

Г.І. Барило, М.С. Івах, З.М. Микитюк, І.Р. Кремер

## **Оптико-електронна система моніторингу біомедичних показників**

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна, [hryhorii.i.barylo@lpnu.ua](mailto:hryhorii.i.barylo@lpnu.ua), [mariia.s.ivakh@lpnu.ua](mailto:mariia.s.ivakh@lpnu.ua)

Робота присвячена питанням розроблення медичних систем моніторингу біомедичних показників. Вирішується задача розроблення універсальної апаратної програмно керованої системи контролю для діагностики біоб'єктів. Основними вимогами до такої системи є широка функціональність щодо поєднання різних методів вимірювального перетворення та відповідність сучасним тенденціям розвитку мікроелектронної сенсоріки. Враховуючи вимоги до сучасної мікросхемотехніки, зокрема до сенсорних пристроїв Інтернету Речей, сигнальний тракт сенсорів реалізовано на основі PSoC сімейства 5LP Family Cypress. Апробація розробленої системи здійснена в процесі дослідження характеру оптичного випромінювання в процесі вимірювання біомедичних показників.

**Ключові слова:** оптико-електронна система, багатопараметричний аналіз, моніторинг показників, мікроконтролерний блок.

*Подано до редакції 18.11.2020; прийнято до друку 15.12.2020.*

### **Вступ та постановка задачі**

Застосування інформаційного забезпечення в лікарській практиці стає все більш актуальним. На сьогодні в арсеналі таких застосувань є, переважно, три типи систем – системи відображення медичної інформації, системи інформаційного моніторингу та системи тривожного сповіщення про небезпечні зміни життєво важливих біомедичних показників хворого. Перші графічно відображають основні медичні характеристики на даний момент в реальному часі, тобто часові діаграми (кардіограми, енцефалограми, плетизмограми тощо) [1]. Другі дозволяють лікареві отримувати інформацію на основі результатів тривалого спостереження змін окремих обраних лікарем біомедичних показників конкретного хворого [2, 3]. Треті створюють інформаційні сигнали (акустичні, світлові тощо) про небезпечні зміни окремих біомедичних показників [4].

Проте, зазначені системи не завжди дозволяють лікареві, який проводить лікувальну процедуру, втручатися в її хід. Але втручання може бути вкрай необхідним особливо при роботі лікаря в

інтерактивному режимі. Втручання лікаря безпосередньо в ході лікування може бути у випадках необхідності дострокового припинення процедури при її достатності або появи її небажаної дії на пацієнта. Метою втручання також може бути потреба в повторенні процедури, коли її дія виявляється недостатньою, або в оперативній корекції режиму. Доцільними в даних випадках є апаратні підказки для лікаря, тобто візуальні проекти лікарських рішень або автоматичне припинення, продовження або корекції. Для цього дійовим є неперервний контроль одночасно якомога більшої кількості біомедичних показників пацієнта, що одержує лікувальну процедуру. Це викликає необхідність неперервного аналізу одночасно багатьох сигналів та автоматизації їх оброблення з візуалізацією рішень або дій [5].

Лікар, як особа що приймає рішення, виробляє це рішення в умовах дефіциту вихідних даних та істотної апріорної невизначеності, ґрунтуючись на своїй кваліфікації, досвіді й інтуїції. При цьому ухвалення неправильного рішення (лікарська помилка) як на етапі діагностики, так і на етапі лікування може мати катастрофічні наслідки для

здоров'я пацієнта. Для того, щоб запобігти вибору неправильного рішення, необхідні нові системи неперервного моніторингу лікувального процесу, які надають можливість лікареві бачити стан пацієнта в режимі реального часу і оперативно приймати рішення

Аналізом інформаційних джерел було виявлено, що існуючі системи в переважній більшості використовують однопараметричний моніторинг, що не забезпечує однозначності в процесі формування повідомлення. Вирішенням цієї проблеми є використання багатопараметричного моніторингу під час проведення лікувальної процедури.

## I. Інформаційний багатопараметричний аналіз

Особливий інтерес для лікарської практики представляє інформаційна технологія автоматизованого вибору багатопараметричних сигналів за пріоритетом найбільших їх кількісних змін в ході процедури з формуванням на цій основі оптимального рішення. Одним із перспективних шляхів вирішення цієї проблеми є розроблення нових принципів реалізації можливостей сучасних високопродуктивних мікроконтролерів та спеціалізованих програмних засобів в програмно керованих лікувально-діагностичних приладах.

У роботі, на основі застосування елементів допоміжної інформаційної технології зроблена спроба реалізувати такі підходи для розроблення програмно керованих лікувально-діагностичних приладів.

Сигнали значної кількості контрольованих показників пацієнта у вигляді матриці обробляються апаратною частиною за гнучким алгоритмом із застосуванням методу експертних оцінок. Задача оптимізації розподілу апаратних та програмних ресурсів обумовила необхідність вибору нових схемотехнічних рішень і розроблення для цього мікроконтролерного блоку та оптико-електронної системи моніторингу лікувально-діагностичного процесу.

Основою мікроконтролера є потужний мікропроцесор з гарвардською архітектурою, який контролює роботу цифрових та аналогових блоків, що оточують пристрої. Цифрова частина складається з чотирьох восьмирозрядних внутрішніх блоків PSoC та інтерфейсних модулів користувача, які використовуються для підключення зовнішніх пристроїв - клавіатури, дисплея, живлення звукового сигналу, ПК. Аналогова частина складається з шести внутрішніх блоків, що дозволяє використовувати функцію аналого-цифрового та цифро-аналогового перетворення, підсилення, програмованого підсилення, широтно-імпульсної модуляції, виявлення, порівняння, мультиплексування та кореляції. Обробка вхідної інформації здійснюється під контролем вбудованого програмного забезпечення, яке використовується для зберігання енергонезалежної пам'яті (EEPROM і Flash). Для зберігання проміжних результатів під час обробки

використовується внутрішня оперативна пам'ять (RAM).

Робота системи полягає у неперервному аналізі сигналів блоку первинних перетворювачів, закладеного в алгоритм роботи мікроконтролера. Отримані результати опрацювання передаються до блоку відображення та в персональній комп'ютер для подальшого програмного аналізу.

Значення контрольованого струму можна задавати програмно. У випадку перевищення значень цих величин відбувається автоматичне відімкнення живлення та відповідне повідомлення на ПК.

Інформація про діапазон вхідної напруги від  $U_{\min}$ - $U_{\max}$ , поріг значення захисту по струму, крок зміни напруги та зчитуванні значення струму відображаються в діалоговому вікні програми оброблення. Додатково можна задавати режим автоматичного вибору кроку зміни напруги. Отримана інформація формується у вигляді таблиці, яку можна експортувати в MS Office Excel для побудови відповідних графічних залежностей.

У першому наближенні логічні функції можна розглядати як процес оперування з інформацією, представлена певними інформаційними сигналами, наприклад  $X_1, \dots, X_K$ . При такому підході вхідні сигнали є первинними, а логічні міркування – вторинними. За формулою Байєса як міра достовірності висновку про ефективність чи неефективність лікувальної процедури ймовірність  $P(Y_j/X_i)$  для множини сигналів і статистично незалежних ознак:

$$P(Y_j / X_1, \dots, X_K) = P(Y_j / X_1, \dots, X_{K-1}) \frac{P(X_K / Y_j)}{P(X_K)}$$

У випадку аналізу одного з двох можливих параметрів  $i$ , за умови, що  $P(Y) = P(Y_2)$ , справедливим для статистично незалежних ознак є:

$$\frac{P(Y_1 / X_1, \dots, X_K)}{P(Y_2 / X_1, \dots, X_K)} = \prod_{i=1}^K \frac{P(X_i / Y_1)}{P(X_i / Y_2)}$$

або в рекурентному варіанті:

$$u_K = u_{K-1} + \ln z_K$$

Розв'язувальне правило в цьому випадку має такий вигляд:

$$u_K \geq 0 \rightarrow X \in Y_1, \\ u_K < 0 \rightarrow X \in Y_2.$$

Разом із рівнянням правило ізоляції трактується так: якщо після розгляду іншого параметра сигнал знакової величини  $u_K$  не змінився, є підстави для припинення аналізу.

Особливість роботи запропонованого алгоритму полягає у визначенні одного з трьох тестових сигналів, динаміка зміни параметрів якого є найбільш вираженою. Контроль за перебігом лікувальної процедури здійснюється на основі аналізу динаміки домінуючого сигналу  $X_i$ , для якого на кожному часовому інтервалі визначається його зміна  $\Delta X_i$  та середнє значення її абсолютної величини за всі пройдені часові інтервали. Для кожного часового інтервалу проводиться перевірка значення динаміки зміни і при перевищенні критичної норми формується повідомлення про критичний стан -  $Y_K$  по вхідному сигналу  $X_i$  [6]. Крім того, для кожного часового інтервалу відбувається перевірка загальної

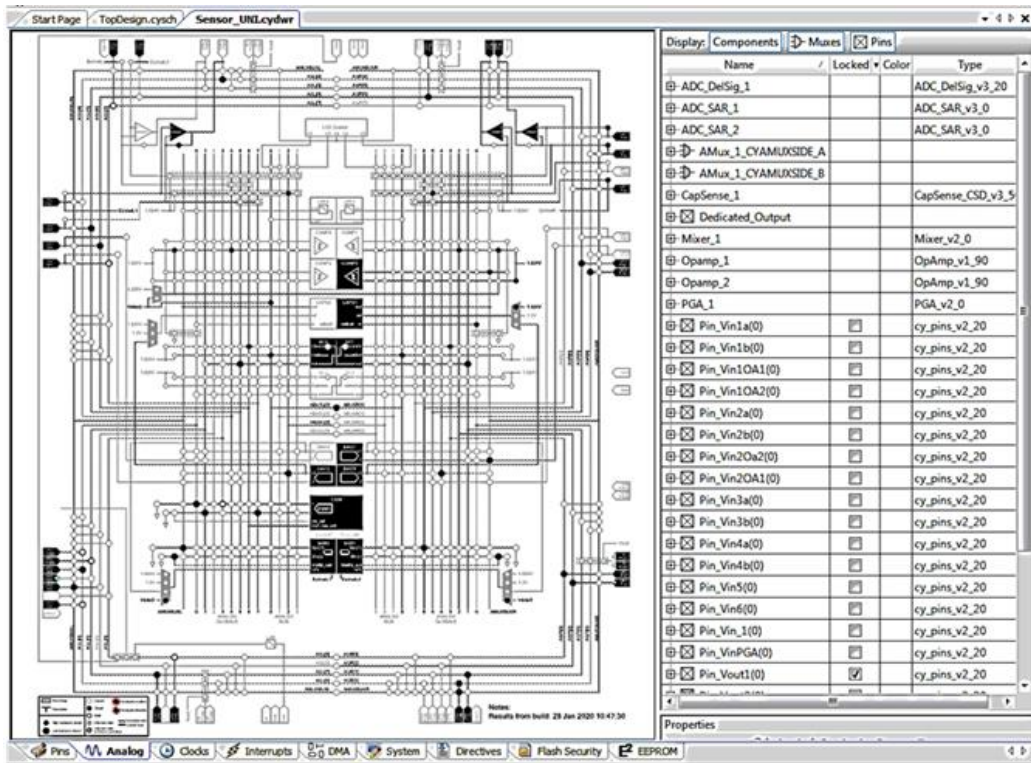


Рис. 1. Мережа сигнальних ліній.

тривалості процедури. В разі випадку перевищення встановленого часу за відсутності динаміки параметрів домінуючого сигналу, формується повідомлення  $Y_{NE}$  про неефективність лікувальної процедури.

За умови зменшення динаміки домінуючого сигналу до рівня, який описується величинами  $a$  і  $b$ , які визначають межі допустимого “коридору”, за методом Вальда, формується повідомлення про успішне завершення лікувальної процедури.

У випадку виникнення критичних ситуацій формується тривожне повідомлення про необхідність негайного припинення процедури. Отриманий масив даних заноситься в базу даних, яка використовується в процесі аналізу функції кореляції вхідних параметрів.

Запропонований алгоритм реалізовано на основі мікроконтролерів сімейства PSoC, гнучка архітектура яких забезпечує високу ефективність оброблення та аналізу інформаційних сигналів.

## II. Оптико-електронна система моніторингу

Враховуючи вимоги до сучасної мікросхемотехніки, зокрема до сенсорних пристроїв Інтернету Речей, сигнальний тракт системи реалізовано на основі PSoC сімейства 5LP Family Cypress Semiconductor Corporation [7]. До структури PSoC входять вузли цифрових та аналогових систем, вузли мікропроцесора, матриці енергозалежної та енергонезалежної пам'яті, системні ресурси, а також вузли програмування та керування енергоспоживанням. Основою цифрових вузлів є

матриця універсальних цифрових блоків, спеціалізованих цифрових блоків, зокрема для реалізації інтерфейсів, таймерів, широтно-імпульсних модуляторів тощо. Аналоговими вузлами PSoC є блоки на перемикальних конденсаторах та блоки з неперервним сигнальним перетворенням, зокрема: операційні підсилювачі, компаратори, джерела опорної напруги на принципі забороненої зони, аналогові мультиплектори тощо. Вузли з'єднуються програмно конфігурованою мережею сигнальних ліній (рис. 1).

Визначальними компонентами системи PSoC5, на основі яких реалізовано сигнальний перетворювач (рис. 2), є: цифро-аналоговий перетворювач (VDAC8), синтезуючий генератор (Wave DAC8), таймер (Timer), регістр керування (Control Reg), подільник частоти (Freq. Divider), мультифункціональний міксер (Mixer), операційні підсилювачі (Opamp), підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення PGA (Programmable Gain Amplifier), аналоговий мультиплексор (AMux), аналого-цифрові перетворювачі (ADC) на основі дельта-сигма модулятора (DelSig) та регістра послідовного наближення (SAR). Для реалізації ємнісних сенсорів вводу використано компонент (CapSense CSD), а сенсорів температури – компоненти вимірювального перетворення на терморезисторах (RTD) та термопарах (Thermocouple).

Структурну схему оптико-електронної системи неперервного моніторингу лікувально-діагностичного процесу представлено на рис. 3. Основними елементами структури є: сенсор температури (X1) фотоелектричні конвертери (X2-X3, операційні підсилювачі (AMP1-AMP3), фільтри

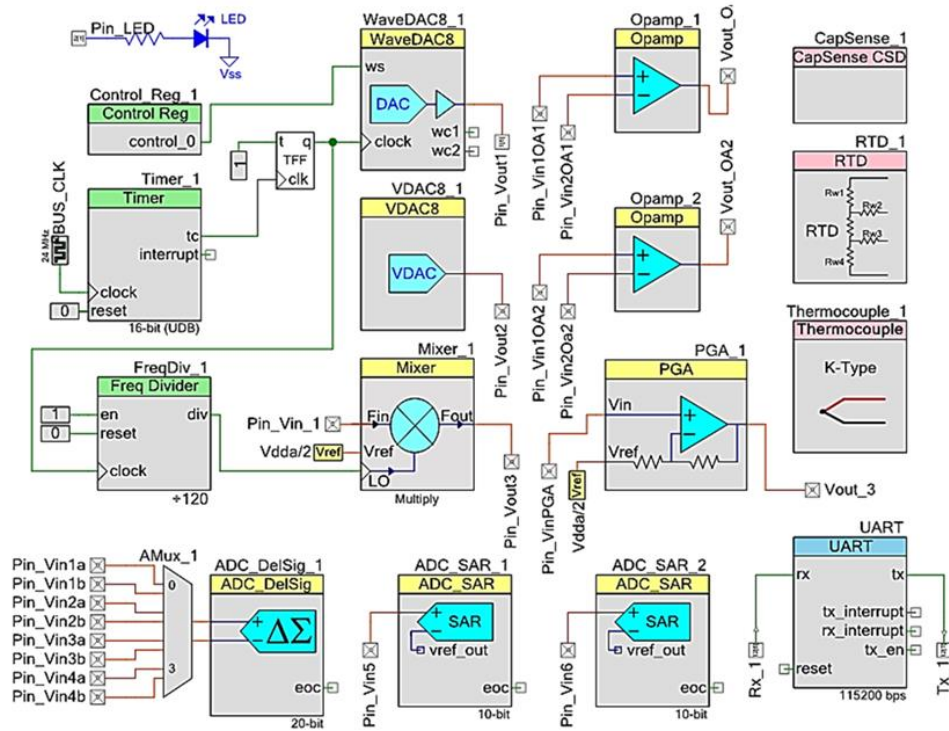


Рис. 2. Реалізація сигнального перетворювача на PSoC.

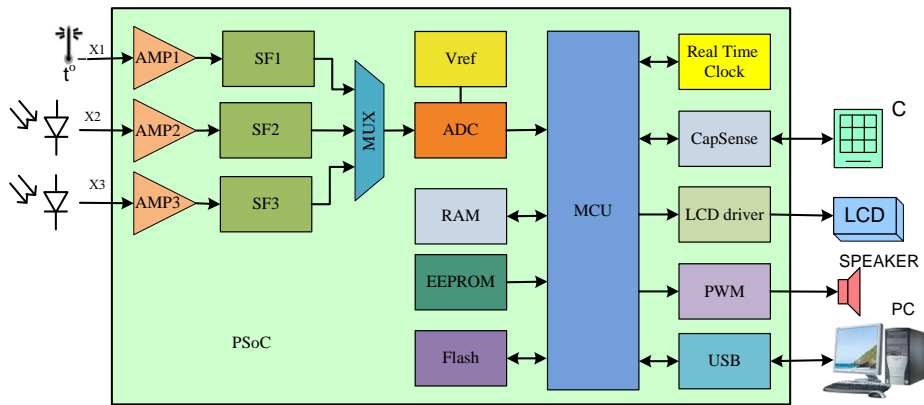


Рис. 3. Структурна схема оптико-електронної системи неперервного моніторингу.

(SF1-SF3), аналоговий мультиплексор (MUX), джерело опорної напруги, цифро-аналоговий конвертер (ADC), вбудована пам'ять (оперативна, пам'ять даних та програм), ядро мікропроцесора (MCU) та периферійні інтерфейси – CapSense, LCD-driver, PMW, USB. Фотоелектричний конвертер реалізовано на основі чутливого широкосмугового перетворювача BPW-21 фірми Vishay [8]. Даний конвертер в поєднанні зі трансімпедансним сигнальним підсилювачем забезпечує формування вихідного сигналу достатнього для програмного аналізу та подальшої обробки блоком мікроконтролера.

Конфігурування сигнального тракту та його виводи в корпусі CY8C5888LTI-LP097 наведено на рис. 4. Керування режимами роботи вимірювальних

кіл та передача сигналів здійснюється з використанням універсального послідовного інтерфейсу UART.

Компоненти PSoC конфігуруються та динамічно програмуються з використанням API (Application Programming Interface) функцій. Для налаштування конфігурації внутрішніх елементів мікроконтролера використано базове програмне забезпечення *PSoC Creator* [9]. Дана програма дозволяє користувачу будувати довільні функції перетворення вхідних даних із використанням наявних внутрішніх логічних блоків, що є оптимальним для реалізації спеціалізованих гнучких алгоритмів. Фрагмент реалізації логічної функції перетворення представлено на рис. 5.



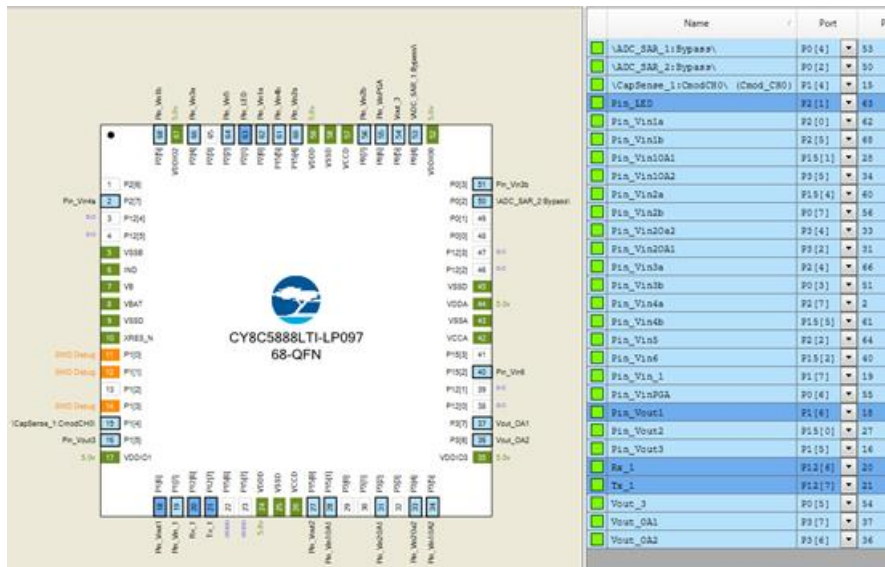


Рис. 4. Виводи сигнального перетворювача на PSoc CY8C5888LTI-LP097.

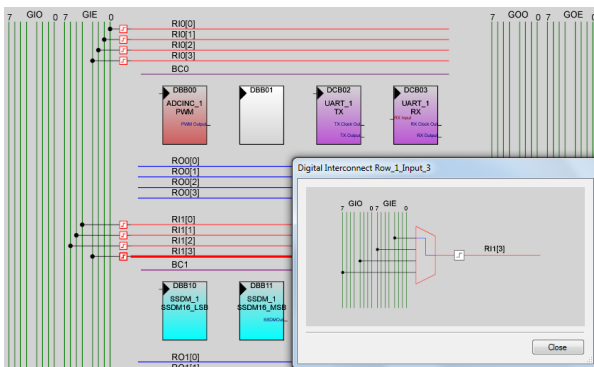


Рис. 5. Фрагмент реалізації логічної функції перетворення в програмному забезпеченні PSoc Creator.

За результатами моделювання створено макет апаратної частини системи, зовнішній вигляд якого наведено на рис. 6.

Розроблена система моніторингу в забезпечує під'єднання трьох вхідних сенсорів (з можливістю розширення до 8), час аналізу вхідного сигналу складає 100 мкс, діапазон реєстрації оптичного випромінювання 690 до 980нм, обмін інформацією здійснюється по інтерфейсу USB 2.0. Програмне забезпечення надає можливість широкого варіювання параметрів, режимів і стратегій терапії.

## Висновки

Розроблено структурну та функціональну схему мікроконтролерного блоку оброблення сенсорних сигналів системи моніторингу процедур лікування з автоматизованим прийняттям рішень. Запропоновано алгоритм роботи системи неперервного моніторингу,

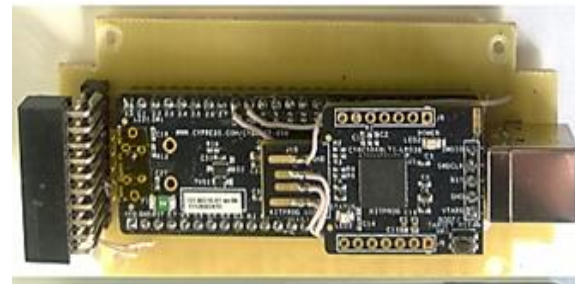


Рис. 6. Зображення макету оптико-електронної системи моніторингу лікувально-діагностичного процесу.

який покладений в основу реалізації нового класу приладів із функцією неперервного автоматичного оцінювання дієвості лікувальної процедури. Наведено опис функціонування окремих вузлів та проведено моделювання їх роботи в програмному середовищі Proteus, розроблено схему та друковану плату мікроконтролерного блоку керування, за PSoc Designer сформовано внутрішню конфігурації мікроконтролера та налаштовано зовнішні порти, відповідно до алгоритму роботи пристрою.

**Барило Г.І.** - д.т.н., доцент, доцент кафедри електронних приладів;  
**Івах М.С.** - к.т.н., старший викладач кафедри електронних приладів;  
**Микитюк З.М.** - д.-ф.н., професор кафедри електронних приладів;  
**Кремер І.П.** - к.т.н., доцент, доцент кафедри електронних приладів.

[1] A.A.T. Bui, W. Hsu, Medical Data Visualization: Toward Integrated Clinical Workstations. (Medical Imaging Informatics. Springer, Boston, MA, 2010).

- [2] S. Leatherman, P.C. Smith, E. Mossialos, I. Papanicolas, eds. Performance Measurement for Health System Improvement: Experiences, Challenges and Prospects. (Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2010).
- [3] M. Chan, E. Campo, D. Brulin, D. Est`eve, Journal of Science and Technology: Issue on Information and Communications Technology [Online] 3.1 (2017) (doi:[10.31130/jst.2017.39](https://doi.org/10.31130/jst.2017.39)).
- [4] S. Liu, R. Zhang, Z. Zheng, Y. Zheng, Sensors (Basel) (2018) (doi: 10.3390/s18103203. PMID: 30248969).
- [5] Z. Hotra, O. Kozhukhar, M. Ivakh, H. Barylo, V. Virt, 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Lviv-Slavsko, 2016) (doi:10.1109/TCSET.2016.7452184). P. 787.
- [6] Z. Hotra, et al., XVth International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH) (Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Polyana, 2019). P. 140.
- [7] PSoC® 5LP: CY8C52LP Family Datasheet: Programmable System-on-Chip. (<http://www.cypress.com/documentation/datasheets/psoc-5lp-cy8c52lp-family-datasheet-programmable-system-chip-psoc>).
- [8] Optoelectronics, Photo detectors (<https://www.vishay.com/search?searchChoice=part&query=BPW21R>).
- [9] PSoC® Creator™ Integrated Design Environment (IDE) (<https://www.cypress.com/products/psoc-creator-integrated-design-environment-ide>).

G.I. Barylo, M.S. Ivakh, Z.M. Mykytiuk, I.P. Kremer

## Optical-Electronic Monitoring System of Biomedical Indicators

*Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, [hryhorii.i.barylo@lpnu.ua](mailto:hryhorii.i.barylo@lpnu.ua), [mariia.s.ivakh@lpnu.ua](mailto:mariia.s.ivakh@lpnu.ua)*

The work is devoted to the development of medical systems for monitoring biomedical indicators. The problem of developing a universal hardware software-controlled control system for the diagnosis of biological objects is solved. The main requirements for such a system are a wide range of functionality for combining different methods of measurement transformation and compliance with modern trends in the development of microelectronic sensors. Given the requirements for modern microcircuitry, in particular for sensing devices of the Internet of Things, the signal path of the sensors is implemented on the basis of PSoC family 5LP Family Cypress. Approbation of the developed system is carried out in the course of research of character of optical radiation in the course of measurement of biomedical indicators.

**Keywords:** optoelectronic system, multiparameter analysis, monitoring of indicators, microcontroller unit.