

ІСТОРІЯ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПРОВІДНИХ ПРИСТРОЇВ  
У МЕДИЦИНІ

Сергій Нічий, Богдан Нічий,

Чернівецький національний університет

імені Юрія Федьковича, Чернівці (Україна)

s.nichyi@chnu.edu.ua; nichyi.bohdan@chnu.edu.ua

THE HISTORY OF THE USE OF WIRELESS DEVICES  
IN MEDICINE

Sergiy NICHYI, Bohdan NICHYI,

Yuriy Fedkovich Chernivtsi National University, Chernivtsi (Ukraine)

ORCID ID: 0000-0003-2662-9694; Research ID: E-1833-2019

**Ничий Сергей, Ничий Богдан. История использования беспроводных устройств в медицине.** В статье рассмотрено основные этапы использования беспроводных устройств и беспроводных технологий передачи данных в медицине. **Цель исследования:** изучить и проанализировать историю внедрения, использование беспроводных компьютеризированных устройств для медицинской диагностики и мониторинга организма человека. **Методы исследования:** описательный, методика систематизации и классификации исторических данных внедрения беспроводных компьютеризированных устройств в медицине. **Научная новизна** заключается в систематизации связи развития беспроводных компьютеризированных устройств и использование в медицине новых устройств медицинской диагностики и мониторинга. **Выводы:** использование беспроводных устройств в медицине упрощает процесс диагностики пациентов, создает более комфортные условия мониторинга состояния организма пациентов и ускоряет обработку данных о состоянии организма человека.

**Ключевые слова:** *WBAN, PAN, сенсорные сети, диагностика, мониторинг, медицина.*

**Вступ.** Медичне діагностичне обладнання є важливим фактором в забезпеченні надання своєчасних і якісних медичних послуг. Розвиток електронно-медичного діагностичного обладнання починався і паралельно розвивався із розвитком електронних пристроїв і технологій. Електронне медичне обладнання пройшло еволюцію від громіздких, енергозатратних приладів і пристроїв, які потребували значного ручного налаштування, до портативних пристроїв, які налаштовуються автоматично. Дане обладнання на всьому часовому періоді свого використання виконувало основні функції: зняття певних показників, передача сигналів до центрального (основної функціональної частини) пристрою, подальше перетворення, обробка та видача відповідної інформації (відтворення зображень, побудови графіків, формування цифрових даних і т.д.).

Використання такого обладнання завжди допомагало медикам швидше встановлювати діагноз, краще відслідковувати стан пацієнта протягом тривалого часу лікування. Початком використання електричних сигналів для передачі вимірних медичних величин є подія, яка відбулась у 1905 році в Швеції, коли було здійснено передача сигналу електрокардіограми серця по телефонних лініях<sup>1</sup>, для надання консультації. Із самого початку, використання пристроїв медичної діагностики за допомогою електронного обладнання передбачало використання дротових з'єднань між сенсорами на тілі людини і обробляючим пристроєм. Розвиток комп'ютерної техніки, мікроелектронних технологій дозволив, починаючи з 90-х років минулого століття, створити

комп'ютеризовані медичні датчики, які розміщувались на тілі людини, проводити всі необхідні вимірювання та передавати результати медичних вимірювань за допомогою бездротового зв'язку на пристрої обробки, зберігання, відображення медичної інформації.

**Історіографія питання.** У 1970 р. Гавайський університет під керівництвом Нормана Абрамсона розробив першу в світі безпроводну мережу комп'ютерного зв'язку за допомогою радіостанцій під назвою ALOHA-net. Топологія мережі типу зірка включала сім комп'ютерів, які були розподілені на чотирьох островах для зв'язку з центральним комп'ютером на острові Оакс без використання телефонних ліній. Перше покоління бездротових модемів передачі даних було розроблено на початку 1980-х аматорськими групами по дослідженню цифрових комунікацій. Перші семінари IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) Інститут інженерів з електротехніки та електроніки) міжнародна організація інженерів у галузі електротехніки, радіоелектроніки та радіоелектронної промисловості) зі стандартизації бездротових локальних мереж відбулися в 1991 р. У той час ранні продукти бездротових локальних мереж швидко з'явилися на ринку і не були сумісні за протоколами передачі даних. У 1997 році вийшов стандарт IEEE 802.11<sup>2</sup>, більш відомий як протокол Wi-Fi. Спочатку апаратне забезпечення бездротових локальних мереж (WLAN) було настільки дорогим, що його використовували лише як альтернативу кабельній локальній мережі в місцях, де кабельне під'єднання є неможливе. З подальшим розвитком мікроелектроніки стало

<sup>1</sup> Nazarenko G. I., Guliev Ya. I., Ermakov D. E. Medicinskie informacziorny'e sistemy': teoriya i praktika [Medical information systems: theory and practice], Moskva, FIZMATLIT, 2005, P. 160 [in Russian].

<sup>2</sup> IEEE 802.11-1999 - IEEE Standard for Information Technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and Metropolitan Area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. URL : [https://standards.ieee.org/standard/802\\_11-1999.html](https://standards.ieee.org/standard/802_11-1999.html) [in English].

можливим створювати вузькоспеціалізовані мережі, для яких стандарт IEEE 802.11 є надлишковим. В подальшому були розроблені стандарти 802.15.1 (Bluetooth)<sup>3</sup>, IEEE 802.15.4 (PAN)<sup>4</sup>, IEEE 802.15.6 (WBAN)<sup>5</sup> для створення безпроводних персональних комп'ютерних мереж. Ці технології передачі даних дозволили створити системи моніторингу, захисту, діагностики, керування із використанням мікроелектронних пристроїв, які обмінюються інформацією, використовуючи безпроводниковий зв'язок.

**Виклад основного матеріалу.** Розробка засобів передачі інформації про стан людського організму за допомогою радіосигналів почалась в кінці 1950-х років під час підготовки перших польотів людини в космос. На цьому етапі за допомогою радіохвиль передавали ЕКГ серця і пневмограми космонавтів. Подальший розвиток космонавтики привів до розширення переліку медичних вимірювань, які передавались в центр управління польотом за допомогою бездротового зв'язку. Як правило, медичні пристрої передбачали наявність підключення діагностичного обладнання до тіла пацієнта через електричні провідники (кабелі). Дана процедура обмежувала можливості проведення вимірювань під час руху людини або під час її фізичних навантажень. Починаючи з 80-х років минулого століття, розвиток мікроелектронних технологій дозволив створити електронно-обчислювальні машини, які розміщувалися в одному корпусі мікросхеми. Те саме можна сказати і про приймально-передавальні радіопристрої. Наприклад, перший автономний ЕКГ-монітор серцевого ритму поступив у продаж в 1983 року. Він належав до автономно-натільного пристрою, який давав змогу спортсменам контролювати свій пульс. Звичайно його можливості були досить скромні. Він лише відображав на рідкокристалічному дисплеї величину пульсу. А вже з середини 90-х років почалося стрімке впровадження досягнень інтегральної комп'ютерної техніки в засоби медичної діагностики. Це дозволило створити автономні пристрої, які включали в себе сенсори, функціональні блоки вимірювань, обробки, фільтрування даних та передачу відповідно упакованої інформації. Прикріплені до тіла, вони дозволяють повністю автономно проводити процес зняття параметрів і передачу на приймаючий пристрій через радіоефір. Відсутність обов'язкової вимоги фізичної прив'язки до стаціонарного місця розташування є основною ознакою мобільних медичних пристроїв. Мінімальні розміри, автономність живлення, відсутність кабельних з'єднань, дозволяє розміщення їх на тілі хворого чи пацієнта і отримувати результати вимірювань незалежно від місця його перебування.

Подальший розвиток технологій виробництва мікросхем привів до появи з 2000-х років систем на кристалі (SoC). Системи на кристалі – це мікроелектронний виріб, який вміщує на собі пристрої прийому електричних сигналів від сенсорів (підсилювачів, аналогово-цифрових перетворювачів, компараторів), процесорне ядро, яке програмується, приймач певного частотного

діапазону та інші додаткові пристрої, які розміщені в корпусі мікросхеми розміром 8x8 мм. Про можливості таких систем говорить наступне: обчислювальні потужності сучасних SoC співрозмірні з комп'ютерами фірми IBM 80-х років минулого століття. Саме поява SoC дозволила створити системи мобільного моніторингу стану організму з використанням безпроводних натільних датчиків в реальному часі. В складі таких систем можуть бути декілька натільних пристроїв, які розміщуються на різних пацієнтах і передають медичні дані на один приймаючий пристрій. Приймаючий пристрій відображає, зберігає отримані дані від одного або декількох пристроїв. Він видає отримані дані від пристрою пацієнта на вимогу медика. В таких системах можливо згрупувати різні результати медичних вимірювань по певному пацієнту. Дані системи дозволяють проводити діагностику на значних відстанях від пристроїв відображення, слідкувати за станом організму під час фізичних навантажень, процесом одужання пацієнтів і т.д.

Мобільні безпроводні медичні діагностуючі системи використовують при передачі даних різні технології передачі інформації. Розвиток безпроводних медичних датчиків відбувався паралельно з розвитком технологій безпроводного зв'язку. Сьогодні в медичних безпроводних медичних пристроях використовують чотири стандарти передачі даних: IEEE 802.15.1 (Bluetooth), IEEE 802.15.4 (PAN), IEEE 802.15.6 (WBAN), IEEE 802.11 (Wi-Fi).

Стандарт передачі даних IEEE 802.15.1 – Bluetooth був створений в 2002 році. Початок розробки даного стандарту в 1994 році компанією Ericsson Mobile Communication мав на меті замінити провідну гарнітуру в мобільних телефонах. В подальшому приєднання до даних розробок компаній IBM, Intel, Nokia, Toshiba в 1994 р дозволило створити стандарт Bluetooth 1.0, який дозволяв підключати гарнітуру до мобільних телефонів і периферійні пристрої для персональних комп'ютерів за допомогою безпроводного зв'язку на відстань до 10 м. В 2004 році було виготовлено повноцінний мобільний пристрій ЕКГ, який може передавати результати вимірювань за стандартом Bluetooth 2.0. В 2010 році для забезпечення передачі даних в медичній апаратурі був розроблений стандарт Bluetooth 4.0 (Bluetooth з низьким енергоспоживанням). Два пристрої, які використовують даний стандарт обміну даних, встановлюють з'єднання між собою за час 5 мкс і підтримують зв'язок до 100 м. Висока енергоефективність медичних натільних датчиків із передатчиком Bluetooth 4.0 дає можливість працювати від однієї батареї типу CR2032 (типу таблетка) декілька років. Прилади із технологією передачі Bluetooth використовуються також в спорті. Розміщення Bluetooth - сенсорів в спортивному взутті дає змогу визначити фізичну активність за допомогою програмного додатка в мобільному пристрої. Розмістивши відповідні натільні сенсори, можна зразу або на основі записаних даних, переглянути дані про пульс, ЕКГ, тиск, температуру тіла і т.д. протягом певного періоду часу. Виробники

<sup>3</sup> IEEE 802.15.1-2005 - IEEE Standard for Information technology- Local and metropolitan area networks- Specific requirements- Part 15.1a: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications for Wireless Personal Area Networks (WPAN), URL: <http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.15.1-2005.html> [in English].

<sup>4</sup> 802.15.4-2003 - IEEE Standard for Telecommunications and Information Exchange Between Systems - LAN/MAN Specific Requirements - Part 15: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (WPAN), URL: [https://standards.ieee.org/standard/802\\_15\\_4-2003.html](https://standards.ieee.org/standard/802_15_4-2003.html) [in English].

<sup>5</sup> 802.15.6-2012 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 15.6: Wireless Body Area Networks, URL: [https://standards.ieee.org/standard/802\\_15\\_6-2012.html](https://standards.ieee.org/standard/802_15_6-2012.html) [in English].

пропонують різноманітні пристрої, які дають змогу конфігурувати систему медичного моніторингу. Наприклад, апаратна платформа “My Signals”<sup>6</sup> містить набір наступних датчиків:

- датчик храпу;
- датчик положення пацієнта;
- датчик ЕКГ;
- датчик м'язової активності;
- датчик електричної активності шкіри;
- датчик повітряного потоку (дихання);
- датчик температури тіла;
- датчик пульсоксиметрії;
- датчик кров'яного тиску - безпроводний;
- датчик глюкометр – безпроводний;
- датчик маси – безпроводний;
- тривожна/аварійна кнопка.

Результати вимірювань можна передавати через Bluetooth або Wi-Fi на мобільні персональні пристрої або через мережу Інтернет на персональні хмарні сховища даних.

Технологія безпроводникової передачі даних Wi-Fi (Wireless-Fidelity) була представлена американським комітетом по стандартизації локальних мереж в 1997 році як стандарт IEEE 802.11. Перші прилади мали достатньо скромні характеристики по швидкості передачі даних: 2 Мбіт/сек в радіочастотному діапазоні 2.4 ГГц. Сучасні прилади, які працюють згідно стандарту IEEE 802.11ac (2011 рік впровадження) на частоті 5 ГГц передають дані із швидкістю 1 Гбіт/сек. Ця швидкість дорівнює швидкості із передачею даних через оптоволокно. Саме поява різноманітних мобільних пристроїв з 2000 року, які мали апаратні засоби обміну даними за технологією Wi-Fi, дали поштовх широкого запровадження безпроводних технологій обміну даних в медицині із використанням локальних комп'ютерних мереж. Це давало змогу отримати максимальну інформацію про пацієнта, завдяки базам даних, які могли знаходитись поза межами медичної установи. Пристрої, які здатні обмінюватись інформацією за технологією Wi-Fi, дозволяють значно спрощувати доступ до результатів клінічних аналізів, спостереження за пацієнтами, призначення лікування. Наприклад, результати аналізу лікуючий лікар може отримати зразу на свій мобільний пристрій, який підключений до Інтернету. Після 2010 року почала відслідковуватись тенденція до розширеного використання пристроїв медичного призначення із модулями Wi-Fi. В результаті розвитку дані пристрої можна класифікувати за такими групами:

Фіксовані: прилади, які мають конкретну локалізацію в просторі. Такими можуть бути прилади, які збирають інформацію про навколишнє середовище (вимірювання температури, тиску, вологості і т.п.);

Портативні: компактні прилади, які легко переносяться і використовуються за вимогою (тонометри, глюкометри, ЕКГ, портативні аналізатори).

Переносні: малорозмірні прилади, які протягом тривалого часу, або постійно, знаходяться на тілі пацієнта з метою активного моніторингу фізіологічних функцій.

Аналітична фірма “Fast Sullivan” в результаті своїх досліджень показала, що ринок апаратури безпроводних мереж Wi-Fi в сфері охорони здоров'я кожного року зростає на 52%. Проте значна випромінювальна енергетична потужність медичних приладів з передатчиками Bluetooth ( $\leq 100$  мВт) і Wi-Fi модулями ( $\leq 100$  мВт, робоча частота 2.4 ГГц;  $\leq 200$  мВт, робоча частота 5 ГГц) вимагала розробки стандартів передачі даних із меншою вихідною потужністю передавачів в медичних приладах.

В 2012 році була представлена технологія і стандарт безпроводних мереж IEEE 802.15.6 для медичних датчиків моніторингу показників тіла людини WBAN (Wireless Body Area Network – безпроводні натільні сенсорні мережі). Дана технологія дозволяє передавати дані в межах до 5 м, при максимальній споживаній потужності від джерела живлення до 40 мВт в активному режимі і сплячому режимі – 0,01 мВт. Такі енергетичні параметри дозволяють працювати датчикам в активному режимі до 2-3 років. В цілому WBAN представляє собою стандарт, який призначений для медичних пристроїв, що розміщуються на поверхні або в середині тіла людини. Вони використовують безліцензійні частотні діапазони, а також частоти для роботи медичного обладнання.

У WBAN розділяють три типи вузлів.

1. Імплантовані – вузли, які поміщені в тіло людини. Вони можуть бути розміщені безпосередньо під шкірою або значно глибше в середині.

2. Поверхневі – вузли, які розміщені на поверхні тіла, або на глибині до 2 см.

3. Зовнішні пристрої – вузли, які не контактують із шкірою людини і розміщені на відстані від 1 см до 1 м.

Імплантовані медичні пристрої WBAN стандарту IEEE 802.15.6 наразі широко використовують при моніторингу серцево-судинних захворювань, які дають змогу виявити епізодичні аномалії (хвилі переходів кров'яного тиску, миготлива аритмія і т.д.). Даний стандарт передбачає встановлення безпроводного зворотного зв'язку з імплантованим пристроєм в разі необхідності корегування його роботи. Такий зв'язок встановлюється при дотриманні необхідної відстані між імплантом і керуючим пристроєм. Медичні пристрої з даним стандартом зв'язку дозволяють встановлювати зв'язок, використовуючи як середовище передачі, тіло людини. Малий радіус дії даних пристроїв дозволяє вирішувати два завдання: забезпечувати малу величину електромагнітного випромінювання і кібербезпеку імплантованих і поверхневих вузлів. Сенсорні безпроводні пристрої відповідно до стандарту IEEE 802.15.6 призначені для вимірювання коливань очного яблука відносно зорової осі (eye tremor), навантаження на зв'язки плеча (shoulder ligament strains), навантаження на спинні м'язи (spinal ligament strains), навантаження на зв'язки ліктьового суглоба (elbow ligament strains), реєстрації електричної активності м'язів, електрокардіограм (wireless emg and ekg), навантаження на зв'язки в зап'ясті (wrist ligament strains), навантаження на зв'язки колінного суглобу (knee ligament strains), навантаження на зв'язки в щиколотці (ankle ligament strains). До сенсорних вузлів входять смарт устілки для вимірювання сили (wireless smart insoles measure force), сенсори вимірювання глибини розміщення імплантів рогівки (depth of corneal implant), сенсори орієнтації для коронки зуба (orientation sensor for improved tooth crown prep), гігроскопічні сенсори для вимірюван

<sup>6</sup> MySignals - eHealth and Medical IoT Development Platform, URL: <http://www.my-signals.com> [in English].

ня руху та орієнтації в трьохвимірному просторі (3DMG measures orientation and motion), вимірювання мікропереміщень в ендопротезі тазобедреного суглоба (hipreplacement – sensor for measuring micromotion), вимірювання імплантів (smart wireless sensor measures implant subsidence), розумний ендопротез колінного суглоба (smart total knee replacement), вимірювання навантаження ахіллового сухожилля (achilles tendon strains) і підйом ступні (arch support strains). Натільні (поверхневі) WBAN використовують для оцінки стану спортсменів, моніторингу і контролю стану пацієнтів при довготривалому лікуванні.

З 2015 року все більше появляються публікації про підключення медичних датчиків з передавачами стандарту IEEE 802.15.4 в єдину медичну автономну мережу. Стандарт IEEE 802.15.4 займає проміжне місце між IEEE 802.15.4 (WBAN) і IEEE 802.15.1 (Bluetooth). Розширений стандарт IEEE 802.15.4, представлений в 2007 році, був результатом роботи розробників з 2003 року. Пристрої з апаратними модулями IEEE 802.15.4 повинні мати наступні характеристики: дальність прийому до 30 м в приміщенні; потужність випромінювання передатчика < 4,5 dBm, споживана потужність в режимі сну 3,6 мкВт. За своїми характеристиками такі пристрої найбільш перспективно використовуються як натільні діагностичні чи моніторингові медичні пристрої, або пристрої моніторингу параметрів комфортності приміщень. Медичні сенсори, які реалізовані на таких пристроях, дають можливість проводити вимірювання і передавати результати, не обмежуючи мобільність пацієнта. Перспектива застосування медичних пристроїв стандарту 802.15.4 пов'язується із застосуванням технології ZigBee<sup>7</sup>. ZigBee – це набір протоколів, розроблений альянсом ZigBee, для зв'язку між малопотужними передавачами, який заснований на стандарті IEEE 802.15.4-2006. Технологія ZigBee передбачає організацію безпроводникових персональних мереж. В такій мережі організується динамічна маршрутизація, що дозволяє отримувати дані від пристроїв, які знаходяться поза межами прямого зв'язку між компонентами мережі. Протокол ZigBee на сьогодні не єдиний (більш розрекламований), який використовують для організації безпроводникових пристроїв в єдину мережу. Використовуючи стандарт IEEE 802.15.4, можна побудувати системи медичної діагностики і моніторингу, які використовують протоколи і організацію мережі, розроблені виробниками медичного обладнання. Стандарт передачі даних IEEE 802.15.4 передбачає три типи пристроїв в мережах: первинні вимірювачі (датчики), ретранслятори з датчиками, координатор мережі (центральної пристрій). Вся інформація від датчиків приходить на координатор. Координатор може передавати інформацію в Internet, на персональний комп'ютер, спеціалізований пристрій обробки даних. В мережі всі датчики можуть виконувати роль ретранслятора. Датчики можуть бути розміщені на поверхні тіла, або не контактувати із шкірою людини і розміщені на відстані від 1 см. Більшість натільних пристроїв, для яких розроблений стандарт IEEE 802.15.6, можуть бути реалізовані з використанням пристроїв з модулями передачі даних стандарту IEEE 802.15.4. Дані пристрої можуть використовуватись для діагностики і моніторингу пацієнтів, як в постільному, так і в рухомому режимі, моніторингу стану спортсмена під час тре-

нувань. Використовуючи дані пристрої, можна побудувати системи контролю комфортності приміщень (палат, кабінетів, операційних та ін.), загального моніторингу стану мобільного пацієнта в реабілітаційний період із можливістю самостійного виклику медичного персоналу.

**Висновки.** В історії і розвитку безпроводних технологій в медицині можна виділити дві наступні тенденції. Перша полягає в тому, що пристрої, які мають передавачі з технологій Bluetooth і Wi-Fi в медицині, використовують для обміну інформацією медичного призначення: мобільна доступність до каталогу пацієнта, змога передачі результатів медичних аналізів, виведення результатів діагностики безпосередньо на пристрої персонального використання (смартфони, планшети і т.д.). Дані пристрої дають змогу покращити обслуговування пацієнтів. Проте, значна потужність радіовипромінювання і енергоспоживання накладає певні обмеження для довгострокового використання даних пристроїв.

Другу тенденцію представляють група пристроїв з модулями передачі даних згідно стандарту IEEE 802.15.6 і IEEE 802.15.4, які за своїми енергетичними параметрами випромінювання і енергоспоживання дають можливість створювати безпроводне моніторингове, діагностичне обладнання з довгостроковим автономним живленням, радіус зв'язку якого з центральним пристроєм дозволяє вільно переміщатись пацієнту в межах кімнати, квартири, лікарняного відділення.

Сьогоднішній стан технологій виробництва електронних пристроїв дає можливість виготовляти безпроводні мікро- чи наноелектронні медичні діагностичні засоби такими малорозмірними, що це дозволяє пацієнту позбутись не тільки фізичного, а й естетичного дискомфорту.

**Nichy Serhiy, Nichy Bogdan. The history of the use of wireless devices in medicine.** The article discusses the main stages of using wireless devices and wireless data transfer technologies in medicine. **Purpose of the study:** to analyse the implementation history, the use of wireless computerised devices for medical diagnosis and monitoring of the human body. **Research methods:** descriptive, methodology for systematisation and classification of historical data on the introduction of wireless computerised devices in medicine. **Scientific novelty** lies in systematising the connection between the development of wireless computerised devices and the use of new medical diagnostic and monitoring devices in medicine. The following trends can be distinguished in the history and development of wireless technologies in medicine. The first is that devices that have Bluetooth and Wi-Fi transmitters in medicine are used to share medical information: mobile accessibility to the patient's catalog, ability to transmit medical test results, output diagnostics directly to personal devices (smartphones, tablets, etc.). These devices help improve patient care. However, the considerable power of radio emission and power consumption imposes certain restrictions on the long-term use of these devices. The second trend is represented by a group of devices with data modules according to IEEE 802.15.6 and IEEE 802.15.4, which by their energy parameters of radiation and energy consumption make it possible to create wireless monitoring, diagnostic equipment with long-term autonomous power supply, whose radius is connected with a central device, and allows the patient to move freely within the room, apartment, hospital ward. **Conclusions:** the use of wireless devices in medicine simplifies the process of diagnosing patients, creates more comfortable conditions for monitoring the state of the patient's body and accelerates the processing of data on the state of the human body.

<sup>7</sup> Jassim S. I., Nourildwan S. W. "IEEE 802.15.4 ZigBee-Based Wireless Sensor Network in Medical Application" *Iraqi Journal of Science*, December 2012, Vol. 53, N 4, P. 1055-1066 [in English].

**Key words:** WBAN, PAN, sensor networks, diagnostics, monitoring, medicine.

**Сергій Нічий** – доцент кафедри фізики напівпровідників і наноструктур Чернівецького національного університету імені Ю.Федьковича. В науковому доробку автора – 45 надрукованих праць. Коло наукових інтересів: розробка та дослідження вбудованих мікроелектронних систем, автоматизовані моніторингові системи.

**Serhiy Nychyi** - Associate Professor of the Department of Semiconductor Physics and Nanostructures of Yuriy Fedkovich Chernivtsi National University. There are 45 published works in the author's scientific work. Scientific interests: development and research of embedded microelectronic systems, automated monitoring systems.

**Богдан Нічий** – магістрант першого року навчання кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки Чернівецького національного університету імені Ю.Федьковича. Наукові інтереси: вивчення та дослідження принципів побудови та функціонування безпроводних сенсорних мереж.

**Bohdan Nychyi** – a first year undergraduate student of the Department of Radio Engineering and Information Security of Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University. Scientific interests: research of the principles of construction and operation of wireless sensor networks.

**Received:** 06.05.2020

**Advance Access Published:** June, 2020

---

© S. Nychy, B. Nychy, 2020