

УДК 004.07

Sensor node for wireless radiation monitoring network

O. Ridozub, V. Terokhin, M. Stervoyedov, S. Fomin

V. N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Sq 6, 61022, Kharkiv, Ukraine

e-mail: kbs-com@karazin.ua

The structure of a sensor node for wireless network for environmental radiation monitoring is described in the article. The sensor node is developed on the base of semiconductor detector, modern microprocessor technology, and a last-generation telecommunications radio module. A new algorithm for measuring the power of the exposure dose of ionizing radiation has been investigated in the article. The amount of ionizing radiation energy absorbed by the human body affects the degree of radiation damage to its functional organs radically. In order to solve this problem we are working on improving the parameters of detectors, as well as the characteristics of electronic modules of detecting systems and creating software for controlling the detection process, collecting and processing information digitally, and presenting it properly to users in online mode. A wireless sensor network (WSN) is a distributed, self-organizing network of multiple sensors (sensors, motors, etc.) containing "Motes" (a specks of dust), so named because of the tendency to miniaturization and Executive devices combined with each other through the radio channel. The coverage area of such a network can range from several meters to several kilometers due to the ability to relay messages from one element to another. The motes usually contain battery-powered autonomous microcomputers (controllers) and transceivers. That allows the motes to self-organize into specialized networks, communicate with each other and exchange data. The role of human changes significantly in the model of sensor networks, since their elements – sensor microcomputers – become much more independent, often anticipating human requests long before they are received. "Homocentric" model of network computing with a human as a central link belongs to the past – a human moves from the center to the periphery and concentrates on the process managing, becoming a kind of an intermediary between the real world and computers.

Keywords: radiation monitoring, wireless sensor network, sensor node, microcontroller, algorithm, correction of energy dependence, charge-sensitive amplifier, radio transceiver.

Описано структуру сенсорного вузла для бездротової мережі радіаційного моніторингу навколишнього середовища. Сенсорний вузол розроблено на базі напівпровідникового детектору, сучасної мікропроцесорної техніки та і телекомунікаційного радіомодуля останнього покоління. Запропоновано новий алгоритм вимірювання потужності експозиційної дози іонізуючого випромінювання. Схема підключення детектору до попереднього заряду - чутливого підсилювача. Пошук шляхів вирішення цієї проблеми йде в напрямку поліпшення параметрів детекторів, удосконалення характеристик електронних модулів детектуючих систем і створення програмного забезпечення (ПЗ) для управління процесом детектування, збором інформації, її цифрової обробки і адекватного представлення користувачам в on-line режимі. Через те, що бездротові мережі можуть розгортатися у віддалених і важкодоступних місцях, апаратне, алгоритмічне та програмне забезпечення повинне забезпечувати максимальний час функціонування вузлів, надійність, відмовостійкість і автоматичне переконфігурування. Кількість поглиненої енергії іонізуючих випромінювань людським організмом радикально впливає на ступінь променевих уражень його функціональних органів. Пошук шляхів вирішення цієї проблеми йде в напрямку поліпшення параметрів детекторів, удосконалення характеристик електронних модулів детектуючих систем і створення програмного забезпечення (ПЗ) для управління процесом детектування, збором інформації, її цифрової обробки. При розробці ПЗ необхідно враховувати особливості взаємодії іонізуючого випромінювання з матеріалами і об'єктами, які опромінюються. Структура і запропоновані алгоритми роботи вузла дозволяють присвідчити процес вимірювання потужності експозиційної дози випромінювання, особливо при високих рівнях радіаційного забруднення. Розробка модуля є інноваційним методом дослідження радіаційного становища не тільки на території України, а і за її межами.

Ключові слова: радіаційний моніторинг, бездротова сенсорна мережа, сенсорний вузол, мікроконтролер, алгоритм, корекція енергетичної залежності, заряду - чутливий підсилювач, трансивер радіо.

Описана структура сенсорного узла для беспроводной сети радиационного мониторинга окружающей среды. Сенсорный узел разработан на базе полупроводникового детектора, современной микропроцессорной техники и телекоммуникационного радио модуля последнего поколения. Предложен новый алгоритм измерения мощности экспозиционной дозы ионизирующего излучения. Схема подключения детектора к предыдущему заряду - чувствительного усилителя. Поиск путей решения этой проблемы идет в направлении улучшения параметров детекторов, усовершенствование характеристик электронных модулей детектирующих систем и создание программного обеспечения (ПО) для управления процессом детектирования, сбором информации, ее цифровой обработки и адекватного представления пользователям в on-line режиме. За то, что беспроводные сети могут разворачиваться в отдаленных и труднодоступных местах, аппаратное, алгоритмическое и программное обеспечение должно обеспечивать максимальное время функционирования узлов, надежность, отказоустойчивость и автоматическое переконфигурирование. Количество поглощенной энергии ионизирующих излучений человеческим организмом радикально влияет на степень лучевых поражений его функциональных органов. Поиск путей решения этой проблемы идет в направлении улучшения параметров детекторов, усовершенствование характеристик электронных модулей детектирующих систем и создание программного обеспечения (ПО) для управления процессом детектирования, сбором информации, ее цифровой обработки. При разработке ПО необходимо учитывать особенности взаимодействия ионизирующего излучения с материалами и объектами, которые облучаются. Структура и предложенные алгоритмы работы узла позволяют убедить процесс измерения мощности экспозиционной дозы излучения, особенно при высоких уровнях радиационного загрязнения. Разработка модуля является инновационным методом исследования радиационной обстановки не только на территории Украины, а и за ее пределами.

Ключевые слова: радиационный мониторинг, беспроводная сенсорная сеть, сенсорный узел, микроконтроллер, алгоритм, коррекция энергетической зависимости, зарядо-чувствительный усилитель, трансивер радио.

Introduction

Wireless sensor networks are the most promising technologies for monitoring large areas. They are a set of geographically distributed wireless sensor nodes designed to collect and sometimes pre-process information about environmental parameters, as well as to transmit this information to remote users. They are useful in applications where it is impossible, complicated, or expensive to operate wired sensors. The variety of available sensors and actuators makes it possible to use sensor networks in many industries, for example, in object security systems [3], in environmental monitoring [4], in medical systems for monitoring the condition of patients [5], in monitoring agricultural land [5, 6], in fire-extinguishing systems [7], in monitoring systems for complex objects and technical complexes, in automation systems for scientific research [8], etc.

Wireless sensor networks consist of small independent devices that allow measuring any parameters such as temperature, pressure, vibration, sound, movement of objects, pollution, and so on. These devices are called sensor nodes. Each of them is equipped with a microcontroller, a radio transceiver for wireless communication, and an autonomous power supply, excepting sensory components of sensor nodes - detectors. Hardware, algorithms, and software must ensure maximum node operation time, reliability, fault tolerance, and automatic reconfiguration because wireless networks can be deployed in remote and hard-to-reach locations.

Structure of a sensor node for radiation monitoring

The first figure contains a block diagram of the developed node for wireless network for environmental radiation monitoring.

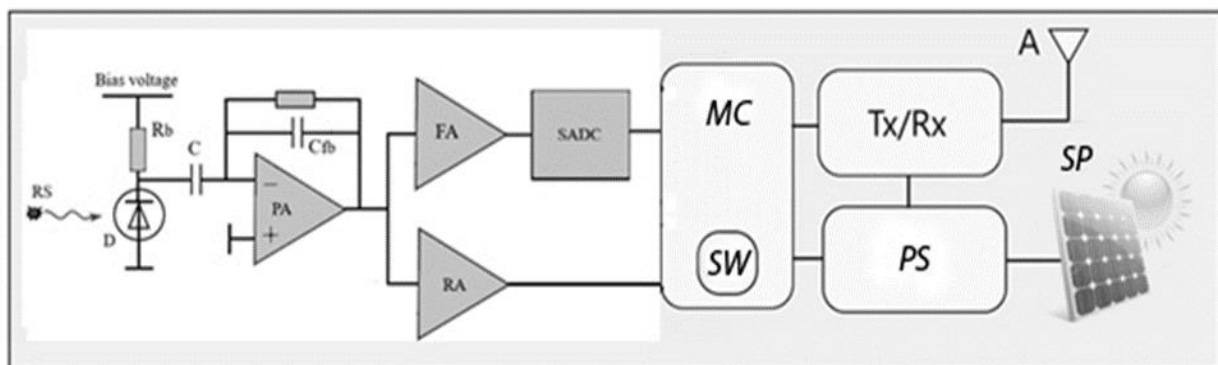


Fig. 1. Structure of a sensor node for a wireless radiation monitoring network.

The radiation detector D with the charge-sensitive PA amplifier is connected to the main spectrometric FA and fast RA amplifiers, the output of which is connected to the spectrometric analog-to-digital Converter SADC and then to the microcontroller MK STM32F4. Prepared data is transferred to the Tx/Rx using ESP32-SX1278-Lora module is a new convenient, efficient, and cost-effective solution for working with network programs. The main chip of the module is Lexin ESP32, dual-core Tensilica LX6 processor with a clock frequency of 240 MHz, processing power up to 600DMIPS, built-in 520 KB SRAM chip, 802.11 b/g/n HT40 Wi-Fi receiver, base frequency, protocol stack and LWIP, built-in dual-mode Bluetooth (Bluetooth-standard and Bluetooth with low power consumption). The module also contains built-in 32MByte Flash memory, Wi-Fi antenna, 0.96-inch blue OLED display, USB interface on CP2102 and supports the Arduino development environment which is convenient for programming the module. The power supply (PS) is based on lithium-ion batteries with a charger from a solar panel.

The functioning algorithm of the microcontroller dosimeter.

The radiation dose calculation program operates in two modes: the preset exposure time mode or the preset statistical uncertainty mode. The second figure presents activity diagrams that contain the sequence of actions required to implement this task.

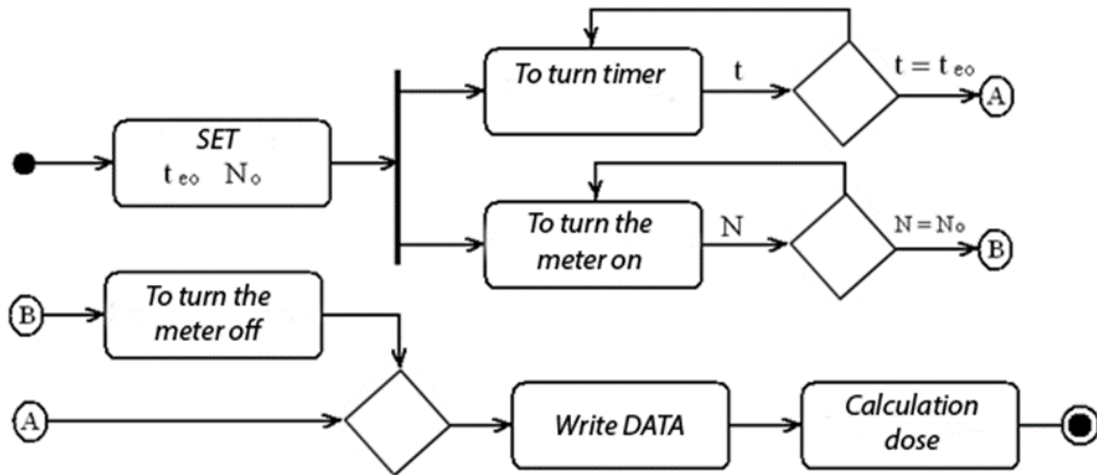


Fig. 2. Activity diagram.

After entering the program module, the exposure time t_{eo} and the number of pulses are set, which determines the specified statistical error. Then a countdown timer and a counter for the number of pulses from the detector are activated simultaneously. When the condition for reaching the number of pulses N set to N_o is met, the pulse counting stops. The third figure explains behavior of time values t_1 and t_2 . Data is to be written to the processor memory afterwards. Basing on the similarity of triangles, the program calculates quantity of impulses during the operation. Accordingly, those are denoted as N_4 and N_3 . If the number of pulses N does not reach the pre-set value of N_o during the maximum exposure time of t_{eo} , the pulse counting stops at $t = t_{eo}$. In this case, the statistical uncertainty ($\sqrt{N/N}$) will be higher.

The next step is implementing the dose calculation module according to one of the proposed algorithms.

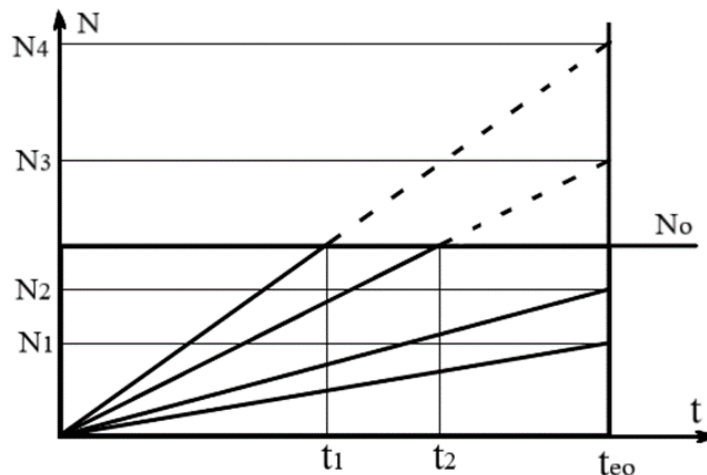


Fig. 3. The working algorithm of the module for radiation dose measurement and calculation in two modes: the preset exposure time mode and the preset statistical uncertainty mode.

Block diagram of a microcontroller dosimeter.

In contrast to popular schemes, described in [10], for example, the fourth figure presents a modified block diagram of the spectrometer-dosimeter, which corresponds to the proposed method for measuring and calculating the radiation dose. The dose is calculated by using data on the spectral sensitivity of the detector.

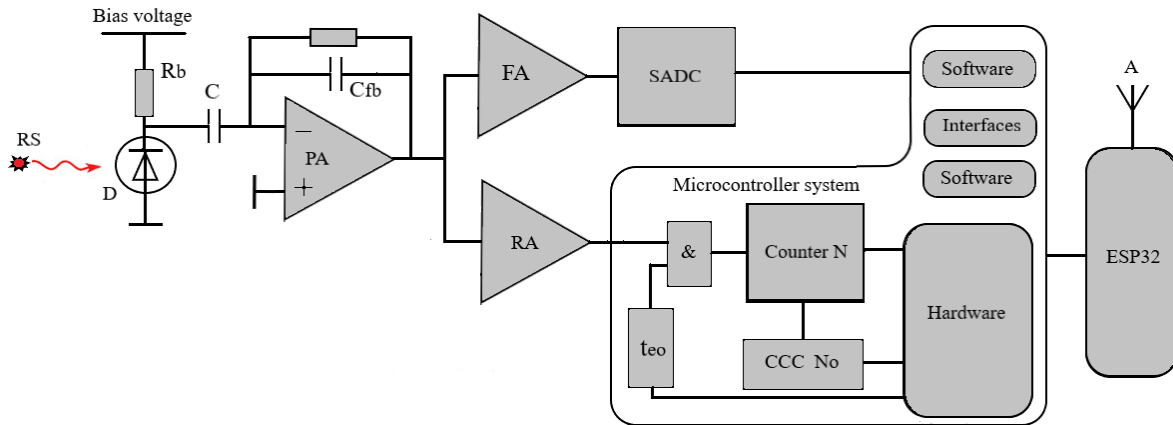


Fig. 4. Block diagram of the spectrometer-dosimeter.

The block diagram shows connection of the radiation detector to the charge-sensitive amplifier PA, the spectrometric amplifier FA forming the optimal signal-to-noise ratio and the spectrometric analog-to-digital converter SADC which are similar to the connection presented in Figure 1. The new channel is a pulse counting channel with a fast RA amplifier, generating at its output a logical signal for each gamma quantum registered by the d detector. This signal is sent to the microcontroller system, where hardware and software instruments solve the problem of counting the number of pulses N during the exposure time t_{eo} , or measuring the time t , during which the number of pulses in the Counter N reaches the value N_0 .

The N_0 number is written from the beginning of the measurement cycle to the code comparison device CCC No, which issues a command to stop counting. Afterwards, the radiation dose calculation process is performed. Calculating can be performed by the microprocessor system or by using the cloud service capabilities. ESP32 module provides a communication function.

The correction of energy dependence of radiation detectors

The amount of absorbed ionizing radiation energy by the human body affects the degree of radiation damage to its functional organs radically. Therefore, the correct dosimetric measurements and founding the ways to increase the accuracy or reduce the uncertainty of the measured and calculated dosimetric values is an urgent problem. In order to solve this problem we are working on improving the parameters of detectors, as well as the characteristics of electronic modules of detecting systems and creating software for controlling the detection process, collecting and processing information digitally, and presenting it properly to users in online mode.

When developing software, it is necessary to consider the interaction of ionizing radiation with materials and objects being irradiated. In particular, their heterogeneity and the energy dependence of the detector sensitivity in a wide range of energy and radiation intensity should be accounted for, which is a non-trivial task.

One of the possible ways to correct the energy dependence, for example, of CdTe and CdZnTe detectors is to consider a hardware spectrum appropriate to the energy spectrum of real radiation. To study those detectors software should be developed. To perform it, the dosimetric equipment includes a multi-channel amplitude analyzer, which feeds the number of pulses and their amplitude distribution during the exposure time to the digital signal processor where it is processed in real-time by the separate program. The DEXP exposure dose is programmatically calculated with the formulas [1, 2]:

$$D_{\text{exp}} = N_t (M E_{ph} + C) \quad (1)$$

$$E_{ph} = \{[\sum_k kN(k)]/N_t\} E_{adc} \quad (2)$$

where N_t is the total number of pulses during exposure in the selected energy range, M and C are constants determined during detector calibration, E_{ph} is the energy equivalent of the average pulse amplitude, $N(k)$ is the number of impulses in channel k , and E_{adc} is energy channel width of a multi-channel amplitude analyzer.

The calculated exposure dose value is transmitted via a wireless interface to a dosimetry system computer or a cloud server.

Conclusions

The sensor node for a wireless network for environmental radiation monitoring has been developed. The structure and the algorithms of the node allow us to simplify the process of measuring the power of the radiation exposure dose, especially at high levels of radiation pollution. In order to reduce measurement uncertainty, the hardware-software correction of the results including a spectrometric analog-to-digital converter and a microcontroller system for pre-processing data has been presented. The software has been developed. The network exchange protocol has been selected and justified. A working laboratory layout of the sensor node has been developed and tested. The work has been carried out with partial financial support from the UNTC Foundation, project No. 9903.

ЛІТЕРАТУРА

1. Applications of wireless sensor networks, URL: <http://wireless.ictp.it/wp-content/uploads/2012/02/WSN-Applications.pdf> (Last accessed: 20.01.2020).
2. NI Wireless Sensor Network (WSN) Application Areas, National Instruments, URL: <http://www.ni.com/wsn/applications> (Last accessed: 20.01.2020)
3. G. Vellidis. Wireless Sensor Network Applications in Agriculture, TransAtlantic Precision Agriculture Consortium, URL: <http://agri-sensing.technion.ac.il/Lectures%20PDF/PA/Vellidis%20Wednesday.pdf> (Last accessed: 20.01.2020)
4. K. Sha, W. Shi, O. Watkins. Using Wireless Sensor Networks for Fire Rescue applications: Requirements and Challenges, URL: <http://www.cs.wayne.edu/~weisong/papers/sha06-firenet.pdf> (Last accessed: 20.01.2020)
5. Беспроводной промышленный мониторинг. Интеллектуальные системы на базе сенсорных сетей, URL: http://www.ipmce.ru/img/release/is_sensor.pdf . (Last accessed: 20.01.2020)
6. Банзак О. В. Методы и системы спектрометрии ионизирующих излучений и контроля радиационной безопасности на основе полупроводниковых детекторов нового поколения. Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук. Одеса, 2016. с28–31.
7. Захарченко А.А. Моделирование дозиметрических свойств детекторов гамма излучения на основе высокоомных полупроводников. Диссертация на соискание канд. физ. – мат. наук. Харьков, 2009.563с.
8. Захарченко А.А. Моделирование энергетической зависимости чувствительности CdTe (CdZnTe) детекторов гамма-излучения А.А. Захарченко, Д.В. Наконечный, И.Н. Шляхов, А.В. Рыбка, В.Е. Кутний, М.А. Хажмурадов Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2007. – № 1. – С. 28–31.

REFERENCES

1. Applications of wireless sensor networks, URL: <http://wireless.ictp.it/wp-content/uploads/2012/02/WSN-Applications.pdf> (Last accessed: 20.01.2020)
2. NI Wireless Sensor Network (WSN) Application Areas, National Instruments, URL: <http://www.ni.com/wsn/applications/> (Last accessed: 20.01.2020)
3. G. Vellidis. Wireless Sensor Network Applications in Agriculture, TransAtlantic Precision Agriculture Consortium, URL: <http://agri-sensing.technion.ac.il/Lectures%20PDF/PA/Vellidis%20Wednesday.pdf> (Last accessed: 20.01.2020)
4. K. Sha, W. Shi, O. Watkins. Using Wireless Sensor Networks for Fire Rescue applications: Requirements and Challenges, URL: <http://www.cs.wayne.edu/~weisong/papers/sha06-firenet.pdf> (Last accessed: 20.01.2020)
5. Wireless industrial monitoring. Smart systems based on sensor networks, URL: http://www.ipmce.ru/img/release/is_sensor.pdf . (Last accessed: 20.01.2020) [in Russia]
6. Benzac O. V. Methods and system for spectrometry of ionizing radiation and radiation safety monitoring based on semiconductor detectors of the new generation. The dissertation on competition of a scientific degree of doctor of technical Sciences. Odessa, 2016. 28–31p.[in Russia]

7. Zakharchenko A. A. Modeling of dosimetric properties of gamma radiation detectors based on high-resistance semiconductors. Dissertation for the Cand. Phys. - Mat. sciences. Kharkiv, 2009 563p. [in Russia]
8. Zakharchenko A. A. Modeling of the energy dependence of the sensitivity Of CdTe (CdZnTe) gamma radiation detectors A. A. Zakharchenko, D. V. Nakonechny, I. N. Shlyakhov, A.V. Rybka, V.E. kutniy, M. A. Khazhmuradov Technology and design in electronic equipment. - 2007. - No. 1. - Pp. 28-31. [in Russia]

Terokhin Vitaliy L. - Aspirant of the Department of electronics and control systems, V. N. Karazin Kharkiv national University, 6 Svobody square, Kharkiv-22, Ukraine, 61022; e-mail: kbs-com@karazin.ua ORCID: 0000-0001-7653-4488.

Stervoyedov Nikolay G. - PhD (Technology), associate Professor; Head of the Department of electronics and control systems, V. N. Karazin Kharkiv national University, 6 Svobody square, Kharkiv-22, Ukraine, 61022; e-mail: styervoyedov@yahoo.com; ORCID: 0000-0003-0136-6437.

Fomin Sergey P. - PhD (Technology), of physical and mathematical Sciences, senior researcher of the Department of nuclear and medical physics of the faculty of physics and technology, V. N. Karazin Kharkiv national University, 6 Svobody square, Kharkiv-22, Ukraine, 61022; e-mail: Fomin@nas.gov.ua; ORCID: 0000-0002-4714-6141.

Ridozub Oleh V. - 4th year student of the faculty of Computer science, V. N. Karazin Kharkiv national University, 6 Svobody square, Kharkiv-22, Ukraine, 61022; e-mail: ridozub@gmail.com; ORCID: 0000-0003-0136-6437.

Терьохін Віталій Леонідович - аспірант кафедри електроніки та управляючих систем Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, пл. Свободи, 6, Харків-22, Україна, 61022; e-mail: kbs-com@karazin.ua ORCID: 0000-0001-7653-4488.

Стервоєдов Микола Григорович - кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри електроніки та управляючих систем Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, пл. Свободи, 6, Харків-22, Україна, 61022; e-mail: styervoyedov@yahoo.com; ORCID: 0000-0003-0136-6437.

Фомін Сергій Петрович - кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник кафедри ядерної та медичної фізики фізико-технічного факультету Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, пл. Свободи, 6, Харків-22, Україна, 61022; e-mail: Fomin@nas.gov.ua; ORCID: 0000-0002-4714-6141.

Рідозуб Олег Володимирович - студент 4 курсу факультету комп'ютерних наук Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, пл. Свободи, 6, Харків-22, Україна, 61022; e-mail: ridozub@gmail.com; ORCID: 0000-0003-0136-6437.

Терехин Віталій Леонідович - аспірант кафедри електроніки та управляючих систем Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, пл. Свободи, 6, Харків-22, Україна, 61022 e-mail: kbs-com@karazin.ua ORCID: 0000-0001-7653-4488.

Стервоєдов Миколай Григорьевич - кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри електроніки та управляючих систем Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, пл. Свободи, 6, Харків-22, Україна, 61022 e-mail: styervoyedov@yahoo.com; ORCID: 0000-0003-0136-6437.

Фомин Сергей Петрович - кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник кафедры ядерной и медицинской физики физико-технического факультета Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, пл. Свободи, 6, Харків-22, Україна, 61022 e-mail: Fomin@nas.gov.ua; ORCID: 0000-0002-4714-6141.

Рідозуб Олег Владимирович - студент 4 курса факультета компьютерных наук Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, пл. Свободи, 6, Харків-22, Україна, 61022 e-mail: ridozub@gmail.com;