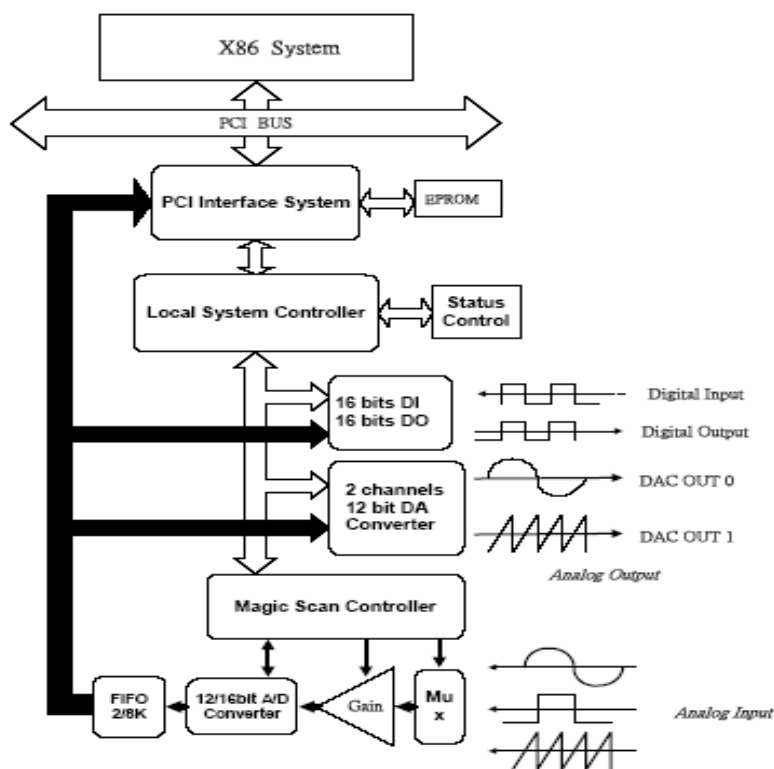


Рис. 2. Функціональна схема плати ADC-DAC PCI-1602

Алгоритм роботи пристрою за структурною схемою

Коли O_2 через шкіру попадає на сенсор (рис.1), молекули цього газу дифундують через мембрану (на рисунку не показана) і викликають електрохімічну реакцію, що приводить до протікання струму через катод.

Сигнал струму, пропорційний вмісту O_2 у вимірюваному середовищі з катода електрохімічної комірки 1 надходить на вхід підсилювача вихідного сигналу 6, де перетворюється в напругу і підсилюється до необхідного рівня. Після посилення напруга подається на вхід АЦП плати ADC-DAC PCI-1602, де перетворюється в цифрову форму і надходить у ПК для подальшої обробки. Напруга поляризації з виходу формувача 7 подається на анод електрохімічної комірки 1, забезпечуючи її робочий режим.

Для виміру температури ТСК призначений спеціальний вимірювач температури 5, у якому відбувається перетворення опору терморезистора, пропорційного вимірюваній температурі, в аналогову напругу, що потім надходить на вхід АЦП плати ADC-DAC PCI-1602 і на вхід стабілізатора температури 4. На другий вхід цього стабілізатора з виходу ЦАП плати ADC-DAC PCI-1602 надходить напруга, пропорційна температурі, яку має підтримувати система термостабілізації. З виходу стабілізатора 4 напруга подається на нагрівач 2. При зміні цієї напруги температура нагрівача 2 змінюється і у такий спосіб система термостабілізації підтримує необхідну температуру ТСК. ПК здійснює запам'ятовування і обробку інформації, а також індикацію pO_2 у значеннях мм рт. ст. і температури ТСК у градусах Цельсія.

Крім того, на монітор ПК виводиться інформація про локальну електричну потужність, у міліватах (мВт), яка необхідна ТСК для підтримки обраної температури.

Основні вузли пристрою та їх робота згідно електричних принципових схем

Схеми електричні принципові блоку узгодження ТСК з персональним комп'ютером представлені на рисунках 3 – 6

Стабілізатор температури представляє собою підсилювач неузгодженості системи термостабілізації ТСК, схема електрична принципова якого представлена на рисунку 3.

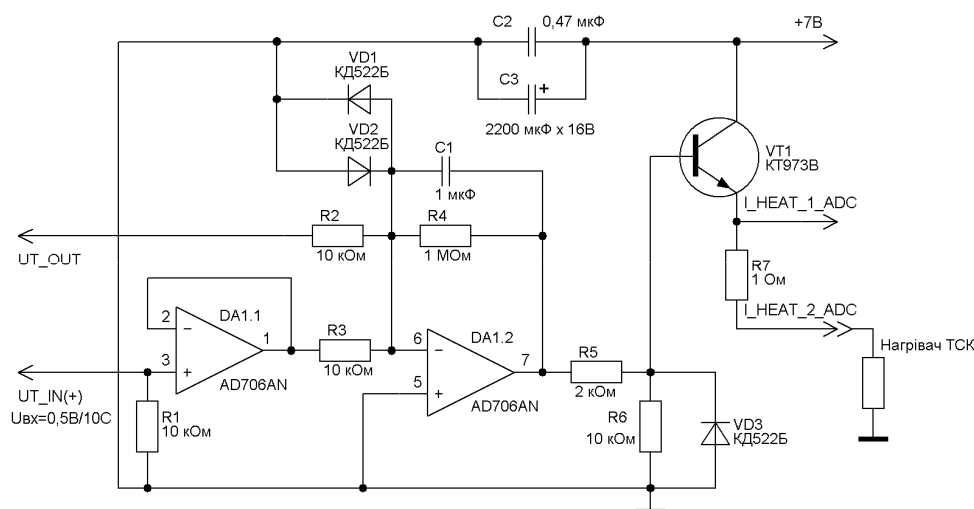


Рис. 3. Схема електрична принципова стабілізатора температури

Сигнал $UT_IN(+)$, пропорційний значенню температури ТСК (з коефіцієнтом перетворення $1В/10^{\circ}C$) з виходу ЦАП плати ADC-DAC PCI-1602 через буферний підсилювач (R1, DA1.1) надходить на перший вхід підсилювача неузгодженості (резистор R3). На другий вхід підсилювача неузгодженості (резистор R2) надходить сигнал UN_OUT з датчика температури, що відображує поточну температуру ТСК. На резисторах R2, R3 відбувається підсумовування цих сигналів. У випадку рівності температур напруга в цій точці дорівнює 0В. У випадку перевищення температури датчика над заданою, напруга в точці підсумовування збільшується, у випадку зменшення температури – напруга зменшується. При цьому на виході підсилювача неузгодженості (DA1.2, R4, C1, VD1, VD2) посилена ($K_{підс}=100$) напруга міняє свій знак і надходить на вхід підсилювача потужності (R5, R6, VD3, VT1, R7), а потім на нагрівач ТСК. Таким чином, при перевищенні температури датчика над заданою, напруга на нагрівачі зменшується, у випадку зменшення температури – напруга на нагрівачі збільшується. Тому що підсилювач неузгодженості підтримує різницю напруг між своїми входами, що дорівнює 0В, то система термостабілізації підтримує задану температуру ТСК. З резистора R7 на вхід АЦП плати ADC-DAC PCI-1602 (канал 2,

канал 3) надходить аналогова напруга I_HEAT_1_ADC і I_HEAT_2_ADC, що пропорційна струму в нагрівачі ТСК з коефіцієнтом перетворення 1В/1А.

Алгоритм роботи схеми вимірювача температури (рис. 4) заснований на вимірі різниці напруг між послідовно включеними опорним резистором і резистивним датчиком температури при протіканні через них постійного струму.

Генератор стабільного струму (DA1.1, R1, R2, R10, R7) виробляє постійний струм 1мА, що подається на послідовно включені датчик температури й опорний резистор R3. Напруга з датчика температури через елементи фільтрації (L1, L2, C1...C3) надходить на диференціальний підсилювач з фіксованим коефіцієнтом підсилення 25 (DA2, R5, C4, C6) і потім на вхід, що не інвертує, різницевого підсилювача.

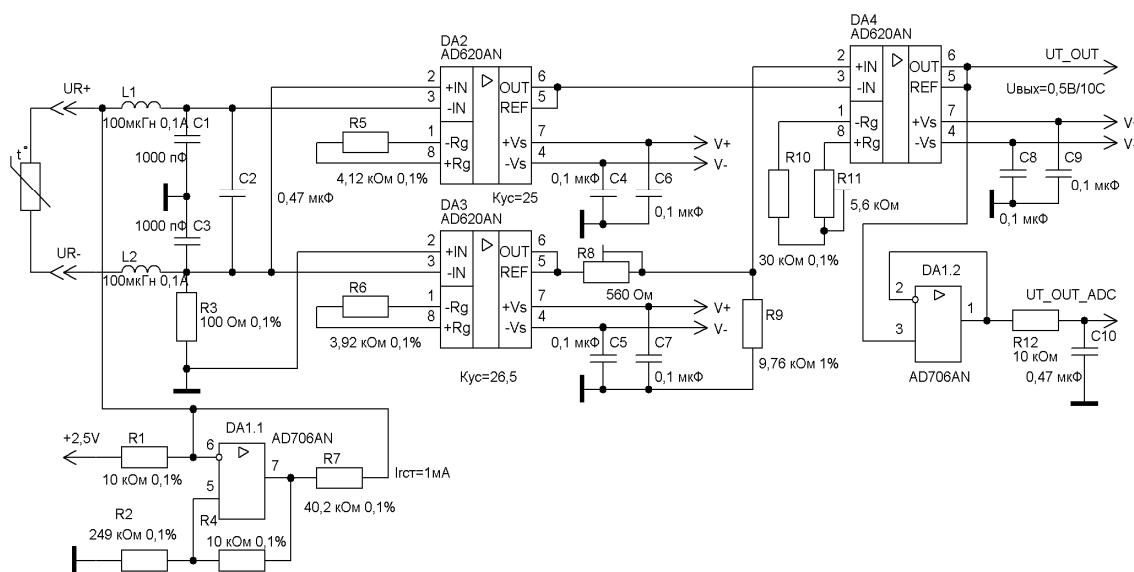


Рис. 4. Схема електрична принципова вимірювача температури

Напруга з опорного резистора номіналом 100 Ом надходить на вхід другого диференціального підсилювача з регульованим коефіцієнтом підсилення (DA3, R6, R8, R9, C5, C7). За допомогою резистора R8 відбувається калібрування каналу виміру температури при 0° С. Напруга з виходу другого диференціального підсилювача надходить на вхід, що інвертує, різницевого підсилювача (DA4, R10, R11, C8, C9). За допомогою резистора R11 відбувається калібрування каналу виміру температури при температурі 40°С. З виходу різницевого підсилювача напруга, пропорційна температурі ТСК надходить на вхід підсилювача не узгодженості (UT_OUT), а через буферний каскад (DA1.2, R12, C10) на вхід АЦП плати ADC-DAC PCI-1602 (UT_OUT_ADC). Коефіцієнт перетворення вимірювача температури становить 1В/10°С.

Схема електрична принципова підсилювача сигналу транскутанного сенсора кисню представлена на рисунку 5.

Струм $I_{кат. ТСК}$ з катода електрохімічної комірки ТСК надходить на вхід, що інвертує, перетворювача струм-напруга (DA1, R1, R5, C2) з коефіцієнтом перетворення 5В/1мкА.

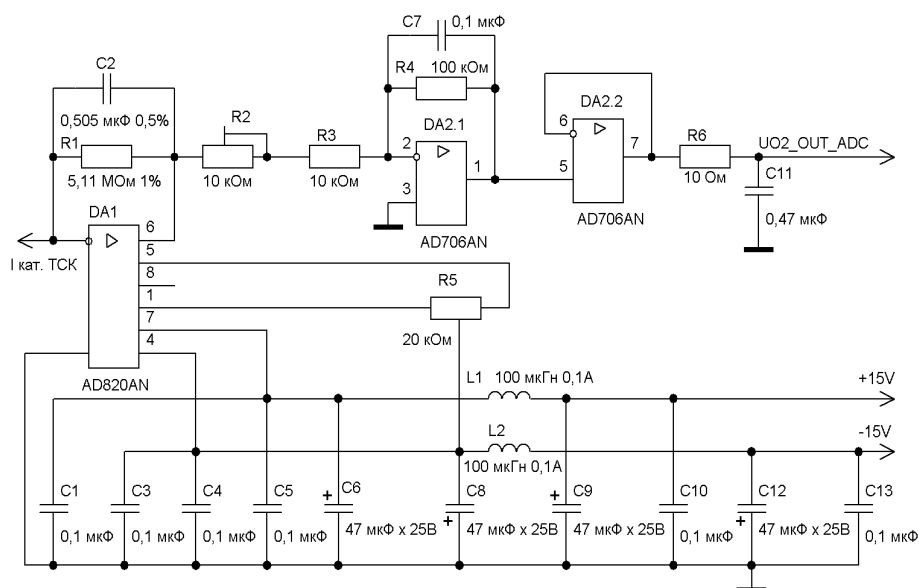


Рис. 5. Схема електрична принципова підсилювача сигналу

За допомогою резистора R5 встановлюється вихідна напруга, рівна 0В при відсутності вхідного сигналу. З виходу перетворювача напруга подається на вхід регульованого підсилювача (DA2.1, R2, R3, R4, C7) с коефіцієнтом підсилення 5...10 (регулюється за допомогою резистора R2), за допомогою якого формується сигнал при зміні датчика, а потім через буферний підсилювач (DA2.2, R6, C11) на вхід АЦП плати ADC-DAC PCI-1602 (UO2_OUT_ADC).

Схема електрична принципова формувача напруги поляризації 0,5В, що подається на анод електрохімічної комірки, представлена на рисунку 6. Величина напруги виставляється за допомогою резистора R2. Діоди VD1, VD2 призначені для захисту електрохімічної комірки від перевищення значення напруги поляризації 0,7В. До блоку узгодження входить також система контролю стану пристрою та модуль живлення (схеми електричні принципові не приводяться).

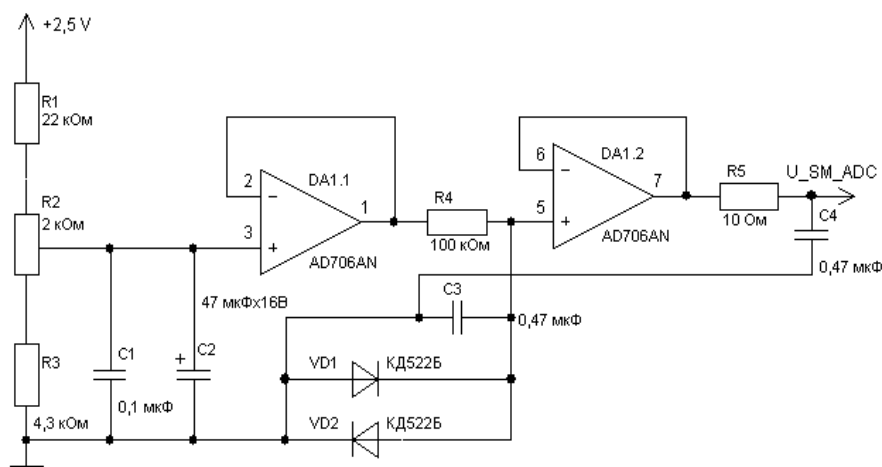


Рис. 6. Схема електрична принципова формувача напруги поляризації

Електричні принципові схеми розроблено в програмі sPlan 5.0, з використанням комплектуючих як іноземного (Analog DEVICES) так і вітчизняного виробництва [7].

Конструкція блоку узгодження ТСК

Блок узгодження ТСК виконаний у стандартному пластмасовому корпусі OKW MEDITEC D160 з габаритними розмірами 290x200x74 мм (рис. 7а), у якому розміщено монтажні плати (рис. 7б).

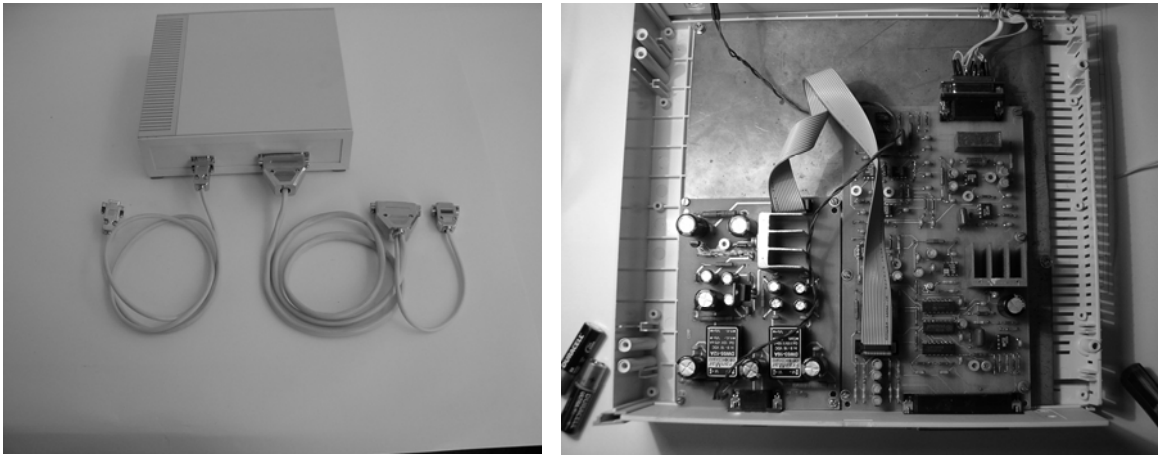


Рис. 7. Блок узгодження ТСК, де: а – загальний вигляд зі з'єднувальними кабелями; б – вигляд з середини з закріпленими монтажними платами

Програмне забезпечення пристрою

Для функціонування пристрою згідно розробленого алгоритму роботи, була створена спеціальна комп'ютерна програма OxiTerm у середовищі Delphi.

Програма забезпечує виконання наступних операцій:

- розігрів і калібрування ТСК;
- контроль зміни pO_2 в часі з динамічним відображенням на екрані графіків тиску, потужності нагрівача і температури;
- збереження результатів вимірів у файлі з можливістю наступного завантаження й аналізу;
- вивантаження результатів вимірів у текстовий файл для аналізу зовнішніми засобами;
- вивід графіки вимірів на принтер;
- калібрування датчика температури;
- налаштування режимів відображення й збереження їх у файлі ініціалізації програми з наступним автоматичним відновленням.

За допомогою програми можна записувати результати вимірів у текстовий файл. Один файл може містити результати одного виміру.

Висновки

Створено лабораторний макет пристрою для дослідження газообмінних процесів БО шляхом контролю та виміру pO_2 в міжклітинній рідині.

Проведені попередні дослідження пристрою з розробленим раніше ТСК, пока-

зали його високу ефективність: час відгуку O_2 складає менше 10 с, діапазон вимірювань pO_2 – від 0 до 800 мм рт. ст. з стабільністю вище 2 мм рт. ст.

Розроблений пристрій задовольняє вимогам користувача і може бути застосований у проведенні експериментальних досліджень, пов'язаних з газообмінними процесами в організмі з подальшим удосконаленням алгоритму роботи, що надасть можливість закласти базу для розробки вітчизняних газоаналізаторів O_2 з широкою сферою застосування, та конкурентною ціною.

Література

1. Котовський В.Й., Микитенко В.І., Ройтман Е.М. Метод функціональної діагностики стану мікросудинної системи на основі обміну кисню та теплового випромінювання // XXVII Международная научно-техническая конференция "Проблемы электроники", ч. 2, г. Киев, 2007 – С. 83–85.
2. Shoemaker W.C., Farjam F, Thangathurai D. Invasive and noninvasive haemodynamic monitoring of acutely ill sepsis and septic shock patients in the emergency // Eur J Emerg Med. – 2000. – 7(3). – P.167–175.
3. Milross M.A., Piper A.J., Norman M., Becker H.F., Willson G.N., Grunstein R.R., Sullivan C.E., Bye P.T., Low-flow Oxygen and Bilevel Ventilatory Support. Effects on ventilation during sleep in cystic fibrosis // Am. J. Respir Crit Care Med. – 2001. – 163(1). – P.129–134.
4. Каталог медичної продукції 2009 рік. – http://www.rosmed.ru/catalog_med
5. Котовський В.Й., Ячник А.І., Довженко О.П., Ройтман Е.М., Шевченко В.В. Сучасний підхід до проблеми ранньої діагностики захворювань судинної системи // Електроніка і зв'язь, 2006. – №6(35). – С.24–29.
6. Котовський В.І., Ройтман Е.М. Особенности разработки транскутанных гемодинамических мониторов // Электроника и связь. – 2007. – № 4. – С.12–19.
7. Терещук Р.М., Терещук К.М., Седов С.А. Справочник радиолюбителя - К: Наукова думка, 1981. – 672 с.

<p>Котовский В.Й., Осауленко В.Л. Разработка прибора для исследования газообменных процессов биологических объектов Приведены результаты разработки схематических и алгоритмических решений прибора для исследования газообменных процессов биологических объектов на базе платы ADC-DAC PCI-1602. Ключевые слова: биологический объект, неинвазивная диагностика, парциальное давление кислорода, электрохимический сенсор</p>	<p>Kotovskiy V.J., Osaulenko V.L. Development device for study of the processes of the exchange gas biological object Article is denoted development scheme technical and algorithmic decisions device for study of the processes of the exchange gas biological object on base ADC-DAC PCI-1602. Keywords: biological object, non-invasive diagnostics, partial pressure of the oxygen, electro-chemical sensor</p>
---	--

*Надійшло до редакції
25 лютого 2010 року*

УДК 621.372.542: 615.849.19

АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБРОБОТКИ ЕКГ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ДИАГНОЗА

¹⁾Яковенко И.А., ¹⁾Клочко Т.Р., ²⁾Леус Е.А., ¹⁾Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина, ²⁾Украинская детская специализированная больница «ОХМАТДЕТ», г. Киев, Украина