

МАТЕРІАЛИ ХХVII
МІЖНАРОДНОГО
МОЛОДІЖНОГО ФОРУМУ

МІНІСТЕРСТВО
ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

РАДІОЕЛЕКТРОНІКА
ТА МОЛОДЬ У ХХІ
СТОЛІТТІ



2023

ТОМ 1

ХАРКІВ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

МАТЕРІАЛИ 27-го МІЖНАРОДНОГО МОЛОДІЖНОГО ФОРУМУ

**«РАДІОЕЛЕКТРОНІКА І МОЛОДЬ
У XXI СТОЛІТТІ»**

10-12 травня 2023 р.

Том 1

**КОНФЕРЕНЦІЯ
«ЕЛЕКТРОННА, ЛАЗЕРНА ТА БІОТЕХНІЧНА ІНЖЕНЕРІЯ»**

Харків 2023

27-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті». Зб. матеріалів форуму. Т. 1. – Харків: ХНУРЕ. 2023. – 142с.

В збірник включені матеріали 27-го Міжнародного молодіжного форуму
«Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті».

Видання підготовлено факультетом електронної та біомедичної інженерії
Харківського національного університету радіоелектроніки

61166 Україна, Харків, просп. Науки, 14
тел./факс: (057) 7021397

E-mail: mref21@nure.ua

© Харківський
національний університет
радіоелектроніки (ХНУРЕ), 2023

Програмний комітет конференції

- Аврунін О. Г.** д.т.н., проф., зав. каф. БМІ ХНУРЕ, лауреат Державної премії України в галузі освіти, м. Харків, Україна.
- Бондаренко І. М.** д.т.н., проф., зав. каф. МЕЕППІ ХНУРЕ, м. Харків, Україна.
- Васянович А.В.** канд. фіз.-мат. наук, проф, декан факультету ЕЛБІ, м. Харків, Україна.
- Вербицький В. Г.** проф., директор НДІ Мікроприладів, м. Київ, Україна.
- Гнатенко О.С.** канд. фіз.-мат. наук., зав. каф. ФОЕТ ХНУРЕ, м. Харків, Україна.
- Кіпенський А.В.** д. т. н., проф., декан факультету соціально-гуманітарних технологій, проф. кафедри промислової і біомедичної електроніки НТУ«ХП», м. Харків, Україна.
- Максименко В. Б.** д.м.н., проф., зав. каф. БМІ НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна.
- Мачулін В.Ф.** Академік НАН України, директор Інститута фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАНУ, м. Київ, Україна.
- Негрійко А. М.** член-кореспондент НАН України, заступник директора з наукової роботи інституту Фізики НАН України, м. Київ, Україна.
- Пятикоп В.О.** д. м. н., проф., зав. каф. нейрохірургії Харківського національного медичного університету, м. Харків, Україна.
- Стрількова Т.О** д.т.н., проф. кафедри МЕЕППІ ХНУРЕ, м. Харків, Україна.

Секція 1

Електронні системи та технології, включаючи мікро- та нанoeлектронні

Керівник секції

Доктор технічних наук, професор,
професор кафедри Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв
Стрілкова Тетяна Олександрівна

Координатори секції:

Асистент кафедри Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв
Горбенко Євген Олександрович

Асистент кафедри Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв
Калмиков Олександр Сергійович

Тематичні напрямки:

1. Електронні прилади та системи прийому та передачі інформації.
2. Електронні/цифрові/оптичні методи та системи обробки сигналів та зображень.
3. Математичні, статистичні та програмні методи моделювання електронних систем, сигналів та завад, передавання, приймання та реєстрації інформації в електронних системах.
4. Електронні технології та засоби діагностики, управління та моніторингу.
5. Сучасна елементна база електроніки.
6. Прикладне програмування в електроніці.
7. Електронні системи енергозберігаючих технологій
8. Нанoeлектронні та нанооптичні технології.
9. Фізико-математичні основи електроніки, мікро- та нанoeлектроніки.
10. Інноваційні методи викладання у галузі електроніки, мікро- та нанoeлектроніки.

ЗАСТОСУВАННЯ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ У ВІЙСЬКОВИХ ШПИТАЛЯХ В ПЕРІОД ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ В УКРАЇНІ

Чекубашева В.А.

Науковий керівник – к.ф.-м.н., доц. Глухов О.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПІ,
м. Харків, Україна

тел. +38(095) 351-98-59, e-mail: valeriia.chekubsheva@nure.ua.

An important part of the Armed Forces of any country is the military medical service. In wartime, the health care performs the responsible functions of medical help for combat operations of the troops, providing effective qualified assistance to the wounded and sick. That is why it is necessary to provide military hospitals with the latest material and technical support in accordance with the established needs. The purpose of this work is the development of a robot assistant to help the infectious disease department of military medical institutions of Ukraine.

В умовах воєнного стану особливо важливу роль відіграють військові медичні заклади та зокрема персонал, що їх обслуговує. Військова медицина в Україні наразі є доволі розвинутою сферою, яка відповідає усім сучасним напрямкам, характерним для розвинутих країн Європи та світу. Попри це, за обставин переповненості шпиталей, працівникам дуже важко надати своєчасну відповідну допомогу всім постраждалим. Проаналізувавши типово притаманні для групи ризику військових інфекційні захворювання (такі як туберкульоз легенів, вірусні геморагічні лихоманки тощо), вирішено, використавши досвід попередніх досліджень [1, 2], розробити роботичну систему, здатну автономно виконувати типові функції медсестринського персоналу, тим самим дозволяючи працівникам надати невідкладну допомогу військовим, зазнавшим серйозних поранень, наприклад, осколкового характеру.

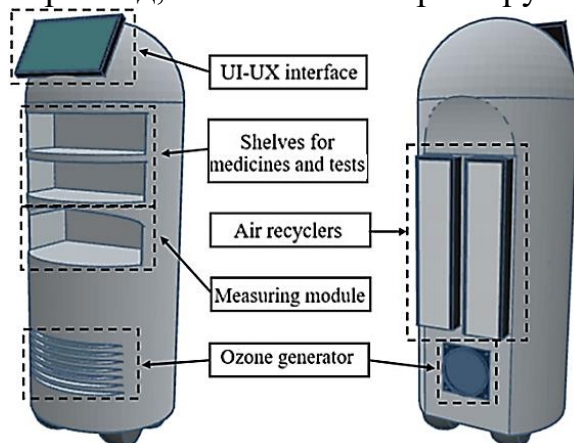


Рисунок 1 – 3D модель робота

Раніше вже була запропонована система для моніторингу стану пацієнтів в умовах COVID-19 [1] (рис. 1). Вона зокрема містить наступні функціональні блоки: UI-UX інтерфейс для комунікації пацієнта та робота-асистента, оптичний блок вимірювання параметрів організму (температура тіла, пульс, сатурація та тиск), детально описаний в [3], блок знезараження повітря в палатах [1],

а також система пересування робота, розроблена на основі TurtleBot 3 Waffle Pi з реалізацією алгоритму SLAM [2]. Окрім цього, в [1] було запропоновано

використання RFID-міток для ідентифікації кожного пацієнта. Однак, з огляду на те, що типовими травмами для військовослужбовців також можуть бути контузії головного мозку та очей, струс мозку та інші ураження ЦНС, що можуть ускладнювати процес визначення особи, пропонується також додати процедуру ідентифікації пацієнта шляхом аналізу цифрового відбитку обличчя за 80-ма нодальними точками. Ця функція є важливою не тільки для того, щоб зафіксувати виміряні оптичним блоком показники організму в загальній системі історії хвороби, але й для того, щоб забезпечити пацієнта заздалегідь визначеним лікарем унікальним набором медикаментів.

Пропонується також розробка механізму поштучної дозованої видачі ліків. Він представлений блоком матриці капсул з розміщеними в них медикаментами, видача яких запроваджується за допомогою поворотного механізму, реалізованого на основі сервоприводу, що виштовхує нижню пігулку. Більш того, для виключення помилкової видачі ліків реалізована система контролю видачі, зроблена на основі матриці пари світлодіод-фотодіод: на кожному стовпчику та на кожному рядку знаходяться оптичні датчики, які безперервно підтримують рівень логічної одиниці. При видачі лікарського засобу цей сигнал блокується виданою таблеткою, тим самим встановлюючи рівень логічного нуля на відповідному рядку та стовпчику.

Таким чином, у даній роботі запропоновано вдосконалену версію робота-помічника, який може стати ефективним та дешевим засобом для забезпечення не лише цивільних лікарень України, а й військових шпиталей, що є одним з потужних способів підтримки Збройних сил України.

Список використаних джерел:

1. Possibility of Creating a Low-Cost Robot Assistant for Use in General Medical Institutions During the COVID-19 Pandemic. / V. Chekubasheva, O. Glukhov, O. Kravchuk, Y. Levchenko, E. Linnyk, V. Rohovets // Optics and Its Applications. – Springer Proceedings in Physics, vol 281, 2022. – pp. 203-213.
2. Creating of a remote-presence robot based on the development board Texas Instruments to monitor the status of infected patients / V.A. Chekubasheva, O.A. Kravchuk, H. Hlukhova, O.V. Glukhov. – Biosensors and Bioelectronics: X, vol 11, 2022.
3. Creation of a remote presence robot based on the TI-RSLK development board / V. Chekubasheva, O. Glukhov, O. Kravchuk, V.Rohovets // II International Advanced Study Conference Condensed Matter and Low Physics 2021. – Kharkiv: FOP Brovin O.V., 2021. – p. 229.

УДК 621.396.96:629.7

МОЖЛИВОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ З БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

Марченко Є.С.

Науковий керівник – д.ф.-м.н., проф. Бондаренко І.М.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПІ,
м. Харків, Україна

тел. +38(067) 122-08-91, e-mail: yevhenii.marchenko@nure.ua

The directions of development of electronic warfare systems against unmanned aerial vehicles for various purposes are considered. Promising directions of developments are determined, examples of practical implementation are given.

До початку ХХІ століття, БПЛА в основному являли собою літальні апарати літакового типу та військового призначення. З появою доступних і швидкодіючих мікропроцесорів і мініатюрних датчиків на основі сучасних технологій з'явилися автопілоти БПЛА на їх основі. Завдяки цьому стало можливим створення мультикоптерів, оскільки ці апарати аеродинамічно нестійкі і вимагають постійної електронної стабілізації в польоті. Розвиток мультикоптерів, у свою чергу, стимулював розвиток польотних контролерів і до початку 2010-х років відбулося масове поширення безпілотників і в цивільній сфері. У свою чергу, це призвело до вдосконалення та розширення можливостей БПЛА військового застосування.

Зважаючи на складність виявлення та можливості знищення БПЛА противника, набагато більш актуальною в наших умовах є альтернатива знищенню – придушення систем управління апарату. Адже майже вся подібна техніка керується оператором, а команди передаються радіоканалом. Таким чином, придушення каналу управління засобами радіоелектронної боротьби (РЕБ) здатне, як мінімум, перешкодити виконанню завдання.

Найбільш поширеним та надійним способом протидії БПЛА є використання спеціальних глушників, які можуть придушувати його сигнали, сигнали керування від оператора, сигнали мобільного зв'язку, сигнали супутникової GPS навігації та GLONASS, сигнали Wi-Fi [1].

Водночас відомо, що на випадок обриву каналу зв'язку з оператором сучасні БПЛА мають режим повернення до району посадки. У цьому випадку система керування ігнорує всі сигнали, а переміщення у вказану зону здійснюється за допомогою супутникової навігації. Використовуючи систему GPS або ГЛОНАСС, літальний апарат може визначити власне положення в просторі, напрям і дальність до оператора або аеродрому та повернутися до нього. Щоб цього не допустити, засоби радіоелектронної боротьби повинні також пригнічувати як канал управління, а й сигнали навігаційної системи.

Таким чином, безпілотні літальні апарати різних класів і типів є унікальним засобом вирішення поставлених завдань, якому не можна протидіяти. Ворожий БПЛА можна знищити, можна завадити йому виконати своє завдання чи навіть зробити своїм трофеєм. Відповідно, всім методів протидії потрібна сучасна техніка, від засобів спостереження та виявлення до систем перехоплення. Більш того, зростають вимоги до систем аналізу робочих сигналів БПЛА з метою створення ефективних адаптивних сигналів завад спрямованої дії.

Сьогодні технологія безпілотних літальних апаратів розвивається дуже швидко. Нові концепції управління, від автономії до угруповання, від уникнення зіткнень до операцій із використанням різних засобів конкурують із нинішніми рішеннями, що використовуються для боротьби з БПЛА.

Технологія боротьби з БПЛА теж стає «розумнішою». З'явилися нові системи, в яких інтегруються та поєднуються різні технології, використовуються новаторські підходи, наприклад, машинне навчання, узагальнення даних засобів виявлення, когнітивні та голографічні РЛЗ, доповнена реальність. У майбутньому для прискорення роботи з урахуванням високої швидкості переміщення БПЛА активно розроблятиметься напрямок автономного прийняття рішень без участі людини.

Аналіз існуючих типів БПЛА та систем РЕБ показує, що не існує універсального засобу боротьби та протидії всім видам БПЛА. Суттєвим обмеженням систем електронної протидії є вимога використання спрямованого випромінювання обмеженої потужності для запобігання можливого перешкоджаючого впливу на свої радіоелектронні системи.

Активно використовуються також системи протидії, призначені для цільового застосування, як стаціонарні так й мобільні.

Для протидії БПЛА розвідки та цілевизначення ближнього (до 10-20 км) радіусу дії ефективно використовуються рушниці – антидрони. Система "ANTIDRON KVSG-6", наприклад, блокує частоти: дистанційного радіокерування і відеопередачі 2.4G WIFI (2400-2500 МГц), 5.8G (5.7-5.9 ГГц); навігації GPS L2 1227 МГц; дистанційного радіокерування 868-912 МГц (860-920 МГц), 433-434 МГц; навігації GPS L1 + Glonass (1575-1620 МГц) [2].

Список використаних джерел:

1. Петрук, М.Д., Дюков, М.В., Ничипорук, В.М., & Гламазда, А.В. Комплекси радіоелектронного подавлення. Житомир. 2014. 516 с.
2. Антидрон портативний "KVS ANTIDRON G-6": https://kvertus.ua/catalog/portativnyu_antidron/397/3.

УДК 621.384

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ВАЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ У ВІЙСЬКОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Кітаєв Г.С.

Науковий керівник – доцент, к.т.н Литвиненко В.А.
Дніпровський державний технічний університет, каф. АРРТ,
м. Кам'янське, Україна
тел. +38(063) 607-91-87, e-mail: kitaev0510@gmail.com

This work is dedicated to analysis of the possibilities and importance of using multispectral devices in the military industry. Multispectral instruments are an extremely important tool for the military industry. Such devices can be used to detect, identify and track the movement of objects with different thermal, visual and other characteristics. The importance of multispectral devices in the military industry is that they provide detailed information about objects that may not be available using other methods. This makes it possible to improve the quality of decision-making and reduce risks for the military.

Технологія тепловізії заснована на детектуванні теплового випромінювання, що випромінюється тілами, включаючи людей та інші живі організми, техніку, споруду та інші предмети. Тепловізори збирають теплову енергію, що випромінюється з поверхонь об'єктів, перетворюють її в електричний сигнал і сформовану картинку обробляють.

Цифрове оброблення зображення в технології тепловізії є ключовим елементом для забезпечення точності та надійності виявлення об'єктів та оцінки їх температури. Воно дозволяє покращити зображення, аналіз якості та ідентифікацію об'єктів теплового випромінювання, що робить технологію тепловізії ефективніше застосовуваною в промислових та промислових сферах, а також у сфері безпеки й оборони.

Створення нових типів фотоприймачів та новітні технології у виробництві матеріалів і покриття надають можливість займатися системами з широким спектральним діапазоном хвиль. Найбільш поширеним способом створення мультиспектральних систем до теперішнього часу лишається розміщення у складі приладу декількох каналів, кожен з яких працює у власному діапазоні спектру і виконує завдання прицільно-спостережного характеру, дальнометрування, утилітарні вузьконаправлені завдання спецпризначення, які дозволяють казати про "інтелектуальність" виробу. Саме цими завданнями є пошук, розпізнавання і супроводження об'єктів.

Розробці мультиспектральних оптико-електронних приладів на теперішній час приділяється велика увага. Застосування кількох спектральних каналів в оптико-електронних приладах за наявності обчислювальних засобів з великою швидкістю обробки багатомірної

інформації, яка отримується від багатоканальних систем, надає можливість у реальному масштабі часу більш надійно вирішувати завдання виявлення, розпізнавання та ідентифікації різних об'єктів.

Оптикоелектронні мультиспектральні прилади (ОМП) є невід'ємною складовою частиною військової техніки та застосовуються в різних напрямках військової промисловості. Це дозволяє здійснювати дослідження різних об'єктів, зокрема, танків, літаків, кораблів та інших об'єктів, які використовуються військовими.

ОМП також застосовуються для контролю за рухом військової техніки та військових підрозділів, що дозволяє збільшити ефективність бойових дій. Крім того, вони можуть використовуватись для виявлення прихованих об'єктів, які можуть представляти загрозу для національної безпеки.

Також, ОМП використовуються для забезпечення безпеки під час виконання різних військових місій та операцій, наприклад, для контролю за діяльністю терористичних організацій.

Яскравим прикладом ОМП є прилади серії КАЖАН – мультиспектральні оптикоелектронні прилади, компанії "Archer", призначені для використання у складі систем спостереження, розвідки і керування вогнем. В залежності від типу виконання прилади КАЖАН можуть використовуватись в стаціонарних постах спостереження, у складі автономних бойових модулів, на бронетехніці, у складі корабельних систем спостереження і керування вогнем. Прилади КАЖАН мають кілька каналів виявлення у різних спектральних діапазонах (видимому, SWIR, MWIR, LWIR) і далекомірний канал. Блок цифрової обробки у складі OEM КАЖАН забезпечує первинну і вторинну цифрову обробку зображень; автоматичне виявлення цілей; супроводження цілей; запис первинних даних; передачу даних в цифровому і аналоговому вигляді. Прилади КАЖАН оснащені стандартними інтерфейсами і легко інтегруються з іншими технічними засобами.

Отже, оптикоелектронні мультиспектральні прилади є важливим інструментом військової промисловості, який дозволяє збільшити ефективність бойових дій, забезпечити безпеку військових підрозділів та виявляти загрози для національної безпеки.

Список використаних джерел:

1. Ю. П. Мисюк, "Тепловізори як сучасні інтегровані технічні засоби охорони державного кордону", *Світлотехніка та електроенергетика*, № 3, 2011, С. 43-49.
2. Офіційний сайт компанії Archer — <https://archer.ua>

АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЦИФРОВОГО ФІЛЬТРУ НА МІКРОКОНТРОЛЕРІ STM32F429

Гальстер І.В., Шульга В.В.

Науковий керівник – к.ф.-м. н., Марченко С.В.
Дніпровський державний технічний університет ДДТУ
51918, Кам'янське, Дніпробудівська 2а, каф. АРРТ
тел. (097) 5403381, e-mail: smarsv1979@gmail.com

This paper is devoted to present the results of hardware implementation of non-recursive digital filter (DF) [1] on the basis of microcontroller. The design of DF has been divided into three parts: calculation and simulation (MatLab and Simulink), generation the software part and experimental one. The obtained experimental results confirm the adequacy of developed model for the non-recursive digital filter that will be applied to digital signal processing in mode of real time.

Мета роботи - апаратна реалізація цифрового фільтру (ЦФ) з скінченою імпульсною характеристикою для роботи в діапазоні 0,3 -2 кГц на мікроконтролері (МК). Розрахунки основних параметрів ЦФ було виконано в середовищі MatLab та Simulink, а в якості апаратної частини обрано модуль розробника STM32F429 DISCO-1 на основі МК STM32F429. Процес реалізації ЦФ на мікроконтролері було розбито на три етапи [2]:

- 1) математичний розрахунок параметрів і характеристик ЦФ, та імітаційне моделювання ЦФ згідно розрахунку;
- 2) створення програмного коду для МК;
- 3) експериментальні виміри спроектованого ЦФ.

На етапі математичного розрахунку ЦФ було використано додаток в пакеті MATLAB Fdatool, який призначений для розрахунку та аналізу ЦФ з врахуванням впливу ефектів квантування, що до того ж дозволяє отримати графіки різноманітних характеристик та параметрів фільтрів. Згідно технічного завдання на розрахунок ЦФ було отримано наступні характеристики: для створення програмного коду - дискретна імпульсна (ДІХ), та амплітудно-частотна (АЧХ) для аналізу роботи ЦФ під час експериментальних вимірювань.

На рис.1 зображено ДІХ а на рис.2 - АЧХ смугового фільтру 100-го порядку з полосою пропускання від 0.3 до 2 кГц. Отримані результати розрахунку в Fdatool, а саме коефіцієнтів ДІХ ЦФ було використано для імітаційного моделювання ЦФ, яке було проведено в пакеті Simulink. В свою чергу, результати імітаційного моделювання підтвердили роботоспроможність запропонованої моделі, що дозволили перейти до натурної реалізації ЦФ на МК. Розробку програмного забезпечення для ЦФ на STM32F429, як другий етап роботи, було виконано в двох середовищах розробки: Cube MX та Keil IDE. В першому було згенеровано код для

ініціалізації потрібних портів та налаштування тактових частот МК та його периферії. Для створення базового коду та необхідних бібліотек було застосовано Keil IDE.

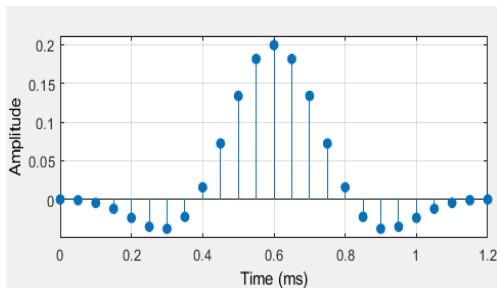


Рисунок 1 – Дискретна ІХ фільтру

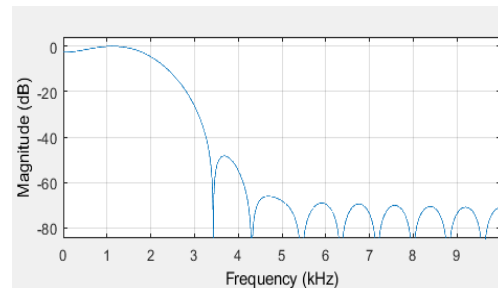


Рисунок 2 – АЧХ фільтру

Експериментальні вимірювання цифрового фільтру проводилися з наступними вимірювальними пристроями: цифровий генератор SIGLENT SDG-1032X та осцилограф SIGLENT SDS-1202X E (рис 3).



Рисунок 3– Лабораторне обладнання, вимірювання, що використовувалося в експерименті АЧХ

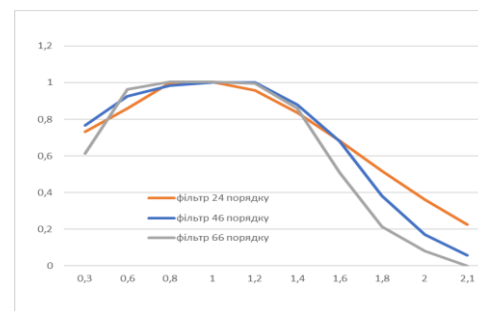


Рисунок 4 – Результати вимірювання АЧХ ЦФ 3 порядків

В ході експерименту проводилось вимірювання залежності напруги на виході ЦФ від частоти при фіксованому значенні амплітуди вхідної напруги. Згідно результатів вимірювань було побудовано графіки АЧХ (рис.3), які досліджувались ЦФ наступних порядків: 22, 46 та 66. З отриманих результатів видно, що при збільшенні порядку ЦФ спостерігається збільшення крутості спаду АЧХ між областю прозорості та областю затримки. Теоретичні результати підтвердилися практичними експериментами. Для покращення результатів необхідно збільшувати порядок ЦФ проте це потребує більш досконале використання апаратних ресурсів, таких як АЦП та її налаштування.

Список використаних джерел:

1. Айфичер Э., Джервис Б. Цифрова обробка сигналів : практичний підхід, 2-е вид : Пер. з англ. - М.: Видав дім "Вільямс", 2004. - 992 с.
2. Лэй Э. Цифрова обробка сигналів для інженерів і технічних фахівців: практичне керівництво / Э.Лэй. Пер. з англ. Соголюб Н.С.- М. : ТОВ "Група ИДТ". - 2007. - 336 с.

УДК 004.9:631.354.23

ВИГОТОВЛЕННЯ МОДУЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНИЖЕННЯ ЧАСТОТИ НА ЗЕРНОВИЙ КОМБАЙН НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРА ARDUINO

Чупахін А. Б.

Наукові керівники – доц., к.ф.-м.н., доц каф. МЕЕПП Глухов О.В.,
асист. каф. БМІ Кравчук О.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПП,
м. Харків, Україна

тел. +38(096) 775-27-05, e-mail: artem.chupakhin@nure.ua

The frequency reduction control module for CLAAS Mega 208 – CLAAS Mega 218 and CLAAS Mega 350 harvesters is a device that integrates into the frequency control system of the harvester, without changing the structure of the system. The purpose of this article is to present a module that will significantly improve the speed and quality of crop processing and help to avoid many types of breakdowns.

Бортова система сигналізації та контролю комбайна здійснює моніторинг всіх його систем, включаючи гідравліку, температуру двигуна, тиск масла, частоту. На застарілих комбайнах заводська система контролю зниження частоти має масу недоліків, найголовніші з яких неможливість відключити канал, який вийшов з ладу та часті поломки котушок реле [1].

Мета даної роботи – спроектувати новий модуль контролю зниження частоти на основі мікроконтролера Arduino.

В конструкції зернового комбайна модуль контролю зниження частоти використовується для контролювання частоти обертів окремих робочих органів задля запобігання аварійних ситуацій. В даній роботі розглядається модуль, який контролює п'ять точок частоти обертів:

- похилий транспортер;
- зерновий елеватор;
- елеватор сходового продукту (домолот);
- соломотряс;
- подрібнювач соломи.

Принцип підрахування частоти модулем побудований на явищі змінення параметрів магнітного поля. В точках контролю, у комбайні, встановлені індуктивні датчики та 4-х кулачкові шайби на валах. Сигнал з датчиків аналоговий та за формою віддалено нагадує синусоїду. Аналоговий сигнал не підходить для обробки мікроконтролером, тому його потрібно оцифрувати. Для цього в модуль встановлені тригери Шмітта, побудовані на операційних підсилювачах, на базі мікросхем LM324N та LM321N. Далі оцифрований сигнал надходить в плату Arduino Nano, яка запрограмована так щоб при зниженні частоти до порогового значення, надходив сигнал в бортову систему сигналізації комбайна. Поріг

спрацьовування модулю розрахований відповідно до технічних характеристик комбайна. Порогові значення наведені в таблиці 1 [2].

Таблиця 1 – Пороги частот для всіх каналів модуля

Робочий орган	Повний ход, об/хв	Холостий ход, об/хв	Порогове значення, об/хв
Соломотряс	220	143	165
Домолот	308	200	231
Зернов. елеватор	450	300	338
Транспортер	520	340	390
Подрібнювач	3300	2100	2400

Даний проект орієнтований перш за все на застарілі моделі зернових комбайнів, з недосконалими системами сигналізації та моніторингу частоти, на які, у випадку поломки заводського модуля, майже неможливо знайти заміну цьому модулю, а ремонтувати його невігідно та малоефективно.

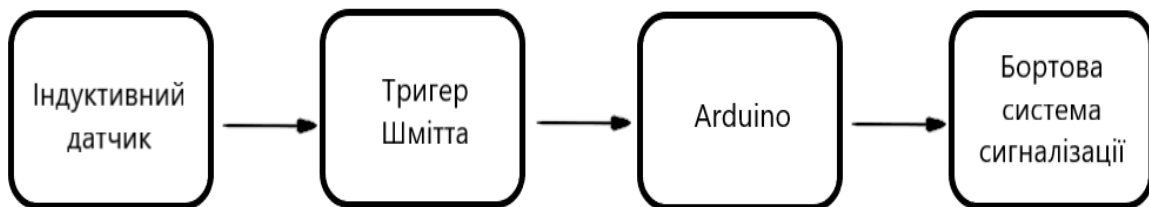


Рисунок 1 – Функціональна схема роботи модуля

Таким чином, завдяки розробленому модулю контролю зниження частоти, застарілі комбайни та комбайни бюджетного класу можна експлуатувати в повній мірі, підвищити якість та швидкість обробки врожаю, уникаючи несправності. Новий модуль, зроблений на базі мікроконтролера Arduino, дасть надійність (відсутність механічних контактів), гнучкість в налаштуваннях параметрів та можливість подальшого розширення функціоналу [3].

Список використаних джерел:

1. CLAAS. (1996). CLAAS Dominator 218/208/204/203/202 Mega II. Hydraulic and Electric System Technical Service Manual. Germany.
2. Jones, M. H. (1995). A Practical Introduction to Electronic Circuits. United Kingdom: Cambridge University Press.
3. Глухов О.В. Вивчення властивостей мікроконтролерів і електронних систем на базі платформи Ардуіно: навч. посібник / О.В. Глухов, О.О. Кравчук, Є. В. Левченко. - Харків: ХНУРЕ, 2019. - 192 с.

УДК 654.9

АНАЛІЗ ТА РОЗРАХУНОК ТЕРМІНУ СЛУЖБИ БЕЗДРОТОВОГО ДАТЧИКА РУХУ ВІД БАТАРЕЇ

Фаброван Р. Р.

Наукові керівники – доц., к.ф.-м.н., доц каф. МЕЕПП Глухов О.В.,
асист. каф. БМІ Кравчук О.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПП,
м. Харків, Україна

тел. +38(050) 524-10-11, e-mail: rustam.fabrovan@nure.ua.

The main disadvantages of wireless security systems include the high cost and the need to replace or charge power cells. However, on the other hand, energy independence is the main advantage of wireless systems. The purpose of the work is to calculate the service life of the power element of the motion sensor.

Одним із принципів класифікації систем охоронної сигналізації є спосіб передачі сигналу. Розрізняють дротові та бездротові системи охорони. Слід порівняти недоліки даних типів сигналізації.

До основних недоліків дротових систем можна віднести високу вартість та необхідність заміни або зарядки елементів живлення. Проте з іншого боку саме енергонезалежність є головною перевагою бездротових систем. Але слід визначити чи є необхідність заміни елемента живлення дійсно проблемою.

Мета даної роботи – розрахунок терміну служби датчика руху систем охоронної сигналізації від батареї типу CR2450.

Розглянемо споживання струму датчика руху з наступною конфігурацією:

- батарея, CR2450, ємність складає 640 мА;
- передавач, RFM69HW (струм споживання 0.1 мкА в сплячому режимі та 33 мА в режимі передачі);
- PIR-сенсор [1], ЕКМВ1101111 (струм споживання близько 2 мкА та при детекті 100 мкА);
- мікроконтроллер, АТМega328Р або платформа Arduino [2].

Згідно до робіт [3,4] АТmega328Р споживає 0.1 – 1 мкА в сплячому режимі та до 1.5 мА в активному. Досягається це шляхом відключення аналого-цифрового перетворювача, вимкненням Brown-out detection (BOD) та правильно сконфігурованих портів вводу-виводу.

Загальне споживання такого датчика руху в режимі очікування складає близько 3.1 мкА (без урахування саморозряду батареї).

Під час спрацювання датчик буде відправляти сигнал тривоги на пульт три рази. Час передачі одного повідомлення – 300 мс зі споживанням 34.5 – 35 мА.

Розрахуємо термін служби батареї для датчика, який має два режими – активний та сплячий. В сплячому режимі датчик не реагує на переміщення

і працює так 14 годин. Решту доби, тобто 10 годин, він знаходиться в активному режимі і за цей час відбувається 10 порушень під час яких датчик буде передавати три повідомлення по 300мс на керуючий пристрій або пульт. В такому випадку датчик буде споживати 35 мА усього близько 10 секунд на добу.

Тоді термін служби складе:

$$T = \frac{640 \text{ мА} \cdot \text{год}}{35 \text{ мА} \cdot 0.00278 \cdot \text{год} + 3.1 \text{ мкА} \cdot 23.997 \text{ год}} \cdot \frac{1}{\frac{8760 \text{ год}}{\text{рік}}} \approx 10.2 \text{ років.}$$

З розрахунків видно, що при такому режимі роботи датчик відпрацює 10 років, а при необхідності замінити батарею сам повідомить користувача [5].

Таким чином, у роботі було продемонстровано алгоритм розрахунку часу роботи батареї датчиків залежно від параметрів та режиму роботи системи та показано, що енергонезалежність є дійсною перевагою бездротових систем охорони. Доведено, що сучасні бездротові датчики здатні працювати від однієї батареї більше 10 років, що дає змогу інтегрувати бездротові датчики не тільки в системи охорони, а й в інші системи контролю та моніторингу, де відсутній постійний доступ до електроживлення.

Список використаних джерел:

1. Sujay Narayana, R. Venkatesha Prasad, Vijay S. Rao, T. V. Prabhakar, Sripad S. Kowshik, Madhuri Sheethala Iyer. (2015). PIR sensors. 142 – 153. DOI:10.1145/2737095.2742561.
2. Глухов О. В., Кравчук О.О., Левченко Є.В. Вивчення властивостей мікроконтролерів і електронних систем на базі платформи Ардуіно : навч. посіб. Харків : ХНУРЕ, 2019.
3. Даташит на ATmega328P:
https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf
4. Luke J. Bradley, Nick G. Wright. (2020). Optimising SD Saving Events to Maximise Battery Lifetime for Arduino™/Atmega328P Data Loggers. IEEE Access. 8. 214832 – 214841. DOI:10.1109/ACCESS.2020.3041373.
5. Fahad Faisal, Asif Karim, Md. Zahid Hasan, Bharanidharan Shanmugam, Muntasir Mahdi, Nazmun Nessa Moon. (2020). Low Cost Voltage and Current Measurement Technique using ATmega328p. DOI:10.1109/I-SMAC49090.2020.9243404.

УДК 621.38.029.6.01

ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ДО СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ВМІСТУ ТА РОЗПОДІЛУ ВІЛЬНОЇ І ЗВ'ЯЗАНОЇ ВОДИ В БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИНАХ

Глухі М.А.

Науковий керівник – д.ф.-м.н., проф. Бондаренко І.М.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПП,
м. Харків, Україна

тел. +38(099) 001-05-36, e-mail: mykyta.hlukhi@nure.ua

An algorithm for the development of elements and structures of an experimental measuring system for microwave studies of the content and distribution of free and bound water in a liquid sample of a biological substance is proposed. The factors that must be taken into account when creating such a measuring system are considered.

Дослідження діелектричних характеристик в НВЧ діапазоні довжин хвиль дозволяє одержувати унікальну інформацію про стан водної компоненти біосистем. В свою чергу, розподіл вільної і зв'язаної води є динамічною характеристикою, яка залежить від стану та умов функціонування біооб'єктів. Фізичною основою цього є велика різниця діелектричної проникності біополімерів, зв'язаної та вільної води, тому що в цьому діапазоні знаходиться область дисперсії діелектричної проникності вільної води. НВЧ діелектрометрія в області дисперсії вільної води (близько 10 ГГц) є прямим методом вивчення стану води в біооб'єктах.

У НВЧ діапазоні в змінному електромагнітному полі (ЕМП) ці молекули не встигають обертатися і слідувати за його змінами. Для води, зв'язаної в біооб'єктах, ступінь вкладу в релаксаційний процес залежить від того, наскільки молекули води зв'язані з макромолекулами, які мають значно більшу масу і не встигають обертатися в електромагнітному полі, з тією ж швидкістю, що і молекули вільної води.

В роботі [1] проведений аналіз стану справ у напрямку мікрохвильових досліджень вологовмісних матеріалів, наведено методики досліджень, приклади реалізації чутливих елементів и вимірювальних систем. Доведено, що резонаторні зондові структури є найбільш перспективними для отримання максимальної чутливості і просторової роздільної здатності. Але, якщо уважно придивитися, можна стверджувати, що в основному розглядалися вимірювальні системи з максимальною чутливістю при локальної взаємодії з об'єктами сталої форми.

В той же час при дослідженні рідких зразків біоречовин (кров, плазма, розчини) виникає багато питань щодо конструкційного забезпечення ефективної взаємодії випромінювання, яке формується чутливим елементом, та зразка речовини, що досліджується, при збереженні високої чутливості вимірювань.

Першим і головним питанням при цьому буде визначення вимог до контейнеру, у якому буде розміщуватися зразок для дослідження. Треба забезпечити збереження стану і властивостей зразка, як мінімум, на час проведення досліджень. Не повинно бути випаровування, впливу різного роду зовнішніх факторів, а також процесів взаємодії зразка з матеріалом контейнера. Також треба визначитись з оптимальним об'ємом рідкого зразка та його формою, яка буде задаватися формою контейнера. Матеріал і конструкція контейнера не повинні критично впливати на характер взаємодії мікрохвильового випромінювання і зразка. Більш того, контейнер зі зразком не повинний мати резонансні властивості в діапазоні вимірювань. Виходячи з загальних міркувань можна якось визначитись з матеріалом контейнера та його загальною конструкцією, але врахувати всі потенційні фактори неможливо.

Тому, вже на цьому етапі підготовки до створення вимірювальної системи, необхідно визначитись з вибором структури чутливого елемента (бажано резонансного - для підвищення чутливості) для проведення подальшого моделювання процесів і конструкцій за допомогою відповідних програмних пакетів з метою їх оптимізації. В результаті моделювання може з'явитися протиріччя між отриманої оптимальної конфігурацією і можливостями практичної технічної її реалізації. У цьому випадку необхідно врахувати в модельному варіанті обмеження практичної реалізації й оцінити можливі (допустимі) зміни чутливості вимірювань.

Все це не виключає попереднього теоретичного аналізу роботи всієї вимірювальної системи з урахуванням внесених змін, обумовлених запропонованими конструкціями чутливого елемента і контейнера для розміщення зразка – об'єкта досліджень.

Далі відбувається виготовлення необхідних елементів і структур, побудова та налагодження вимірювальної системи в цілому з перевіркою її працездатності.

Слід відмітити, що можливість попереднього моделювання процесів і конструкцій при вірно визначених вихідних умовах значно скорочує час створення експериментальних вимірювальних систем. Але це не означає що не можливий і зворотній процес – коригування моделі і конструкції після експериментальної перевірки.

Список використаних джерел:

1. Бондаренко І. М. Напрями та проблеми мікрохвильових досліджень вологовмісних матеріалів та структур : монографія / І. М. Бондаренко, Ю. О. Гордієнко, О. Ю. Панченко; Харків: ФОП Панов А.М., 2019. - 320 с.

УДК 57.087.1:004.9]:614

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СКАНЕРІВ ВЕНОЗНОГО МАЛЮНКУ ДОЛОНІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

Ануфрієв В.В.

Наукові керівники – доц., к.ф.-м.н., доц каф. МЕЕПП Глухов О.В.,
доц. каф. ФОЕТ Федоренко Є.П, асист. каф. БМІ Кравчук О.О.
Харківський національний університет радіоелектроніки,
каф. МЕЕПП, м. Харків, Україна
тел. +38(066) 557-93-69, e-mail: valentyan.anufriiev@nure.ua.

Biometric identification and verification are essential mechanisms in modern society. Palm vein recognition is an emerging biometric technique, which has several advantages, especially in terms of security against forgery. The purpose of this paper is to compare the characteristics of two existing scanners and analyze the potential for their using in the future.

Система біометричної аутентифікації на основі васкулярного малюнка долоні базується на розпізнаванні людей за унікальною структурою вен, яку практично неможливо повторити через те, що вени знаходяться під шаром шкіри і не помітні для неозброєного ока.

Мета даної роботи – провести порівняння існуючих приладів аутентифікації та проаналізувати перспективність їх використання.

Для порівняння були обрані два малогабаритних USB-сканера, а саме Fujitsu PalmSecure F-Pro (рис. 1, а) та ZKTeco PV10R (рис. 1, б).



Рисунок 1 – Fujitsu PalmSecure F-Pro (а), ZKTeco PV10R (б)

Основними характеристиками сканерів є [1]:

- габарити;
- відстань, що необхідна для коректного сканування васкулярного рисунку (відстань від долоні до сканера);
- відсоток хибних пропусків (FAR);
- відсоток хибних відмов (FRR);
- параметри живлення;
- кліматичні умови для експлуатації;

Характеристики сканерів наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристики сканерів

Характеристика	Fujitsu PalmSecure F-Pro	ZKTeco PV10R
Розміри (мм)	29 × 29 × 13	41.5 × 34
Відстань сканування (мм)	40 – 60	200 – 350
FAR (%)	0.0001	0.001
FRR (%)	1	3
Споживана потужність (Вт)	2.5	1.5
Робоча напруга (В)	4.4 – 5.4	5
Робочий струм (мА)	500	300 – 340
Робочий температурний діапазон (°С)	–45 – 85	–10 – 45
Вологість (% RH)	20 – 90	0 – 90

У даному випадку сканер від компанії Fujitsu краще, оскільки відстань для сканування менше, що позитивно впливає на якість зображення та кількість деталей, за якими можна провести ідентифікацію. Параметри FAR та FRR нижчі, що дозволяє його використовувати в умах, коли необхідно ідентифікувати людину за 1 – 2 спроби. Кліматичні умови використання нижчі, ніж у конкурента, що дозволяє використовувати сканер не тільки в приміщеннях, а й на відкритому просторі.

Робота проведена у рамках розробки проекту з створення робота-помічника для медичних закладів широкого профілю [2, 3].

Список використаних джерел:

1. Ануфрієв, В. В., Глухов, О. В., Кравчук, О. О. (2022). Використання біометричних технологій у роботах-помічниках для ідентифікації хворих в умовах COVID-19. Приладобудування: стан і перспективи (с. 150–152). Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”.

2. Chekubasheva, V., Glukhov, O., Kravchuk, O., Levchenko, Y., Linnyk, E., & Rohovets, V. (2022). Possibility of Creating a Low-Cost Robot Assistant for Use in General Medical Institutions During the COVID-19 Pandemic. Springer Proceedings in Physics, (281), 203–213. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-11287-4>.

3. Chekubasheva, V. A., Kravchuk, O. A., Hlukhova, H., Glukhov, O. V. (2022). Creating of a remote-presence robot based on the development board Texas Instruments to monitor the status of infected patients. Biosensors and Bioelectronics: X, (11). <https://doi.org/10.1016/j.biosx.2022.100215>.

УДК 517.443:631.391

MATHEMATICS BEHIND SIGNAL ANALYSIS

Різник М.А.

Науковий керівник – к.т.н., доцент Хаханова А.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. АПОТ,

м. Харків, Україна

тел. +38(066) 236-96-80, e-mail: maksym.riznyk@nure.ua.

This work is devoted to investigation of how does Fourier Transform works and what purpose of it. Also was mentioned two types of transformation, Discrete Fourier Transform and Fast Fourier Transform and their specific uses. Finally, some of the most common applications of the Fourier Transform in fields such as signal processing, image processing, communication systems, and quantum mechanics will be discussed. The Fourier Transform is a fundamental mathematical tool that has revolutionized the way we analyze and understand signals, and its applications continue to expand to new fields and technologies so it is important to understand the way it works and what benefits it might bring.

The Fourier Transform is a mathematical technique that converts a time-domain signal into a frequency-domain representation which means, it decomposes a complex signal into its constituent frequencies, allowing to analyze and understand its behavior more easily.

To understand how the Fourier Transform works, let us consider a simple example. Suppose we have a signal that represents the sound produced by a musical instrument. When we plot this signal on a time-domain graph, we can see how the sound wave varies over time. However, this representation does not provide us with any information about the frequencies that make up the sound.

The Fourier Transform solves this problem by breaking down the signal into a series of sinusoidal waves of varying frequencies. These waves are then represented on a frequency-domain graph, where we can see the amplitude of each frequency component. This representation provides us with a much clearer understanding of the underlying signal.

The Fourier Transform is based on a complex mathematical formula known as the Fourier Transform equation. The equation defines how a time-domain signal can be transformed into a frequency-domain representation [1]. The equation is as follows:

$$F(\omega) = \int f(t)e^{-i\omega t} dt$$

where $F(\omega)$ is the Fourier Transform of the signal, $f(t)$ is the time-domain signal, ω is the frequency, and e is the mathematical constant Euler's number.

In simpler terms, the equation states that the Fourier Transform of a signal is the sum of all the frequencies in the signal, weighted by their respective amplitudes.

There are two types of Fourier Transforms - the Discrete Fourier Transform (DFT) and the Fast Fourier Transform (FFT). The DFT is used to transform discrete signals, while the FFT is used to transform continuous signals. The FFT is a more efficient version of the DFT and is widely used in digital signal processing for example in digital microphones.

The Fourier Transform has numerous applications in various fields. Some of its most common applications include:

Signal processing: The Fourier Transform is used extensively in signal processing to analyze and filter signals. For example, FFT can be used to analyze sound waves, filter out unwanted noise, and compress digital audio and video signals.

Image processing: FFT is also used in image processing to analyze the frequency domain characteristics of an image. This can be useful for image enhancement, filtering, and compression.

Communication systems: The Fourier Transform is used to encode and decode signals in communication systems.

Quantum mechanics: The Fourier Transform is used to solve quantum mechanics equations and analyze quantum systems.

Looking towards the future, signal processing is expected to continue advancing rapidly with the help of technologies like artificial intelligence and machine learning. These technologies can be used to develop more sophisticated algorithms and models for analyzing and processing signals, leading to improved performance and accuracy in various applications. Additionally, the increasing use of sensors and Internet of Things (IoT) devices is expected to generate vast amounts of data, which will require more efficient and automated signal processing techniques. As such, the Fourier Transform and other signal processing tools are likely to remain crucial in advancing technology and improving our understanding of the world around us.

List of used sources:

1. Katznelson, Yitzhak (1976). An Introduction to Harmonic Analysis. Dover.

УДК 537:53.06]:004.9

ПРОГРАМНИЙ МЕТОД ДЛЯ МОДИФІКАЦІЇ 3D-МОДЕЛЕЙ БЕЗ ЗМІНИ ФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Левченко Є. В., Кравчук О.О.

Науковий керівник – проф., д.ф.-м.н., зав. каф. МЕЕПП Бондаренко І. М.,
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПП,
м. Харків, Україна

тел. +38(095) 683-29-02, e-mail: yevhenii.levchenko@nure.ua

In the field of 3D modeling, it is often necessary to modify the internal structure of a 3D model without changing its physical characteristics, such as volume or surface area. This can be a challenging task, especially when dealing with complex geometries and meshes. However, with the use of program methods and algorithms, it is possible to achieve such modifications with relative ease.

Однією з поширених технік, які використовуються в цьому методі, є параметричне моделювання. У параметричному моделюванні геометрія моделі визначається набором параметрів, які можна змінювати для досягнення бажаного результату. Наприклад, параметрична модель автомобіля може мати такі параметри, як довжина, ширина і висота автомобіля, розмір коліс і розташування фар. Змінюючи ці параметри, програма може створювати варіанти моделі без зміни її фізичних характеристик.

Приклад реалізації в Python для зміни внутрішньої структури 3D-моделі з твердого тіла на структуру з маленькими сферами всередині наведено на рисунку 1.

У цій реалізації ми спочатку визначаємо функцію `create_sphere`, яка створює новий об'єкт сфери в Blender. Потім ми визначаємо функцію `fill_with_spheres`, яка виконує ітерацію по всіх вершинах у сітці та додає сфери в їхніх місцях за допомогою функції `create_sphere`. Нарешті, ми визначаємо функцію `change_internal_structure_to_spheres`, яка обчислює розмір кожної сфери на основі об'єму сітки та бажаної щільності сфери, а потім викликає `create_spheres_mesh`.

Функція `create_spheres_mesh` використовує вихідну сітку та щільність сфери, а потім викликає `generate_spheres` для створення списку вершин сфери. Потім він створює новий сітчастий об'єкт і додає до нього ці вершини разом із новими гранями, згенерованими на основі близькості сфер. Це генерує сітку зі структурою, яка нагадує оригінальну сітку, але з пористою внутрішньою структурою, створеною доданими сферами.

У функції `create_spheres_mesh` ми спочатку генеруємо вершини сфери за допомогою функції `generate_spheres`. Потім ми створюємо новий об'єкт сітки та встановлюємо його вершини на згенеровані вершини сфери. Далі ми створюємо список нових граней, перевіряючи близькість кожної пари

```
python Copy code

import bpy
import bmesh
from mathutils import Vector

# Create a new sphere object in Blender
def create_sphere(radius, location):
    bpy.ops.mesh.primitive_uv_sphere_add(size=radius, location=location)

# Iterate through all vertices in the mesh and add spheres at their location
def fill_with_spheres(mesh, sphere_radius):
    bm = bmesh.new()
    bm.from_mesh(mesh)

    for vert in bm.verts:
        create_sphere(sphere_radius, vert.co)

    bm.to_mesh(mesh)
    bm.free()

# Convert the internal structure of the mesh from a solid to a structure with
def change_internal_structure_to_spheres(mesh, sphere_radius):
    # Calculate the size of each sphere based on the mesh's volume and the density
    sphere_density = 0.1 # Number of spheres per cubic unit
    mesh_volume = mesh.volume
    sphere_volume = 4/3 * 3.14 * sphere_radius ** 3
    sphere_size = ((sphere_volume * sphere_density) / mesh_volume) ** (1/3)

    # Fill the mesh with spheres
    fill_with_spheres(mesh, sphere_size)
```

Рисунок 1 – Реалізація зміни геометрії

сфер і додаючи нову грань, якщо вони досить близько. Останнім кроком ми встановлюємо грані нової сітки в цей список і повертаємо його. За допомогою такого підходу ми можемо модифікувати внутрішню структуру 3D-моделей для широкого спектру застосувань, включаючи створення пористих структур або зміну внутрішньої структури біологічних моделей. Метод, який ми представили, є простим, але ефективним способом досягти цих змін, зберігаючи фізичні характеристики вихідної 3D-моделі. Цей метод можна реалізувати в різних мовах програмування, таких як C++ і Python, і можна адаптувати для різних випадків використання. Використовуючи програмні методи та алгоритми, ми можемо ефективно змінювати 3D-моделі та досягати бажаних результатів без шкоди для їхніх фізичних характеристик.

Список використаних джерел:

1. Badenhorst Wessel. Practical Python Design Patterns [Електронний ресурс] : Pythonic Solutions to Common Problems / Wessel Badenhorst ; by Wessel Badenhorst. – 1st ed. 2017. – Berkeley, CA: Apress, 2017. – XVII, 350 p. 1 illus. in color. – ISBN 9781484226803.

УДК 539.1.074.3:621.386

СЦИНТИЛЯЦІЙНИЙ ДЕТЕКТОР ДЛЯ РЕНТГЕНІВСЬКОЇ РАДІОГРАФІЇ

Мольський С. Ф.

Науковий керівник – к.ф.м.н., доц. Галат О.Б.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПІ,
м. Харків, Україна

тел. +38(050)8205240, e-mail: serhii.molskyi@nure.ua.

Luminescent materials based on A_2B_6 compounds are among the most promising for X-ray radiography. The main advantages of crystals of this type are a high internal quantum yield of luminescence and wide possibilities for influencing the emission spectra and other initial characteristics of luminescent materials. To unambiguously determine the type of substance, the radiography system uses sequentially located low-energy and high-energy scintillation detectors, as well as a filter.

In the case of low useful signal levels, it is important to have a minimum noise level of the detector crystal. For this, the noise characteristics of the sensitive element of the detector were optimized.

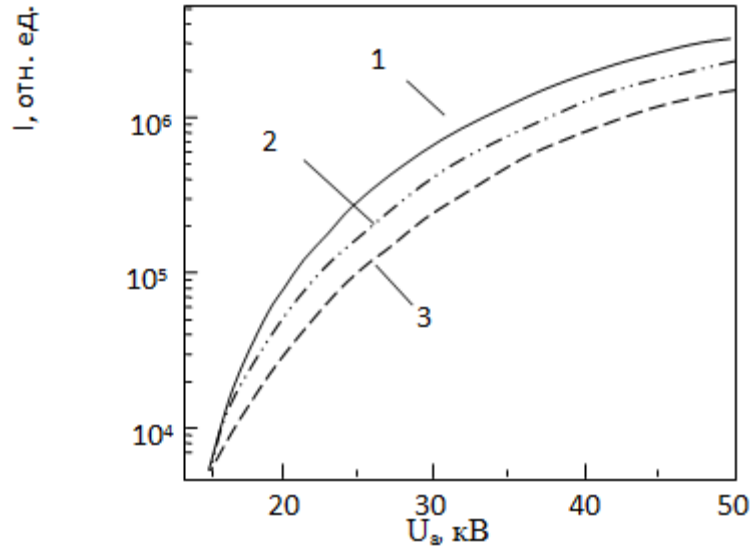
Кристалічні неорганічні сцинтиляційні матеріали викликають особливий інтерес через можливість створення компактних детектуючих пристроїв з високою ефективністю реєстрації радіаційних потоків, що застосовуються у різних галузях наукових досліджень, технічного контролю та медичної діагностики.

Люмінесцентні матеріали на основі сполук A_2B_6 відносять до найперспективніших для рентгенівської радіографії. Основними перевагами кристалів цього типу є високий внутрішній квантовий вихід люмінесценції та широкі можливості впливу на спектри випромінювання та інші вихідні характеристики люмінесцентних матеріалів [1].

За своїми електрофізичними, кристалохімічними та оптичними властивостями найкращим для створення нових типів сцинтиляторів на основі сполук A_2B_6 , таких як кристал-матриця, є селенід цинку ZnSe.

Традиційним детекторам типу «сцинтилятор-фотоелектронний помножувач» (СЦ-ФЕУ) властивий ряд недоліків. Альтернативою детекторам СЦ-ФЕУ для вирішення низки завдань радіаційної техніки є використання систем типу «сцинтилятор-фотодіод» (СФД) [2,3].

На рис. 1 представлені криві залежності величини чутливості від енергії [2], що відповідає напрузі на рентгенівській трубці від 5 до 50 кВ для різних типів сцинтиляторів на основі ZnSe. Для порівняння наведено енергетичну залежність чутливості детектора на основі CsI(Tl), $d_{сц}=0,7$ мм.



1 - детектори на основі ZnSe (Te); 2 - детектори на основі ZnSe (O);
3 – детектор на основі CsI(Tl)

Рисунок 1 – Залежність сигналу детекторів I від напруги на аноді U_a рентгенівського джерела

Для однозначного визначення типу речовини, що аналізується в системі радіографії, використовуються послідовно розташовані низькоенергетичний та високоенергетичний сцинтиляційні детектори, а також фільтр [3].

При низьких рівнях корисного сигналу важливо мати мінімальний рівень шумів кристала детектора. Для цього виконувалася оптимізація шумових характеристик детектора. Виконані розрахунки дозволили вибрати розміри кристала чутливого елемента детектора та параметри елементів підсилювального тракту.

Список використаних джерел:

1. Vaksman Yu.F., Nitsuk Yu.A., Purtov Y.N. et.al (2003) Growing and physical properties of indium-doped zinc selenide crystals: Kharkiv, Functional Materials. 332 p.

2. Рижиков, В., Старжинський, М., Катрунов, К., Тарасов, В., Вягін, О., Зеленська, О. (2005) Використання сцинтиляторів на основі селеніду цинку в комбінованих детекторах для реєстрації змішаних потоків випромінювань Ужгород.: Ужгородський університет, 346 с.

3. Galat, A.B., Starzhinskiy, N.G., Ryzhikov, V.D., Zenya, I.M. and oth. (2008) Integrated detectors of ionizing radiation based on ZnSe(Te)/pZnTe-nCdSe structures. J. Funct. Mater. 15(1) 115–118.

УДК 821.396:004.056

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ NFC ЗАМІСТЬ RFID ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОСТУПУ ДО ПРИМІЩЕНЬ ДЕ ЦИРКУЛЮЄ ІНФОРМАЦІЯ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

Кулешов Д.С. Шишко А.Т.

Харківський національний університет радіоелектроніки,
каф. Інфокомунікаційної інженерії ім. В.В. Поповського,
м. Харків, Україна

тел. +38(066) 088-98-50, e-mail: dmytro.kuleshov@nure.ua

When it comes to organizing access to secure rooms, there are a variety of technologies available. Two of the most commonly used are Near Field Communication (NFC) and Radio Frequency Identification (RFID). While both technologies are similar in many ways, NFC offers several advantages over RFID that make it a better choice for securing access to sensitive areas. In this article, I will explore why NFC is better than RFID for organizing access to secure rooms.

NFC (Near Field Communication) – це технологія безконтактного зв'язку між пристроями на коротких відстанях (зазвичай не більше 10 сантиметрів). Вона ґрунтується на радіочастотному діапазоні 13,56 МГц і дозволяє пристроям обмінюватися даними без використання дротів чи інтернет-з'єднання. Пристрої, що підтримують NFC, можуть використовуватися для передачі різних типів даних, включаючи текст, зображення, аудіофайли та інше. NFC використовується в багатьох областях, включаючи безконтактні платежі, мобільні платежі, керування доступом, автоматичний збір інформації, автентифікацію та ідентифікацію користувача. Однією з найпоширеніших форм NFC є NFC-мітка (NFC tag), яка може бути запрограмована для виконання певних завдань при скануванні мобільним пристроєм із підтримкою NFC. NFC є одним з найбезпечніших методів передачі даних, оскільки використовує криптографічні методи для захисту інформації, що передається. Крім того, NFC працює лише на дуже близьких відстанях, що обмежує можливість несанкціонованого доступу до даних. Замість використання традиційних ключів або паролів, NFC-ключі можуть бути програмно налаштовані на певний пристрій і пов'язані з конкретним користувачем. Це дозволяє керувати доступом до певної зони, наприклад, офісу чи сховища або до будь-якого приміщення де циркулює інформація з обмеженим доступом або конфіденційна інформація або інформація що містить державну таємницю. Крім того, NFC може бути використана для автентифікації пристроїв та ідентифікації користувачів у різних системах безпеки, таких як контроль доступу до мережі, захист платіжних транзакцій, авторизація додатків та інших операцій, де необхідно переконатися в автентичності користувача або пристрою. Важливо, що безпека NFC залежить від правильної конфігурації та реалізації протоколів захисту, тому важливо забезпечити правильне налаштування та оновлення пристроїв, які використовують цю технологію. Зараз для доступу до приміщень часто використовуються технологія RFID (Radio Frequency Identification), відноситься до бездротової системи, що складається з двох компонентів:

тегів і зчитувачів. Зчитувач — це пристрій, який має одну або кілька антен, які випромінюють радіохвилі та приймають сигнали від мітки RFID. Теги, які використовують радіохвилі для передачі своєї ідентифікаційної та іншої інформації читачам поблизу, можуть бути пасивними або активними. Пасивні RFID-мітки живляться від зчитувача і не мають батареї. Активні RFID-мітки живляться від батарейок [1].

Мітки RFID можуть зберігати діапазон інформації від одного серійного номера до кількох сторінок даних. Зчитувачі можуть бути мобільними, щоб їх можна було носити в руках, або вони можуть бути встановлені на стовпі чи над головою. Системи читання також можуть бути вбудовані в архітектуру кабінету, кімнати чи будівлі [2].

Проте на відміну від NFC, що підтримує двосторонній зв'язок, RFID зазвичай підтримує лише односторонній зв'язок (від мітки до зчитувача). RFID-сканер може зчитувати велику кількість міток одночасно, що дуже часто зустрічається на складах. RFID працює на відстані в сотні футів. NFC може зберігати складніші дані, ніж просту ідентифікаційну інформацію. Теги NFC можуть зберігати до 4 Кб даних. Ці дані можуть приймати численні формати, включаючи текст, URL-адреси та медіа. Хоча RFID-мітки зазвичай вимагають дорогих зчитувачів для отримання даних, більшість сучасних смартфонів оснащені можливостями читання NFC. Це значно знижує витрати на впровадження тегів NFC, оскільки користувачі можуть просто використовувати свої смартфони для читання даних. Смартфони можуть зчитувати та записувати дані на тег або картку, отримувати детальні метадані, запускати програму або URL-адресу, коли тег сканується, а також обмінюватися даними між телефонами за допомогою NFC (одноранговий (P2P) зв'язок).

Таким чином при використанні RFID для доступу у приміщення, є проблема яка полягає у тому що співробітники можуть скопіювати свій ключ доступу для власного використання, або передати його третім особам. Або співробітник може втратити свій ключ. Усі ці проблеми вирішує система побудована на NFC, кожен телефон має вбудований NFC модуль, тож це можна використати для надання доступу для співробітників. Так створювати фізичні ключі не має потреби, і навіть якщо співробітник втратить свій телефон навряд це допоможе зловмисникам, адже зазвичай телефон захищено паролем. Також за допомогою централізованого серверу можна швидко заблокувати доступ такому співробітнику. Лишилась проблема що співробітник сам може скопіювати ключ доступу, однак систему можна побудувати так що ключ генерується наприклад кожному хвилину і є унікальним.

Список використаних джерел:

1. RFID vs. NFC: Learn the pros and cons of each. URL: <https://www.techtarget.com/searcherp/tip/RFID-vs-NFC-Learn-the-pros-and-cons-of-each>

2. Radio Frequency Identification (RFID). URL: <https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/electromagnetic-compatibility-emc/radio-frequency-identification-rfid>

УДК 535.2:621.317]:004.9

ТЕРАГЕРЦОВА СПЕКТРОСКОПІЯ ФІЛАМЕНТУ ДЛЯ 3D ДРУКУ

Зайченко Н.Я.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Зайченко О.Б.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПП

м. Харків, Україна

тел. +38(057) 702-14-94, email: nataliia.zaichenko@nure.ua.

This work is devoted to terahertz spectroscopy in time domain of filament for 3D printing. The relevance of the topic of this study is confirmed by a large number of modern publications on this issue. The subject of research in this paper is the determination of the refractive index of a filament for 3D printing. The scientific novelty consists in taking into account the solidification of the filament during the manufacturing process, the presence of metal impurities, and taking into account the rate of filament supply from the extruder. The practical value lies in the possibility of using recycled materials for processing into filament, thereby solving environmental problems.

Робота присвячена удосконаленню методів та моделей терагерцової спектроскопії у часовій області філаменту для 3D друку. Актуальність теми даного дослідження підтверджується великою кількістю сучасних публікацій з цього питання [1–5], які присвячені ряду невирішених проблем. Предметом дослідження у цій роботі є визначення показника заломлення філаменту для 3D друку. Наукова новизна полягає в обліку солідіфікації філаменту у процесі виготовлення, врахуванню наявності металевих домішок, обліку швидкості подачі філаменту з екструдера. Перелічені фактори призводять до невизначеностей, враховуючи які та вносячи поправки до результатів вимірювання, можна підвищити точність керування технологічним процесом. Практична цінність полягає у можливості застосування вторинної сировини для переробки на філамент, тим самим вирішуючи екологічні проблеми.

3D друк використовується для виробництва дуже широкого спектру речей: від прототипів деталей для систем авіоніки та обладнання промисловості, та до цілого ряду предметів побуту, гаджетів та іграшок. Однак при виготовленні різних виробів істотно впливає на їх якість контроль параметрів філаменту. Філамент має різновиди, класифікацію яких тут не наводимо, але взагалі філамент належить до класу полімерів.

У сусідньому до терагерцового мікрохвильовому (НВЧ) діапазоні одним з засобів вимірювань діелектричної проникності речовин є дванадцятиполюсний скалярний аналізатор кіл [1], що є додатковою опцією до традиційних для дванадцятиполюсних аналізаторів операцій визначення потужності, комплексного коефіцієнта відбиття навантаження та ін. Коефіцієнт заломлення, який нас цікавить, є квадратним коренем з діелектричної проникності, якщо матеріал не має магнітних властивостей

як, наприклад, філамент. Причинами, через які не набуло розвитку вимірювання за допомогою дванадцятиполюсників параметрів діелектриків є невелика точність і властивості випромінювання мікрохвильового діапазона, які вимагають екранування джерел випромінювання від людини-оператора. Тому вівся пошук альтернативних методів та засобів дефектоскопії у інших суміжних діапазонах частот.

Донедавна через відсутність ефективних джерел та приймачів терагерцова (ТГц) область частот в англійській літературі отримала назву "Terahertz gap". Проте, за останні двадцять років, завдяки зусиллям провідних дослідних груп у різних країнах був здійснений значний прорив у освоєнні цього діапазону: з'явилися джерела та приймачі ТГц випромінювання як з використанням оптичних методів генерації та детектування випромінювання, так і із застосуванням мікрохвильового підходу, а також були створені з їхньої основи ТГц спектрометри. Численні дослідження демонструють перспективність застосування ТГц спектрометрів для аналізу речовин у різному агрегатному стані у різних галузях, таких як радіоелектроніка, медицина та біологія, системи безпеки. Вимірювання у часовій області ґрунтується на дискретизації невідомого ТГц поля за допомогою відомого фемтосекундного лазерного імпульсу, який називають імпульсом зчитування. Терагерцова спектроскопія у часовій області використовує згортку короткого імпульсу зчитування з довшим терагерцовим імпульсом [2]. Огляд літературних джерел приніс такі корисні результати для подальшого опрацювання: у виданні [3, розділ 13] проведено кількісний аналіз фізико-хімічних властивостей клейових та паяних з'єднань полімерів. Відомості про невизначеності від невідомої товщини досліджуваного зразка та ін. містяться у [4]. Перспективним є моделювання, прототипом якого може стати публікація [5].

Список використаних джерел:

1. Ghannouchi, F. M., & Mohammadi, A. (2009). The six-port technique with microwave and wireless applications. Artech House.
2. Neu, J., & Schmuttenmaer, C. A. (2018). Tutorial: An introduction to terahertz time domain spectroscopy (THz-TDS). *Journal of Applied Physics*, 124(23), 231101.
3. Peiponen, K. E., Zeitler, A., & Kuwata-Gonokami, M. (Eds.). (2012). *Terahertz spectroscopy and imaging* (Vol. 171). Springer.
4. Withayachumnankul, W., Fischer, B. M., Lin, H., & Abbott, D. (2008). Uncertainty in terahertz time-domain spectroscopy measurement. *JOSA B*, 25(6), 1059-1072.
5. Yang, J., Tu, X., Wang, L., & Xiong, Y. (2020, November). Simulation Analysis of Fabry Perot Effect in Terahertz Time Domain Spectroscopy. In *2020 IEEE 1st China International Youth Conference on Electrical Engineering (CIYCEE)* (pp. 1-6). IEEE.

УДК 004.057.4:004.738.5

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ІНТЕРНЕТ-ПРОТОКОЛІВ MQTT ТА СОАР ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В ІНТЕРНЕТІ РЕЧЕЙ

Доля А.С.

Науковий керівник – д.ф.-м.н., проф. Грицунов О.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПІ,
м. Харків, Україна

тел. +38(057) 702-13-62, e-mail: doliaanatolii@gmail.com.

New technologies for the remote communication of software and hardware packages for automatic control of smart homes and technological processes are considered. The comparative analysis of contemporary protocols for the most prospective technology “internet of things” (IoT) is given. IoT is a system of interrelated computation devices and digital actuating mechanisms that are supplemented with the ability to transfer data over the internet without any human interaction. Industrial applications of IoT (industrial internet of things, IIoT) require more fast and reliable protocols than HTTP or WebSocket. Some advantages and disadvantages of MQTT and CoAP protocols for the next IIoT systems are shown up and discussed.

У доповіді зроблено порівняльний аналіз відносно нових інтернет протоколів, які вважаються перспективними для застосування в технології «інтернет речей» (internet of things, IoT). MQTT (MQ Telemetry Transport) [1] – це легкий мережевий протокол між машинами для публікації та підписки для черги повідомлень/сервісу черги повідомлень. Він призначений для підключення до віддалених місць, де є пристрої з обмеженими ресурсами або обмеженою пропускнуою здатністю мережі, наприклад, в індустріальному інтернеті речей (industrial internet of things, IIoT). MQTT повинен працювати через транспортний протокол, який забезпечує впорядковані двонаправлені з’єднання без втрат, як правило, TCP/IP. Це відкритий стандарт OASIS і рекомендація ISO.

Протокол обмежених додатків (Constrained Application Protocol, CoAP) [2] – спеціалізований протокол інтернет-додатків для обмежених пристроїв, як визначено в RFC 7252. Він дозволяє цим обмеженим пристроям, які називаються вузлами, спілкуватися з широким Інтернетом за допомогою подібних протоколів. CoAP розроблено для використання між пристроями в одній обмеженій мережі (наприклад, мережі з низьким енергоспоживанням із втратами), між пристроями та загальними вузлами в Інтернеті, а також між пристроями в різних обмежених мережах, об’єднаних через Інтернет. CoAP також використовується за допомогою інших механізмів, таких як SMS у мережах мобільного зв’язку.

Основною важливою характеристикою цих двох протоколів обміну даними є те, що вони створені та оптимізовані для мереж з обмеженими

ресурсами. Це дозволяє їм передавати дані в декілька разів швидше, ніж їх попередники (HTTP, WebSocket).

Переваги COAP:

- Механізм повторної передачі та контролю цілісності повідомлень, що забезпечує надійність передачі.
- Підтримка прямої взаємодії між пристроями та серверами.
- Підтримка багатоадресної розсилки повідомлень, що дозволяє надсилати повідомлення декільком отримувачам одночасно.

Недоліки COAP:

- Не забезпечує гарантовану доставку повідомлень, як це робить MQTT.
- Менш поширений та менш підтримуваний, ніж MQTT.
- Не підтримує шифрування повідомлень за замовчуванням, що може призвести до вразливостей безпеки.

Переваги MQTT:

- Механізм підписки на теми, що забезпечує ефективний обмін повідомленнями між пристроями.
- Гарантована доставка повідомлень за допомогою механізму повторної передачі.
- Шифрування повідомлень за замовчуванням, що забезпечує безпеку передачі даних.

Недоліки MQTT:

- Використання більшої кількості ресурсів, ніж COAP, для забезпечення якісної доставки повідомлень.
- Не підтримує прямої взаємодії між пристроями та серверами.
- Не підтримує багатоадресну розсилку повідомлень.

В цілому, вибір між COAP та MQTT залежить від конкретного завдання та вимог до протоколу. Якщо потрібен протокол для передачі коротких повідомлень в мережах з обмеженими ресурсами, COAP може бути кращим вибором. Якщо потрібно обмінюватися повідомленнями між пристроями з використанням моделі видавець-підписник, MQTT може бути більш доречним. Втім, для застосування в технології ІоТ критичними можуть виявитися надійність і безпека, що схиляє вибір на користь другого. Дослідження у цьому напрямку тривають.

Список використаних джерел:

1. "MQTT Version 5.0" // Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS). 2019-03-07. Retrieved 2020-12-15. DOI: <https://doi.org/10.1101/2021.07.29.453595>.
2. RFC 7252, Constrained Application Protocol (CoAP) // <https://tools.ietf.org/html/rfc7252>. Retrieved 2014-07. DOI : 10.17487/RFC7252.

ОДНОЕЛЕКТРОННІ ТРАНЗИСТОРИ

Грабіщенко Я.О.

Науковий керівник – к.ф.-м.н., ст.викл. Бабиченко О.Ю.

Харківський національний університет радіоелектроніки

61166, Харків, просп. Науки,14, каф. Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв, тел. (057) 707-13-62

e-mail: yaroslav.hrabishchenko@nure.ua

The report considers the principle of operation of a single-electron transistor and its structure. A single-electron transistor is a transistor, the main parameters of which are high-speed operation and low energy consumption, which is based on the possibility of obtaining noticeable values of current changes by manipulating individual electrons when they pass through a tunnel junction. The purpose of creating such transistors is to reduce energy consumption, heat generation, significantly increase the speed and compactness of microcircuit elements.

Одноелектронний транзистор – транзистор, основними параметрами якого є швидкодія та мале споживання енергії, в основі якого лежить можливість отримання помітних значень змін струму маніпуляцією окремих електронів при проходженні їх через тунельний перехід.

Тунельний перехід представляє собою перехід електронів через потенціальний бар'єр у випадку, коли кінетична енергія електронів менша за потенціальну енергію бар'єру. На (рис. 1) приведено схематичне зображення одноелектронного транзистора.

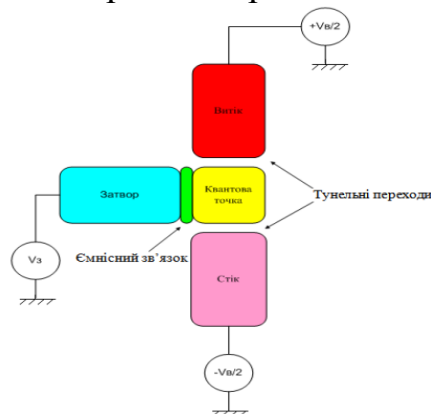


Рисунок 1 - Схематичне зображення одноелектронного транзистора

Принцип дії одноелектронного транзистора ґрунтується на явищі кулонівської блокади, макет якої зображено на (рис. 2). Система представляє собою тунельні переходи метал-діелектрик-метал (МДМ). Коли прикласти різницю потенціалів між стоком та истоком, то може здатися, що повинен потекти тунельний струм. Але в той час коли на

керуючому електроді потенціал буде менший за деяке порогове значення, то тунелювання не спостерігатиметься.

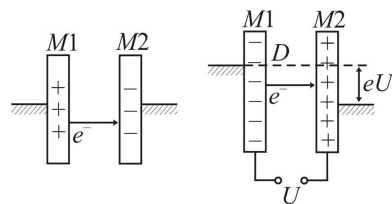


Рисунок 2 - Схема, що пояснює механізм кулонівської блокади під час тунелювання електрона

Електрон на наночастинці залишається ізольованим, тобто заблокованим. При подальшому збільшенні напруги вище за порогове значення, блокування електрона припиняється, і в ланцюзі між стоком та истоком відбувається перескок електрона – протікає тунельний струм. Таким чином, керуючи потенціалом затвора можна пропускати одиничні електрони. Якщо піти далі і помістити між електродами молекулу або молекулярний комплекс замість наночастинки, то рух одиничних електронів буде здійснюватись в результаті стрибків з хімічних зв'язків – у роботу вступають дискретні рівні енергії молекул.

Таким чином, одноелектронний транзистор можна сприймати як граничну міру мініатюризації класичного транзистора – те, до чого прагнуть наблизитись усі найбільші виробники обчислювальної техніки.

В даний момент часу роботу одноелектронних транзисторів можна спостерігати тільки в дослідницьких лабораторіях, але в майбутньому використання цих транзисторів може призвести до різкого зниження енергоспоживання та тепловиділення електронними схемами, значного збільшення швидкості та компактності елементів мікросхем. Розвиток технології одноелектронних транзисторів дозволить створити осередки пам'яті з високою щільність запису інформації, з великим часом зберігання, малою потужністю, що розсіюється, а також дозволить створювати високочутливі хімічні та біохімічні сенсори.

Список використаних джерел:

1. Поплавко Ю. М., Борисов О. В., Ільченко В. І. Мікроелектроніка і наноелектроніка. Вступ до спеціальності: навч. посіб. / Ю. М. Поплавко, О. В. Борисов, В. І. Ільченко – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 160 с. – ISBN 978-966-622-350-3.

2. Одноелектронний транзистор (Single Electron Transistor). http://www.schoolhels.fi/school/school_today/dostigeniya/2012_2013/nanotexnologiya/page16.htm

3. Sologub O Yu (2010). Calculation of the spectrum of fundamental optical absorption compounds A_3B_5 . 2010 20th International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology", стр. 807-808.

УДК 621.373.54

МАЛОГАБАРИТНЕ ІМПУЛЬСНЕ ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ З РЕЖИМОМ РОБОТИ СС/СV

Гарькавенко П. О.

Науковий керівник – канд. фіз.-мат. наук, доцент Фролова Т. І.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

E-mail: pavlo.harkavenko@nure.ua

This work described the device of a power supply with a pulsed voltage conversion and the ability to operate in the CC / CV mode. A modified circuit of a pulsed power supply was obtained through the use of a modern element base. It is shown that the use of two AC / DC and DC / DC converters and the implementation of the CC / CV operating mode allows expanding the scope of this power supply.

Особлива роль у розвитку радіоелектроніки належить джерелам живлення – пристроям, які забезпечують електричною енергією живлення електронних пристроїв [1]. Вони відіграють особливу роль, тому що жоден електронний пристрій не може нормально працювати без живлення. У зв'язку з широким спектром застосування джерел живлення існує багато типів джерел живлення, наприклад, за принципом роботи вони можуть бути гальванічними, електричними, термоелектричними, механічними, п'єзоелектричними, комбінованими. Особливу роль у цій серії блоків живлення відіграють блоки живлення з функцією перетворення напруги. Це дає споживачам можливість значно зменшити габаритні розміри блоку живлення за рахунок підвищеної частоти, що надходить на вхід випрямляча.

Оскільки окрім імпульсного джерела живлення котре перетворює напругу, велику роль в підвищенні ККД відіграє випрямляч на його виході, то слід використовувати синхронний випрямляч в якому замість діода випрямляча використовується транзистор. Типове падіння напруги на кремнієвих діодах – 1 В, на германієвих та діодах Шоттки – близько 0,5 В.

Істотно менше втрати енергії у синхронних випрямлячах на потужних ключових польових транзисторах, де діоди замінені польовими транзисторами. Опір відкритого каналу сучасних польових транзисторів знижено до одиниць мОм, тому падіння напруги може досягати менше 50мВ. Це дозволяє на порядок зменшити падіння напруги та, відповідно, тепловиділення [2].

Також в даній роботі розглядається блок живлення (БЖ) з функцією регулювання та стабілізації вихідної напруги або струму з двома ступенями перетворення (рис. 1). Він має основний потужний блок перетворювача мережевої напруги в низьковольтну напругу, далі використовується другий перетворювач напруги завдяки котрому можна регулювати та стабілізувати вихід за напругою або струмом. Використання двох перетворювачів дозволяє збільшити область використання даного блока живлення, оскільки

його можна ввімкнути від іншого джерела живлення, якщо відсутня мережа. Також є можливість збільшити вихідний струм ввімкнувши паралельно до другого блоку перетворювача ще один [3].

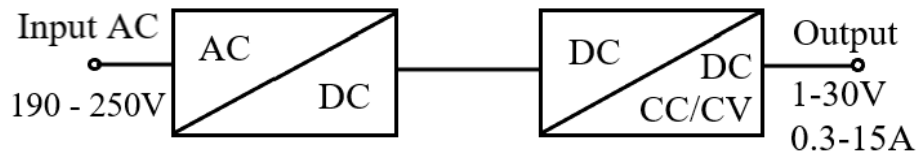


Рисунок 1 – Принцип роботи блоку живлення

Якщо блок живлення використовувати автономно без мережі то принципова схема буде мати вигляд, як наведено на рис. 2.

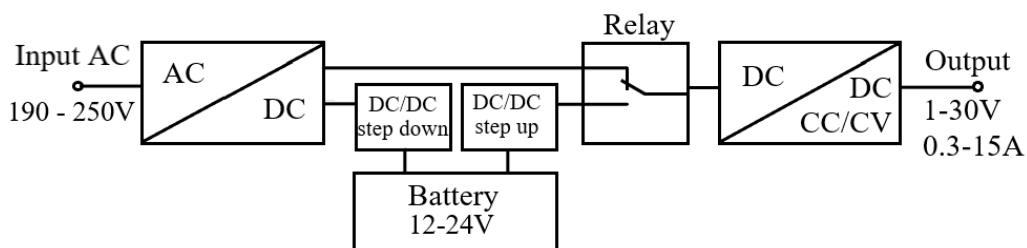


Рисунок 2 – Модифікована схема блоку живлення для автономної роботи

Лінійні джерела живлення менш дорогі через їх простішу структуру. Однак лінійні джерела живлення мають менший ККД (менше 60%) і виділяють більше тепла, ніж імпульсні джерела живлення; отже, зі збільшенням споживання електроенергії загальна вартість імпульсного джерела живлення стає меншою, ніж вартість лінійного джерела живлення.

Таким чином, модифікований імпульсний БЖ дає значно зменшити габаритні розміри та підвищити ККД до 98% відносно лінійних БЖ, а використання двох перетворювачів дозволяє збільшити область його використання.

Список використаних джерел:

1. Raymond A., Mack Jr. Demystifying switching power supplies - ISBN 0-7506-7445-8 – Library of Congress Cataloging-in-Publication Data Mack. Jr/ Raymond A: copyright 2005, Elsevier. - ТК7868.S9M24 pp.113 - 154

2. Differentiate between Linear Power Supply and Switching Power Supply [Електронний ресурс]: - Режим доступу: https://www.matsusada.com/column/linear_switching_difference.html.

3. Switching Power Supply Technical Manual [Електронний ресурс]: - Режим доступу: <https://www.power-supplies.com.au/files/mean-well-user-technical-manual.pdf>.

УДК 620.9.004.18:621.383.51

ОСОБЛИВОСТІ ТАНДЕМНОГО ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧА НА ОСНОВІ ПЕРОВСКІТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Слюсаренко О. А.

Науковий керівник – к.ф.м.н., доц. Галат О.Б.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПІ,
м. Харків, Україна

тел. +38(066) 968-91-34, e-mail: oleksandr.sliusarenko@nure.ua.

Tandem solar cell consist of several light absorber with different band gaps. It has great potential in breaking the Shockley–Queisser efficiency limit of a single junction solar cell, based on the traditional material (Si, GaP, CdTe and etc.), by absorbing light in a wide range of wavelengths. Perovskite solar cell is ideal candidate for tandem solar cell due to their tunable band gaps, high efficiency and easy fabrication.

Сьогодні в світі все більше набирає обертів рух за екологічні джерела електроенергії. Одним з них є сонячна енергетика. В порівнянні з іншими, вона майже не впливає на навколишнє середовище та при перетворенні з однієї енергії в іншу не має рухомих частин. Незважаючи на це вона має і суттєвий недолік. Напівпровідникова промисловість на даному етапі зазвичай виготовляє сонячні панелі на основі кремнію. Незважаючи на постійні вдосконалення, їх ефективність вже наближається до теоритичного максимуму — межі Шоклі-Квайссера, яка складає приблизно 30%. Тому, все більше приділяють уваги дослідженням з альтернативними матеріалами та конструктивними. Одним з них є тамдемний фотоперетворювач на основі перовскітів.

Перовскітні сонячні елементи з одним переходом вже знаходяться на межі того, щоб подолати рекорд ефективності перетворення енергії звичайних сонячних елементів. Щоб її покращити більше межі Шоклі-Квайссера, необхідне ретельне проектування інтеграції вискоефективних верхніх сонячних елементів із широкою забороненою зоною та нижніх сонячних елементів із малою шириною забороненої зони, що дозволить сформувати тандемні сонячні елементи. Тандемні архітектури 2Т/4Т мають розрахункову теоретичну межу ефективності до 43%, тоді як 3Т передбачає досяжний ККД 32% [1].

Таким чином, на тандемні сонячні елементи дивляться з оптимізмом через наявність в одному пристрої матеріалу як з великою, так і низькою шириною забороненої зони. Цей тип компонування дозволяє пристрою бути активним як у довгохвильовий, так і короткохвильовий областях, де кожна область довжин хвиль може бути ефективно перетворена в електричну енергію, що дозволяє підвищити ефективність. Перовскітні сонячні елементи (СЕ) є найкращим вибором для інтеграції з кремнієвими сонячними елементами, оскільки вони мають унікальні властивості, такі як

високий коефіцієнт поглинання, ширина забороненої зони, яка налаштовується, висока стійкість до дефектів, зростаючі показники продуктивності, висока напруга його елементів і легка оброблюваність. СЕ з перовскіту можуть використовувати високоенергетичне синє та зелене світло набагато ефективніше, ніж СЕ із кремнію. З іншого боку, кремнієві сонячні елементи реагують на червоне та інфрачервоне світло, як показано на рис. 1. Це дозволяє тандемному СЕ поглинати широкий діапазон сонячного спектру та досягати високого фотоструму. Досягнутий на сьогодні ККД тандемного СЕ становить 29,5%. Крім того, термалізація, викликана високоенергетичними фотонами вище кремнієвої оптичної забороненої зони, значно зменшується, оскільки перовскітовий верхній шар поглинає ці фотони. Радіаційні втрати при цьому можуть становити понад 50 % втрат у кремнієвому шарі та близько 35 % у тандемних шарах.

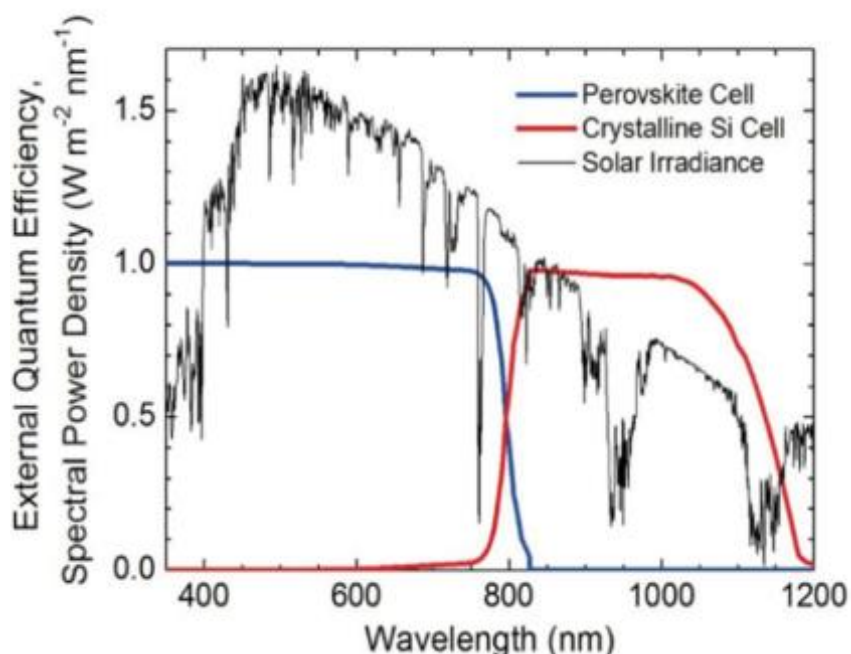


Рисунок 1 — Діаграма ефективності перетворення сонячного світла для кремнієвих та тандемних фотоперетворювачів. [2]

Список використаних джерел:

1. Слюсаренко О. А., Галат О. Б. (2021) Збільшення ефективності перовскітних сонячних панелей через використання йодиду міді, *Матеріали 25-го Міжнародного молодіжного форуму "Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті"*, Т1, - С. 79-80.

2. S. De Wolf, J. Holovsky, S.-J. Moon, P. Löper, B. Niesen, M. Ledinsky, F.-J. Haug, J.-H. Yum, C. Ballif, (2014) Organometallic halide perovskites: sharp optical absorption edge and its relation to photovoltaic performance, *J. Phys. Chem. Lett.* 5.

ГНУЧКІ СОНЯЧНІ ЕЛЕМЕНТИ

Мазченко К. А.

Науковий керівник – к.ф.-м.н., ст.викл. Бабиченко О. Ю.

Харківський національний університет радіоелектроніки

61166, Харків, просп. Науки,14, каф. Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв, тел. (057) 702-13-62

e-mail: kyrylo.mazchenko@nure.ua

The main element of solar power plants are solar panels. The development of modern technologies leads to the emergence of new types of solar panels, namely flexible ones. This paper examines the main types of solar panels. Their types, structure, materials from which they are made. The paper presents the advantages and disadvantages of flexible panels. The efficiency of solar panels of different types is compared.

Сонячні панелі, сьогодні популярні як ніколи, це альтернативне джерело екологічно чистої енергії. Існує три основні типи сонячних панелей: монокристалічні, полікристалічні, тонкоплівкові. Для створення перших двох найпоширенішим матеріалом є кремній різних модифікацій. Тонкоплівкові сонячні батареї можуть бути створені на основі аморфного кремнію (a-Si), телуриду кадмію (CdTe), мідного індій галію та селену (СН СІГС), сонячні елементи сенсibilізовані барвником (DSC) [1, 2]. Всім видам потрібен прозорий зовнішній шар зі скла або інших матеріалів для захисту від вологи та механічних пошкоджень. Велику популярність зараз набирають гнучкі сонячні батареї. Їхня перевага над іншими: вага, розмір, еластичність, продуктивність, універсальність, економічність, екологічність, простота експлуатації.

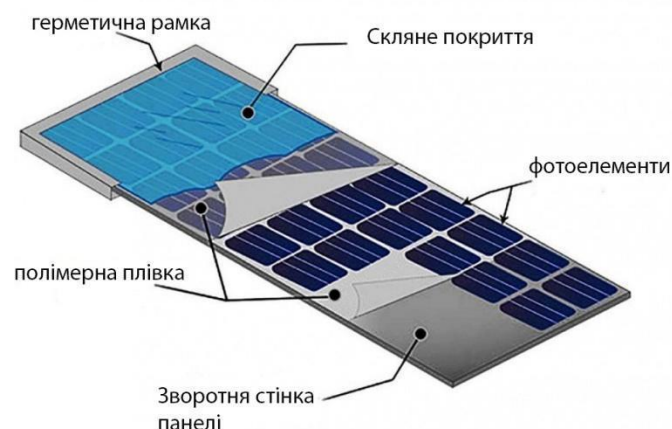


Рис.1 – Будова гнучкої сонячної панелі

Товщина плівки змінюється від кількох нанометрів до десятків мікрометрів. Це дозволяє тонкоплівковим коміркам бути гнучкими і мати

меншу вагу. Гнучкі сонячні панелі набагато краще працюють під час похмурої погоди, на відміну від звичайних жорстких конструкцій на основі кремнію. Для порівняння, стандартна сонячна батарея в похмуру погоду здатна працювати лише на 10% своєї потужності, тоді як гнучка панель видає близько 50% номінальних значень [3]. Технологія тонкоплівкових сонячних елементів активно розвивається і ще не досягла піку своїх можливостей. За продуктивністю гнучкі сонячні панелі поступаються полі- або монокристалічним. Основний їх недолік це те що тонка фольга та мінімальний шар напилення відносно швидко деградують. Гарантійний термін експлуатації таких панелей близько 3 років.

ККД комірок кремнієвих модулів на сьогодні близько 15 – 20%. В даний час існує три основних типи неорганічних плівкових сонячних елементів - кремнієві плівки на основі аморфного кремнію (a-Si), плівки на основі телуриду кадмію (CdTe) та плівки селеніду меді-індія-галію. ККД сонячних батарей на основі аморфного кремнію близько 10%. Вони демонструють стабільність при розсіяному світлі. При сильному нагріванні потужність знижується незначною мірою. Сьогодні використовуються найчастіше, тому що мають невисоку вартість та хорошу ефективність. ККД сонячних батарей на основі телуриду кадмію – 10-11%. Вони мають високу стабільність, невелику вагу і високу вартість. Демонструють стійкість до твердого випромінювання, температурну стабільність генерації. ККД сонячних батарей на основі селеніду меді-індія-галію досягає 27%. Ці панелі демонструють високу температурну стабільність та широке охоплення спектру випромінювання [4]. Існують також гнучкі сонячні панелі на основі полімерів та органіки. Їх виробляють на основі тонких плівок із фулеренів. Перевагами є екологічність, висока швидкість виробництва, можливість розгортання у будь-яких масштабах. Проте їхній ККД і термін служби поки що не високий .

Список використаних джерел:

1. Pashchenko A.G, Sologub O Yu (2014). Definition of electronic states densities functions in amorphous silicon. Telecommunications and Radio Engineering, Том 73, Випуск 5.

2. Сайт – порада інженера, (1 квітня 2023). Гнучкі сонячні батареї: огляд типових конструкцій, їх характеристик.

URL: <https://soviet-ingenera.com/eco-energy/sun/gibkie-solnechnye-batarei.html>

3. Сайт utem solar, (4 квітня 2023). Типи сонячних батарей, їхня ефективність. Нано сонячні батареї.

URL: https://utem.org.ua/materials/show/typy_solnechnyh_batarey

4. Pashchenko A.G, Sologub O Yu (2012). Defending the functions of electronic density of states in amorphous silicon. Radiotekhnika: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag, Випуск 169, стр. 337-342.

АКТИВНИЙ ШАР ТАНДЕМНОГО СОНЯЧНОГО ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧА

Бойко Б.Ю.

Науковий керівник – к.ф.-м.н., доц. Галат О.Б.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПІ,
м. Харків, Україна

тел.+38(066)1911601 e-mail: bohdan.boiko@nure.ua

The results of modeling a solar photoconverter based on a multilayer structure are presented. The photoconverter consists of several layers, of which the active layers are perovskite, a polymer material based on a positively charged polymer and polystyrene sulfonic acid (PEDOT:PSC) and silicon Si. Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) polystyrene sulfonate (PEDOT:PSS) is a polymer mixture of two ionomers. One component in this mixture is made up of polystyrene sulfonate which is a sulfonated polystyrene. Part of the sulfonyl groups are deprotonated and carry a negative charge. The other component poly(3,4-ethylenedioxythiophene) (PEDOT) is a conjugated polymer and carries positive charges and is based on polythiophene.

З кожним роком актуальність використання енергії Сонця зростає, адже вона вважається гідною альтернативою застарілому виробленню електроенергії, що видобувається шляхом переробки викопних видів палива та енергії атома. Завдяки своїм функціональним і структурним особливостям, сонячні елементи, як і побудовані вже на їх основі батареї, можуть мати різні розміри - починаючи від мікроскопічних сонячних елементів калькулятора до поверхонь машин, будівель, сонячних електростанцій та елементів дорожнього покриття.

В роботі представлено результати моделювання сонячного фотоперетворювача на основі багат шарової структури. Фотоперетворювач складається з декількох шарів, з яких активними є шари перовскіта, полімерного матеріалу на основі позитивно зарядженого полімеру та полістиренсульфонової кислоти (ПЕДОТ:ПСС), кремнію Si.

Одним з перспективних матеріалів даної структури є ПЕДОТ:ПСС (полі-3,4-етилендіоксітіофен-полістирол сульфонал), хімічна структура якого представлена на рисунку 1. Він являє собою полімерний електроліт, що складається з позитивно зарядженого полімеру (ПЕДОТ) і негативно зарядженої поверхнево-активної речовини - аніонного сурфактанта – полістиренсульфонової кислоти (ПСС), яка допомагає диспергувати і стабілізувати ПЕДОТ у воді та інших розчинниках. ПЕДОТ:ПСС є найбільш успішним полімерним матеріалом, при практичному застосуванні. ПЕДОТ:ПСС – це зазвичай від 1,3 до 3 % розчин у воді що не містить інших добавок. Він має дуже обмежене розтікання та адгезію. Для досягнення кращої електричної провідності ПЕДОТ: ПСС необхідно додати до нього 5 % органічного розчинника, такого як диметилсульфоксид (ДМСО). Це справедливо для будь-якого ПЕДОТ:ПСС [1, 2].

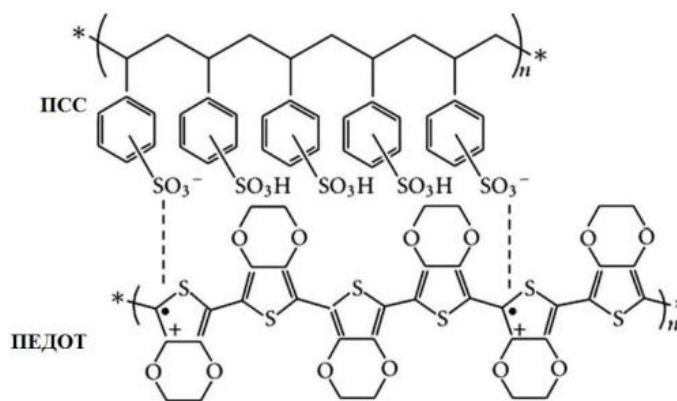


Рисунок 1 - Хімічна структура провідного полімеру ПЕДОТ:ПСС

Хоча ПЕДОТ сам по собі провідний, ПСС, присутній у суміші, є ізолюючим. Отже, кількість ПСС та мікроструктура плівки мають істотний вплив на електричні властивості ПЕДОТ:ПСС. У водній суспензії ПЕДОТ:ПСС утворює міцелеву структуру, в якій гідрофобне ядро ПЕДОТ оточене оболонкою гідрофільної ПСС. Під час осадження ця структура зберігається, утворюючи локалізовані ділянки провідного ПЕДОТ, які оточені ізоляційними ділянками ПСС. Саме ця структура серцевинної оболонки призводить до низьких значень електропровідності, які можуть виникнути для стандартних рецептур ПЕДОТ:ПСС. Ширина забороненої зони ПЕДОТ складає приблизно від 1,6 до 1,7 eV, що помітно менше, ніж у незаміщеного політіофену, що призводить до зсуву максимуму основної смуги поглинання в червону область спектру.

Окрім того ПЕДОТ:ПСС має хорошу фото- і електричну стабільність на повітрі. Перенесення заряду в провідному полімері ПЕДОТ відбувається по системі спряжених зв'язків за рахунок електронно-обмінних реакцій між сусідніми редокс-місцями (між фрагментами полімеру, на яких делокалізуються електрон або дірка) і супроводжується рухом аніонів-допантів вздовж полімерного ланцюга. Результати моделювання свідчать, що застосування ПЕДОТ:ПСС в тандемних сонячних фотоперетворювачах дозволяє отримати високий ККД, та хороші інші характеристики за різних умов. Виконані розрахунки свідчать про досить високу ефективність тандемних сонячних фотоперетворювачів, проте технологія та структура шарів потребують подальшого вивчення та вдосконалювання.

Список використаних джерел:

1. ECO-tech (2023, 27 березня) <https://eco-tech.com.ua/a260708-degradatsiya-solnechnyh-panelej.html>
2. Шевалєвській, О., Ларіна, Л., Лім, К.С. (2003) "Nanocrystalline tandem photovoltaic cell with twin dye-sensitized anodes" IEEE Conf. Publ. Proc. 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 1, p. 26.

УДК 621.383

ТОНКОПЛІВКОВИЙ СВІТЛОДІОДНИЙ ВИПРОМІНЮЮЧІЙ ЕЛЕМЕНТ НА ОСНОВІ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

Просяник М. С.

Науковий керівник – к.ф.м.н., доц. Галат О.Б.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПІ,
м. Харків, Україна

тел. +38(098) 9009880, e-mail: mykyta.prosianyuk @nure.ua.

An artificial lighting device based on a thin film structure using organic nanolayers, as well as diffraction microstructures for the redistribution of the light flux, is considered in the presented work.

The modern ITO/HMTPD/TAZ:Ir(ppy)₃-BCP/Alq₃/Al structure was chosen for modeling and calculation of light and electrical characteristics.

As a result of the performed modeling, the electrical and optical characteristics of the indicated LED were obtained, in particular, the volt-ampere characteristic, the light characteristic, the spatial distribution of radiation, the directional diagram of the device.

Світлодіодні джерела випромінювання на протязі декількох років впевнено завойовують ринок систем освітлення, використовуючи найсучасніші технології, зокрема мікро- та наноплівкові структури, системи квантових ям тощо. Це дає змогу перш за все підвищувати ефективність пристроїв, а також забезпечувати екологічність та безпечність їх використання [1].

Джерелом світла світлодіодної лампи є LED-діоди. Вони являють собою багаточаровий напівпровідниковий кристал, що перетворює електрику на світло.

Світлодіодні елементи освітлюючих пристроїв мають низку переваг порівняно з традиційними приладами – лампами розжарювання та газорозрядними: висока світлова віддача (у 5...8 разів більше традиційних), економічність (враховуючі, що ККД світлодіода сягає 60% і більше), довговічність (реально 40 – 60 тисяч годин), безпека та надійність (розбити мініатюрний діод досить складно, він не має крихкого скляного корпусу, не вимагає герметичного газового середовища для роботи кристалів).

Разом з цим є багато питань, що стоять перед виробниками світлодіодних освітлювачів. До них можна віднести проблему вибору дешевих та довговічних матеріалів випромінюючих шарів, оптимізацію структури пристрою, збільшення коефіцієнту виводу випромінювання, спрощення конструкції концентраторів та спрямовувачів світлового потоку [1...3].

Робота присвячена дослідженню пристрою штучного освітлення на основі тонкоплівкової структури з використанням мікро- та наноструктур, а також дифракційних мікроструктур для перерозподілу світлового потоку. у

якості активного середовища. Використані сучасні високоефективні матеріали, зокрема органічні напівпровідникові речовини.

Мета роботи – розробка тонкоплівкового освітлювального пристрою з високою рівномірністю розподілу світлового потоку, моделювання та розрахунок характеристик випромінюючого елемента.

Для моделювання та розрахунку світлових та електричних характеристик вибрано сучасну структуру на основі базового активного шару ІТО/НМТРО/ТАЗ:Ір(ppy)3-ВСР/Alq3/Al [3]. Послідовність шарів структури наведена на рис. 1

Катод Al 20 нм
Шар транспортування електронів (ETL) Alq3 40 нм
Активний випромінюючий шар (EML). TAZ:Ir(ppy)3-BCP 20...40 нм
Шар транспортування дірок НМТРО (HTL) 50 нм
Анод (провідний антивідбивний шар ІТО) 20 нм

Рисунок 1 – Структура тонкоплівкового світлодіоду

У результаті виконаного моделювання отримані електричні та оптичні характеристики зазначеного фотоперетворювача, зокрема вольтамперна характеристика, світлова характеристика, просторовий розподіл випромінювання, діаграма спрямованості пристрою.

Наведено доцільність використання дифракційних елементів для оптимізації розподілу випромінювання по поверхні пристрою.

Список використаних джерел:

1. Сорокін, В.М. (Ред.). (2016) Енергоефективні світлодіодні освітлювальні системи, НАН України, Ін-т фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова. Київ: Авіцена.

2. Галат, О. Б., Романенко, О. О. (2020) Дослідження світлодіодної системи освітлення // IV International Scientific and Practical Conference “PRIORITY DIRECTIONS OF SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT” KYIV 20-22 December 2020. Pp. 347-349.

3. Gunjan Sharma, Ritu, A. M. (2022) Quraishi et al Structure optimization and investigation of electrical and optical characteristics of Alq3/TAZ:Ir(ppy)3-BCP/HMTPD OLED // Optical and Quantum Electronics 54:284 <https://doi.org/10.1007/s11082-022-03654-3>.

УДК 621.38-022.532:681.7

НАНОТЕХНОЛОГІЧНИЙ ОПТИЧНИЙ СЕНСОР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН У ВОДНИХ ОБ'ЄКТАХ

Логунів В.С., Сушко О.А.

Науковий керівник – д.ф.-м.н., проф. Грицунов О.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПШ,
м. Харків, Україна

тел. +38(050) 547-77-04, e-mail: volodymyr.lohunov@nure.ua.

In abstract a problem is considered concerning the definition in water objects of organic substances such as polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH). Optical sensor for organic substances detection is developed. It represents portable device which is based on semiconductor quantum dots which are the detector elements of optical sensor. The principle of optical sensor operation is based on electrochemical and electrochemiluminescence methods using modern nanomaterials and nanotechnologies. It can be used in medicine and ecology for investigation and monitoring of water object for PAH content detection.

На сьогоднішній день склалася напружена ситуація із забезпеченням населення України якісною питною водою. Основним критерієм якості води є її вплив на здоров'я людини, що забезпечується відсутністю шкідливих органічних домішок. Пріоритетними забруднювачами залишаються органічні речовини: нафтопродукти, феноли та поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ). Усі відомі ПАВ потрапляють у довкілля шляхом згоряння вуглецевовмісних органічних матеріалів (нафта, вугілля, деревина, сміття і т. ін.). Істотними проблемами існуючих методів та пристроїв є висока межа визначення аналізу, що обмежує можливість визначення надмалих концентрацій речовин у рідинах, складність і вартість обладнання та тривалість аналізу. Наведене вказує на доцільність удосконалення існуючих та розробки нових ефективних методів і систем визначення органічних сполук у водних об'єктах, що сприятиме своєчасному їх визначенню.

Використання наноматеріалів як детекторних елементів в аналітиці та приладобудуванні дозволяє підвищити селективність аналітичних методів та мініатюризувати аналітичні пристрої. Таким чином, розробка та дослідження нанотехнологічного сенсору є актуальним науковим завданням для екології, біомедицини та суміжних областей, що визначило напрямок наукового дослідження. Тому в роботі запропоновано оптичний сенсор на основі детекторних елементів – сферичних напівпровідникових квантових точок (КТ) для визначення органічних сполук, наприкладі ПАВ, у водних об'єктах довкілля. Особливістю розробленого сенсору є вимірювання оптичного аналітичного сигналу, а саме інтенсивності електрохемілюмінесценції, що збуджується неоптично при електронних переходах між напівпровідниковими КТ (детекторний елемент) і частками

аналіту з наступним переходом КТ в збуджений електронний стан. Випромінювальна дезактивація останнього супроводжується випроміненням фотонів, число яких визначає кількість аналіту в пробі. Особливий інтерес для створення такого роду сенсорів є використання сучасного нанотехнологічного методу створення впорядкованих мономолекулярних плівок Лангмюр-Блоджетт (ЛБ).

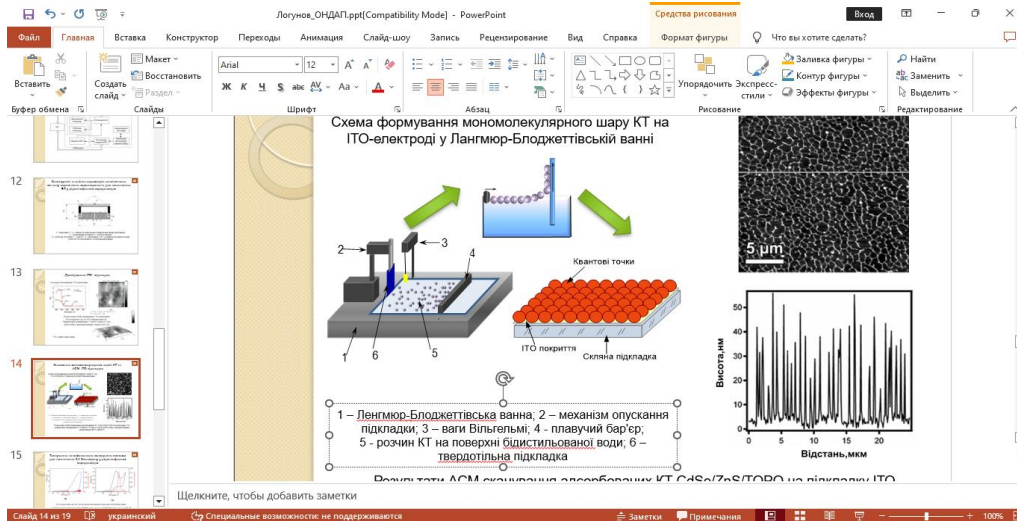


Рисунок 1 – Схема формування мономолекулярного шару КТ на ІТО-електроді у ЛБ ванні: 1 – ЛБ ванна; 2 – механізм опускання підкладки; 3 – ваги Вільгельмі; 4 бар'єр; 5 розчин КТ; 6 – твердотільна підкладка

КТ, що використовуються як детекторні елементи сенсора, мають низку корисних особливостей в порівнянні з класичними органічними люмінофорами: вузьку смугу випромінювання люмінесценції, високий квантовий вихід, можливість управління хімічними і фізичними властивостями шляхом зміни розмірів КТ, фотохімічну стабільність, тощо [2]. Це дозволяє використовувати їх при модифікації електродів сенсору за методом ЛБ [3]. Сформований сенсор мініатюрних розмірів володіє високою селективністю та низькою межею визначення.

Список використаних джерел:

1. Sushko, O. A., & Rozhitskii, M. M. (2015). Nanophotonic Sensor for Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Detection. in *Nanobiophysics: Fundamental and Applications* (pp. 381–410). Pan Stanford Publishing.
2. Ameta, S., Ameta, R., & Bhatt, J. P. (2022). *Quantum Dots: Fundamentals, Synthesis and Applications*. Elsevier.
3. Snizhko, D., Zholudov, Y., & Bilash, O. (2019). Sensor Based on Diamond-Like Film Modified Electrodes for Bilirubin Detection. in *2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/elnano.2019.8783811>.

УДК 621.38:049.8

TECHNOLOGICAL PROGRESS AND THE THEORY OF TECHNOLOGICAL SINGULARITY

Stepanov D

Academic supervisor - Ph.D., senior teacher Babychenko O.

Kharkiv National University of Radio Electronics, MEDA, Kharkiv, Ukraine
tel. +38(068) 525-16-58, e-mail: danylo.stepanov@nure.ua.

The report discusses the purpose of technological progress, the theory of technological singularity and the modern element base of electronics. The advantages and risks of technology development are explored, the increasing complexity of electronic devices and systems, their vulnerability to cyber-attacks is emphasized. The theory of technological singularity and the potential transformative events that it can cause are considered in detail. It also touches upon the issue of e-waste disposal and the importance of proper disposal methods to minimize the environmental impact of electronic devices. Discusses the use of hardware to prevent cyberattacks and the e-waste business.

Technological progress is a key driving force behind the development of modern electronic devices and systems. The goal of technological progress is to make human life easier, safer and more comfortable. With the advancement of computer technology, the meaning of technological progress has taken on a new dimension, with a focus on achieving artificial intelligence and other advanced capabilities. The concept of artificial intelligence was first introduced in the 1950s, but it wasn't until the development of machine learning algorithms and neural networks in the 21st century that significant progress was made.

The theory of technological singularity posits that once artificial intelligence surpasses human intelligence, it will rapidly advance to levels beyond human comprehension, leading to a transformative event in human history. This theory was first proposed by mathematician and computer scientist Vernor Vinge in the 1990s and has since gained widespread attention and debate.

However, the increasing complexity of electronic devices and systems has made them vulnerable to cyberattacks and other forms of security breaches. The more complex an electronic device or system is, the more points of entry it has for potential hackers. This complexity also makes it more difficult to detect vulnerabilities and patch them before they can be exploited. For example, the growing number of internet-connected devices in smart homes presents an increasing number of potential vulnerabilities for cyberattacks.

Despite the risks associated with increased complexity, there are many benefits to the advancement of electronic devices and systems. Advancements in technology have enabled new features and functionalities to be added to devices, such as improved cameras, longer battery life, and more powerful processing capabilities. These advancements have helped to drive innovation and improve the overall user experience.

To address the issue of cyberattacks, hardware tools such as encryption and firewalls can be used to provide additional layers of security. However, these tools are not foolproof, and new threats and vulnerabilities are constantly being discovered. The growing complexity of electronic devices also poses a significant environmental issue, with e-waste disposal becoming an increasingly pressing concern.

The recycling of e-waste has become an important issue, with some countries making it a big business. In the United States, the amount of e-waste generated annually has increased from 2.37 million tons in 2009 to 3.32 million tons in 2020. Proper disposal practices are necessary to minimize the environmental impact of electronic devices and systems. One example of a successful e-waste recycling program is in Japan, where the country has been recycling e-waste since the 1970s. The price of recycling a ton of electronic waste can range from \$200 to \$400, depending on the material, while in the United States, it can cost up to \$600 per ton. In Europe, the issue of e-waste disposal is being addressed through regulations and directives such as the Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Directive, which requires member states to establish e-waste collection and recycling systems. Many European countries have implemented e-waste collection and recycling programs in collaboration with various stakeholders. Possible solutions include continued regulations, increased public awareness, and advancements in technology for better recycling and disposal methods.

References:

1. Kurzweil, R. (2005). *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*. Penguin.
2. Amin, S. M., & Buehler, M. (2018). Cybersecurity for Industry 4.0: Analysis for Design and Manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 26, 122-127.
3. Geng, Y., & Fu, J. (2019). E-waste recycling in China: progress and perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 233, 882-894.
4. Song, Q., Li, J., Li, J., & Li, H. (2019). E-waste recycling in Japan: current status and perspectives. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 21(4), 836-846.
5. European Commission (2021). Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). https://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index_en.htm.

ЗОНДОВІ МЕТОДИ СТВОРЕННЯ НАНОСТРУКТУР

Руденко С.О

Науковий керівник – к.ф.-м.н., ст.викл. Бабиченко О. Ю.

Харківський національний університет радіоелектроніки 61166, Харків,

просп. Науки,14, каф. МЕЕПП

тел. (095) 554-63-95 e-mail serhii.rudenko@nure.ua

This paper presents methods for studying the atomic structure and local surface properties. A scanning tunneling microscope (STM) and an atomic force microscope (AFM) are considered. Their main advantages and disadvantages, as well as the principles and areas of their application are considered.

Розвиток зондових методів відкриває перспективи створення елементів електроніки на основі окремих атомів і молекул. Зондові методи дослідження і нанотехнологій застосовуються у діагностиці напівпровідникових структур для дослідження процесів епітаксialного нарощування, для надчутливої сенсорики, у медицині, біології та в інших сферах. Опишемо принципи роботи двох основних видів сканувальних зондових мікроскопів, таких як тунельний і атомно-силовий.

Тунельні мікроскопи (СТМ) та інші сканувальні зондові мікроскопи є основними аналітичними засобами в нанотехнологіях. В базу принципу дії СТМ покладено вимірювання тунельного струму через тонкий вакуумний проміжок між двома провідниками. Висока чутливість СТМ зумовлюється різкою залежністю тунельного струму від ширини потенціального бар'єра, тобто від відстані між елементом поверхні об'єкта та зондом.

За допомогою сканувальних електронних мікроскопів (СЕМ) високої роздільної здатності також досягається атомна точність.

Сканувальний тунельний мікроскоп широко використовується для дослідження поверхні напівпровідників та дозволяє маніпулювати атомами та молекулами. Зонд СТМ, будучи безпосередньо наближеним до поверхні (від 0,5 до 1 нм), взаємодіє з її атомами. Це дозволяє маніпулювати окремими атомами й молекулами, що містяться на поверхні твердого тіла.

У самому найпоширенішому атомно-силовому мікроскопі (АСМ) використовуються міжатомні сили притягання і відштовхування. Для АСМ, що діє на міжатомних силах, провідність підкладки не має значення. З цього можна зробити висновок, що можна досліджувати не тільки на електропровідних матеріалах (як у разі СТМ), але і на діелектриках, біологічних і органічних матеріалах. Тому АСМ універсальніший, ніж СТМ, і має більш широке застосування як у різних дослідженнях, так і у нанотехнологіях.

Атомно-силовий мікроскоп, як і СТМ, широко використовують як багатофункціональний аналітичний інструмент для дослідження і модифікації структури поверхонь, для вивчення розподілу приповерхневих силових і температурних полів, розподілів характеристик фізичних

властивостей з нанометровою або навіть атомною роздільною здатністю. Для дослідження й діагностики напівпровідникових матеріалів і структур використовують як СТМ, так і АСМ, але кожен прилад має як свої переваги, так і недоліки: СТМ забезпечує кращу роздільну здатність, ніж АСМ, хоча атомний масштаб роздільної здатності досягається і за допомогою АСМ.



Рисунок 1– Сканувальний тунельний мікроскоп та атомно-силовий мікроскоп

Атомно-силовий мікроскоп дає зображення реальної поверхні, сканувальний тунельний мікроскоп – густину електронних станів.

Використовуючи АСМ не можна отримати інформацію про електронні властивості, що мало б велику цінність у прив'язці до топології поверхні. Для СТМ потрібні провідні підкладки; під час дослідження високоомних і напівізолювальних напівпровідників можуть виникнути труднощі, і це система зворотного зв'язку буде рухати зонд до торкання з поверхнею (щоб забезпечити потрібне для роботи мікроскопа значення тунельного струму). Отже, структуру непровідних поверхонь можна досліджувати тільки за допомогою АСМ.

Таким чином розвиток методів сканувальної зондової мікроскопії істотно розширив можливості дослідження структури поверхні плівок, мезоструктур і наноструктур, кристалів; уможливив різні способи вивчення модифікації структури поверхонь.

Список використаних джерел:

1. Поплавко Ю. М., Борисов О. В., Ільченко В. І. Мікроелектроніка і наноелектроніка. Вступ до спеціальності: навч. посіб. / Ю. М. Поплавко, О. В. Борисов, В. І. Ільченко – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 160 с. – ISBN 978-966-622-350-3.

2. Наноіндустрія як найважливіша умова становлення інноваційного суспільства в Україні. (2017). https://ndipzir.org.ua/wp-content/uploads/2017/07/Klimova/3_2.pdf

УДК 621.372

ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ МАТРИЧНОЇ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ В МОДЕЛЮВАННІ НВЧ-ПРИЛАДІВ

Білоцерківська А.І.

Науковий керівник – д.ф.-м.н., проф. Грицунов О.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПІ,
м. Харків, Україна

тел. +38(057) 702-13-62, e-mail: anzhela.bilotserkivska@nure.ua.

Some practical aspects of the matrix electrodynamics application to solving the computational problems in electronics are considered. The main specificity of the new method consists in the treatment of electrodynamic systems (ESs) of microwave electron devices as oscillatory systems with a finite number of the degrees of freedom. ES is considered as a lattice of spatially localized partial oscillators (oscillets). The eigenfrequencies and eigenfunctions of the ES can be calculated basing on the matrix theory of oscillatory systems with lumped elements. The advantage of this approach is substitution of the partial derivative differential equations with the linear algebra problems.

Елементи теорії векторних просторів давно використовуються у електродинаміці. Наприклад, розкладання електромагнітних коливань за власними функціями електродинамічної системи (ЕС) – не що інше, як найпростіший варіант матричної електродинаміки. Зазвичай як базис у векторному просторі застосовуються власні функції ЕС. У такому разі матричний підхід дає мало переваг з точки зору економії обчислень, оскільки головну складність становить саме розрахунок власних функцій та власних чисел ЕС з довільною геометрією [1].

Як альтернативу локалізованим в області хвильових чисел власним функціям ЕС, в [2, 3] запропоновано базис парціальних функцій ЕС (парціальних осциляторів, осцилетів). Це локалізовані у просторі лінійні комбінації власних функцій ЕС. З фізичної точки зору їх можна вважати «хмарами» безперервної хвильової функції, що коливаються як єдине ціле (в однаковій фазі). Тому до них можна застосувати матричну теорію коливальних систем з N ступенями свободи, інтерпретуючи ЕС загалом як «решітку» електродинамічно зв'язаних між собою парціальних осциляторів. Перевагою цього підходу, крім заміни диференційних рівнянь у часткових похідних задачами лінійної алгебри, є просторова локалізація впливу граничних умов (ГУ) та заповнення ЕС на електродинамічні параметри й характеристики найближчих осциляторів [4].

На прикладі одновимірної розподіленої коливальної системи в роботі досліджено одну з проблем матричної електродинаміки – забезпечення фінітності осцилетів у просторовій області. Визначено оптимальний метод для цього – усічене гаусове нормування (рис. 1). Амплітудне нормування з подальшим віконним зважуванням (рис. 2) визнано неефективним. Серед

напрямів подальших досліджень можна зазначити розробку методів врахування ГУ у дво- та тривимірних ЕС з довільною формою меж, а також створення «інтелектуальних» алгоритмів розміщення осцилетів, на кшталт тих, які розроблено для метода кінцевих елементів.

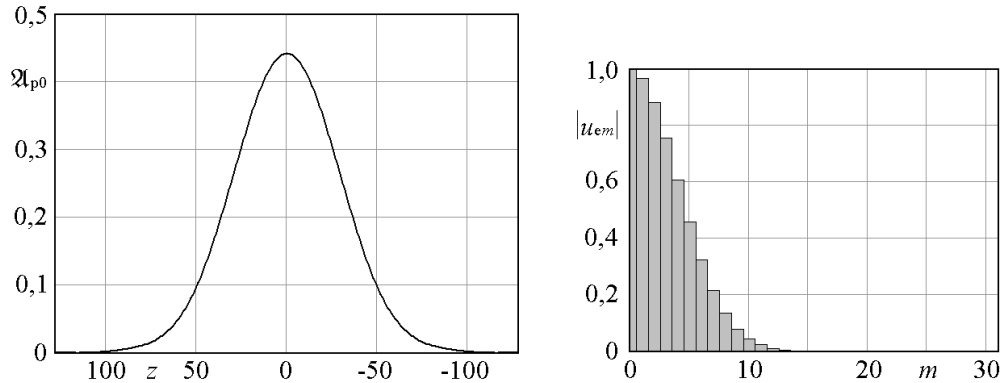


Рисунок 1 – Одновимірний осцилет з усіченим гаусовим нормуванням та його спектр у базисі власних функцій коливальної системи

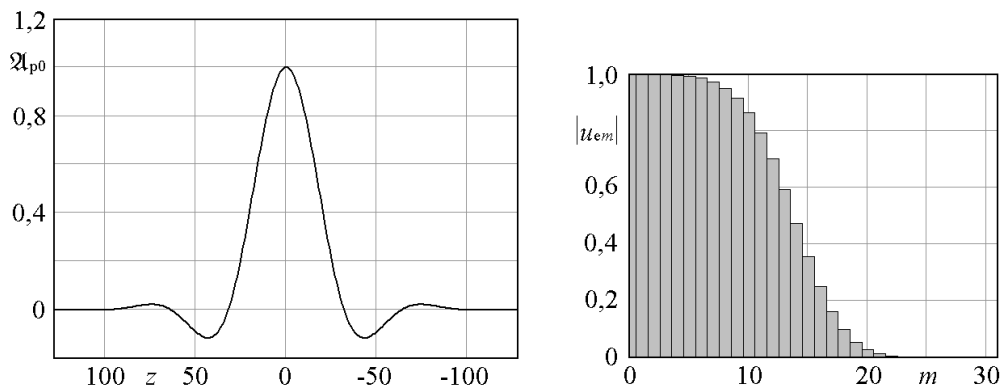


Рисунок 2 – Осцилет з амплітудним нормуванням, зважений гаусовим вікном, та його спектр у базисі власних функцій коливальної системи

Список використаних джерел:

1. Sadiku, M. N. O. Numerical Techniques in Electromagnetics. Boca Raton, FL, 2001. 750 p.
2. Грицунов, А. В. Методы расчета нестационарных негармонических полей в направляющих электродинамических системах // Радиотехника и электроника, 2007, т. 52, № 6. С. 645-661.
3. Грицунов, А. В. Разложение нестационарных электромагнитных потенциалов по парциальным функциям электродинамической системы // Известия ВУЗов. Радиоэлектроника, 2006, т. 49, № 7. С. 10-20.
4. Bilotserkivska, A., Bondarenko, I., Gritsunov, A., *et al.* Decomposition of EM potential in partial modes of irregular electrodynamic systems // 2022 2nd Ukrainian Microwave Week (UkrMW-2022). Kharkiv, Ukraine. P. 263-268.

УДК 537:53.06+621.3

ТОПОЛОГІЧНІ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНІ НАДПРОВІДНИКИ У СУЧАСНІЙ ЕЛЕКТРОНІЦІ

Ануфрієв В.В.

Наукові керівники – доц., к.ф.-м.н., доц каф. МЕЕПП Глухов О.В.,
доц. каф. ФОЕТ Федоренко Є.П, асист. каф. БМІ Кравчук О.О.
Харківський національний університет радіоелектроніки,
каф. МЕЕПП, м. Харків, Україна
тел. +38(066) 557-93-69, e-mail: valentyn.anufriiev@nure.ua.

Topological superconductivity is an exotic state of matter that supports Majorana zero-modes, which have been predicted to occur in the surface states of three-dimensional systems, in the edge states of two-dimensional systems, and in one-dimensional wires. Localized Majorana zero-modes obey non-Abelian exchange statistics, making them interesting building blocks for topological quantum computing. The purpose of this paper is to describe superconductivity induced in the edge modes of semiconducting InAs/GaSb quantum wells, a two-dimensional topological insulator.

У 70-80-ті роки ХХ століття явище надпровідності почали використовувати у існуючих галузях техніки та на його основі були створені нові. Створені і широко застосовуються надчутливі прилади слабкострумової електроніки, резонатори, потужні мотори і генератори. На сьогоднішній день вже висунуті ідеї щодо створення принципово нових елементів пам'яті та логіки не тільки для класичних, а й для квантових великих і персональних ЕОМ.

Мета даної роботи – розглянути перспективність використання високотемпературних надпровідників у сучасній електроніці.

В останнє десятиріччя велику увагу привернув новий поворот у фізиці надпровідності, а саме явища, об'єднані терміном «топологічна надпровідність», основними ознаками якого є: наявність майоранівських ферміонів у надпровіднику та істотний вплив крайового стану на надпровідність.

У 1937 році Еttore Майорана відкрив ферміон, частинку, яка є власною античастинкою. Завдяки неабелевій статистиці обміну ферміони Майорани можуть діяти як кубіт для універсального квантового комп'ютера. Існування такої частинки передбачається в станах середньої забороненої зони топологічного надпровідника як зв'язаних станах, які мають сильно заплутаний вироджений основний стан. Умовою існування майоранівських ферміонів є рівність оператора знищення (γ) оператору народження ферміонівської квазічастки (γ^\dagger), тобто $\gamma = \gamma^\dagger$.

При досить низьких температурах на поверхні тривимірних топологічних діелектриків спостерігається так звана топологічна надпровідність – екзотичний стан речовини з нульовими модами Майорани,

які підпорядковуються неабельній статистиці та цікаві для топологічних квантових обчислень. Аналогічний ефект був нещодавно виявлений, але вже для двовимірного топологічного діелектрика – напівпровідникової квантової ями InAs/GaSb, в якій топологічна надпровідність здійснюється за крайовими спіральними модами (рис. 1) [1]. Рожевим та зеленим кольорами зображено лінійний закон дисперсії спіральних крайових мод, що перетинає топологічну щілину. Стрілки показують напрямок електронних спінів. Існує велика ймовірність обґрунтування ефекту високотемпературної надпровідності за допомогою цієї теорії.

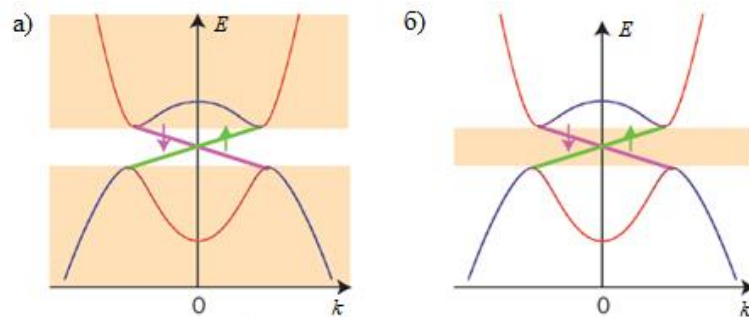


Рисунок 1 – Схематичне зображення електронних енергетичних зон коли рівень Фермі знаходиться в одній із дозволених зон (а) та в топологічній щілині (б).

Тонкі надпровідні плівки є основою надпровідної електроніки. Надпровідні пристрої генерації енергії, пристрої передачі та зберігання інформації, пристрої телекомунікації, квантового комп'ютера і т. д. мають великий потенціал і набір унікальних властивостей, таких як нульовий опір постійному струму, висока концентрація носіїв, дуже малі втрати на високих частотах, чутливість до магнітних полів, мала дисперсія, квантування потоку. Завдяки ним йде активна розробка та розвиток сучасних мікрохвильових пристроїв, їх комерціалізація особливо у сфері мікрохвильової комунікації. Тонкоплівкові технології на основі джозефсонівських переходів дозволяють розробку нелінійних пристроїв, які знаходять нові застосування як у класичній так і в терагерцовій метрології.

Таким чином, у недалекому майбутньому досягнення в розвиток надпровідних інтегральних схем, заснованих на квантових ефектах, можуть дати початок створенню цифрових пристроїв з тактовою частотою в межах сотень гігагерц.

Список використаних джерел:

1. Pribyl, V.S., Beukman, A.J.A., Qu, F., Cassidy, M.C., Charpentier, C., Wegscheider, W., & Kouwenhoven, L.P. (2015). Edge-mode superconductivity in a two-dimensional topological insulator. *Nature Nanotechnology*, (10), 593–597. <https://doi.org/10.1038/nnano.2015.86>

УДК 621.382.3-022.532

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ НАНОТРАНЗИСТОРА НА ОСНОВІ ГРАФЕНУ

Стецко К. М.

Науковий керівник — к.ф.-м.н., ст.викл. Бабиченко О. Ю.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПІ,
м. Харків, Україна

e-mail: kseniia.stetsko@nure.ua

The given work provides methods of mathematical modeling of graphene-based nanotransistors, which have shown tremendous potential in the field of electronics. The mathematical models presented in this work aim to provide a better understanding of the behavior of graphene-based nanotransistors, which can help in the optimization of their design and performance. In this study was reviewed the fundamental properties of graphene that make it a promising material for nanoelectronics.

В сучасній електроніці графен є одним з найбільш перспективних матеріалів для створення електронних пристроїв високої продуктивності та низької споживаної енергії. Графенові нанотранзистори можуть стати ключовими елементами в таких пристроях, тому розробка ефективних математичних моделей для їх дослідження та оптимізації є надзвичайно важливою задачею.

Створення пристроїв на основі графену є перспективним за рахунок його великої теплопровідності та надзвичайно великій рухливості провідників заряду [1]. Нанотранзистор на основі графену — це електронний прилад, що складається з графенової пластини, яка виконує функцію каналу, та двох графенових електродів (джерела та стоку), що контролюють потік струму.

Нанотранзистори на основі графену мають дуже високу рухливість електронів, що дозволяє їм працювати на високих частотах і забезпечувати високу швидкість передачі даних. Вони також мають велику поверхню каналу, що забезпечує ефективну передачу струму та зменшує електричний опір.

Для розрахунку вольт-амперних характеристик графенових транзисторів можна використати дві математичні моделі [2].

Перша модель базується на законі дисперсії і рівняння для розрахунку щільності струму на основі графенової стрічки можна представити у вигляді:

$$I = \frac{2ek_B T}{h} \left[\ln \ln \left(1 + e^{\frac{E_F - E_{top}}{k_B T}} \right) - \ln \ln \left(1 + e^{\frac{E_F - E_{top} - eV_D}{k_B T}} \right) \right],$$

де e – заряд електрона; k_B – стала Больцмана; T – температура; h –

стала Планка; E_F – енергія Фермі; E_{top} – енергія носіїв заряду у графеновій стрічці з урахування ємностей; V_D – напруга стоку [3].

Друга математична модель нанотранзистора включає диференціальне рівняння, що регулює розподіл потенціалів, на основі якого було виведено формулу для розрахунку щільності струму:

$$F = \exp \exp ((\beta \gamma V_b)) \exp \exp \left(-\beta \sqrt{\frac{\Delta^2}{4} + (e|\varphi_m|)^2} \right) -$$

$$- \exp \exp ((\beta \gamma (V_b - V_d))) \exp \exp \left(-\beta \sqrt{\frac{\Delta^2}{4} + (e(|\varphi_m| + V_d))^2} \right)$$

$$J = \alpha \exp \exp (\beta e \varphi_m) F,$$

де V_b – напруга бар'єру, V_d – напруга стоку;

$$\alpha = \frac{2ek_B T}{\pi h d}; \quad \beta = \frac{1}{k_B T}; \quad \gamma = \frac{\epsilon h d v}{64 \pi e W_b}.$$

Із порівняння розрахованих ВАХ можна зазначити, що друга модель транзистора дає вищі значення струмів порівняно із першою моделлю за однакових значень напруги на затворі [4]. Також помітно, що ВАХ першої моделі переходять у стан насичення за менших значень напруги на стоці.

Таким чином, на основі наведених вище рівнянь можна дослідити вольт-амперні характеристики транзисторів у вигляді графенової стрічки, що може значно допомогти прискоренню процесу їхньої розробки та оптимізації властивостей.

Список використаних джерел:

1. Поплавко, Ю.М. Мікроелектроніка і наноелектроніка. Вступ до спеціальності: навч. посіб. / Ю. М. Поплавко, О. В. Борисов, В. І. Ільченко – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 160 с. – ISBN 978-966-622-350-3.
2. Pashchenko A.G, Sologub O Yu (2012). Defending the functions of electronic density of states in amorphous silicon. Radiotechnika: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag, Випуск 169, стр. 337-342.
3. Москалюк В. О., Тимофеев В. І. Моделювання приладів мікро- і наноелектронік: навч. посібник / Київський національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, 2020. 164 с.
4. Timofeyev V. I. Model of Heterotransistor with Quantum Dots / V. I. Timofeyev, E. M. Faleeva // Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics. – 2010. – Vol. 13. – №2. – P. 186-188.

ЛЕВІТАЦІЯ КРАПЕЛЬ ВОДИ

Орда В.Р.

Науковий керівник – к.ф.-м.н., ст. викл. Бабиченко О. Ю.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПІ,

м. Харків, Україна

тел. (057) 702-13-62

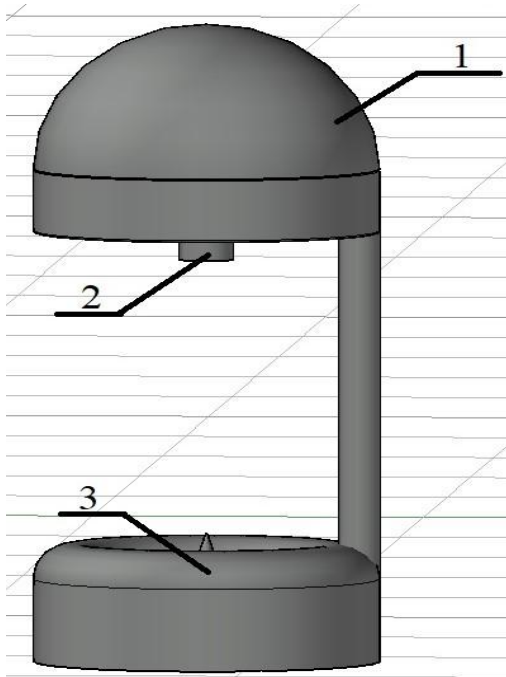
e-mail: vladyslav.orda1@nure.ua

This paper investigates the levitation of water drops using the stroboscopic effect. With the help of an Arduino microcontroller and a special setup, the water drops are suspended in the air and can move up or down by changing the frequency of flashes. Research is conducted on a dynamic head with a membrane and a nozzle that gives the water a laminar effect.

Людський прогрес упродовж останніх десятиліть призвів до створення безлічі способів технічної маніпуляції об'єктами в просторі. Крім традиційних контактних способів, особливе місце в арсеналі інженерів займає левітація об'єктів у різний спосіб. Одним з поширених способів фіксації об'єкта в просторі - розміщення його у вузол стоячої акустичної хвилі. За останні роки розроблено корисні конструкції систем акустичної левітації, що дозволяють демонструвати цей ефект, а також виробляти просторові маніпуляції з об'єктом. Проблема демонстрації ефекту левітації полягає у створенні макета акустичної левітації, а також необхідності дотримання ряду умов: відсутність переміщення повітря в просторі між випромінювачами, відсутність механічних вібраційних впливів на конструкцію левітаційної системи. Ця проблема посилюється під час використання даних систем у наукових експериментах у поєднанні з оптичними та квазіоптичними вимірювальними приладами. Одним із способів мінімізувати вплив зовнішніх факторів, є спостереження ефекту левітації дистанційно, керуючи процесом за допомогою мікроконтролера.

В роботі мова йде про ефект левітації крапель за допомогою стробоскопічного ефекту. Припустимо падають краплі води з однаковою швидкістю і відстанню між ними. Приглушимо світло і починаємо робити короткі спалахи з тим самим періодом з яким падають краплі. Якщо це відбувається швидко, то інерційність нашого зору намалює чітку картинку. На рисунку 1 наведена установка, котра являє собою піддон для води (3), насос, мікроконтролер Arduino, стробоскоп з світлодіодів, ламінуюча насадка (2) та закритий корпус в якому знаходиться динамічна голівка та мембрана (1).

За допомогою мікроконтролера генерується синусоїдний сигнал частотою 50 Гц та подається на голівку. Є два регулятори, перший керує періодом спалахів, другий керує тривалістю, тобто чим довше спалах, тим яскравіше світло. Таким чином на динамічній голівці в певних точках



1 - динамічна голівка та мембрана,
 2 - ламінуюча насадка,
 3 - піддон для води
 Рисунок 1 - Левітаційний пристрій

простору тиск, що виникає від цих хвиль, повністю збігається з силою земного тяжіння. Це призводить до того, що краплі рідини можуть залишатися у підвішеному стані в цих точках. Коли крапля падає та підсвічується на світлодіодне підсвічування з контролера подається також частота 50Гц та виникає ефект левітації. Якщо подати 49Гц, то можна побачити, що краплі рухаються вгору, це обумовлено тим, що крапля не долітає до того самого місця в якому вона засвітилася перед цим. А якщо подати 51Гц, то краплі води рухатимуться вниз, в цьому випадку крапля «перелітає» своє місце. Щоб краплини були однаковими, на виході з динамічної голівки стоїть насадка, завдяки якій воді придається ламінарний ефект.

Отже, з урахуванням наведеного вище, можна зробити висновок, що левітація води можлива за допомогою

стробоскопічного ефекту, що генерується за допомогою мікроконтролера, голівки та мембрани. Використання стробоскопічного ефекту може бути корисним для дослідження левітації рідин і знайти своє застосування в різних наукових та технічних областях.

Список використаних джерел:

1. Micro ultrasonic levitator: make electronics projects diy, electronics projects, Arduino [Електронний ресурс]. URL: <https://www.pinterest.de/pin/384143043218874020>

2. Science Buddies (2023, 11 квітня). The Stroboscopic Effect with Water Drops [Електронний ресурс]. URL: https://www.youtube.com/watch?v=kUUIQcbHbA&ab_channel=ScienceBuddies

3. YouTube. (2022, 19 червня). Виклик прийнято: левітація крапель води! URL: https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=jDFE4SWY51Y&ab_channel=AlexGyver.

УДК 621.38-022.532

СУМІЖНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ВІДГУКУ ФЕРОМАГНІТОЇ НАНОЧАСТИНКИ У В'ЯЗКІЙ РІДИНІ ЗІ СКІНЧЕНОЮ МАГНІТНОЮ АНІЗОТРОПІЄЮ

Павлюк М.О., Петренко М.С.

Науковий керівник – к.ф.-м.н., доцент Лютий Т.В.

Сумський державний університет, каф. ЕЗПФ

м. Суми, Україна

тел. +38(099) 553-22-18, email: m.pavlyuk@aph.sumdu.edu.ua,
maximpavlyu95@gmail.com .

This work is devoted to modeling the phases of states of a ferromagnetic nanoparticle in a viscous liquid. The case of finite magnetic anisotropy is considered. The correction was carried out by our own developed related modeling methods. The limits of the phase states of the response of a ferromagnetic nanoparticle to an external magnetic field were identified and established. A preliminary diagram of phase states is created.

Актуальність застосування феромагнітних наночастинок у в'язкій рідині набуває все більшого значення, особливо у медицині [1]. З розвитком тонких методів програмування та машинобудування можливо оперувати окремою групою феромагнітних наночастинок та/або наночастиною [2].

Через розмір феромагнітних наночастинок (10-100 нм) у випадку скінченої магнітної анізотропії [2] магнітний момент (розмір порядку магнітної комірки), що формується зовнішнім магнітним полем, може діяти на сектор, що містить декілька або десятки таких комірок. Під дією зовнішнього магнітного поля частинка (з вмороженим власним магнітним моментом, віссю легкого намагнічування - вектор m на рисунку 1) дозволяє обертатися навколо вісі магнітного моменту H_{eff} (прецесія). Прецесія буває рівномірною (стабільний кут між векторами m та H_{eff}) та нерівномірною (нестабільний кут між m та H_{eff} , прецесія у формі спіралі, періодичних або неперіодичних коливань).

Часові залежності полярних і азимутальних кутів легкої вісі та магнітної вісі отримані [2], але малоінформативні. Запропоновано введення декількох методів аналізу фазових станів феромагнітної наночастинок.

Введення фазових залежностей між полярними кутами (рисунок 2)

Введення інструменту корекції меж фазових станів на основі Excel (рисунок 3).

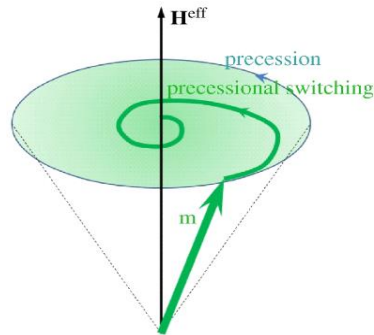


Рисунок 1 – Механізм прецесії вектора m навколо вектора H_{eff}

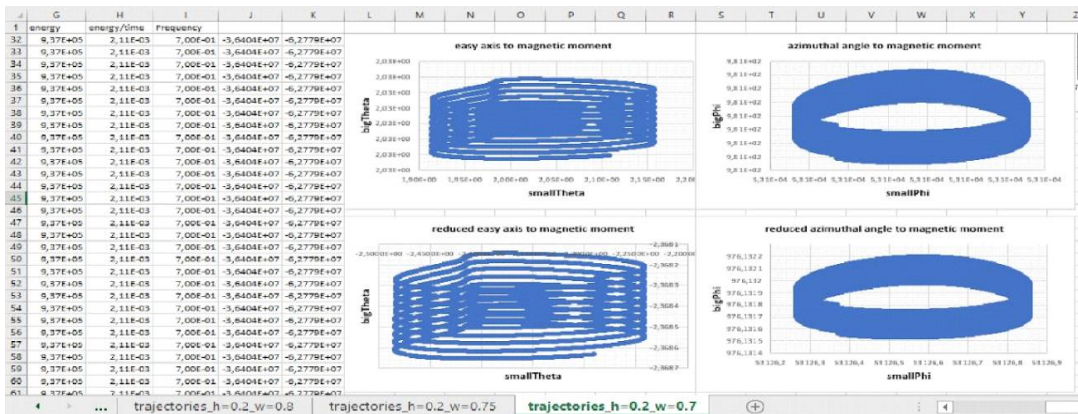


Рисунок 2 – Фазові залежності полярних (зліва) і азимутальних (зправа) кутів легкої вісі та магнітної вісі

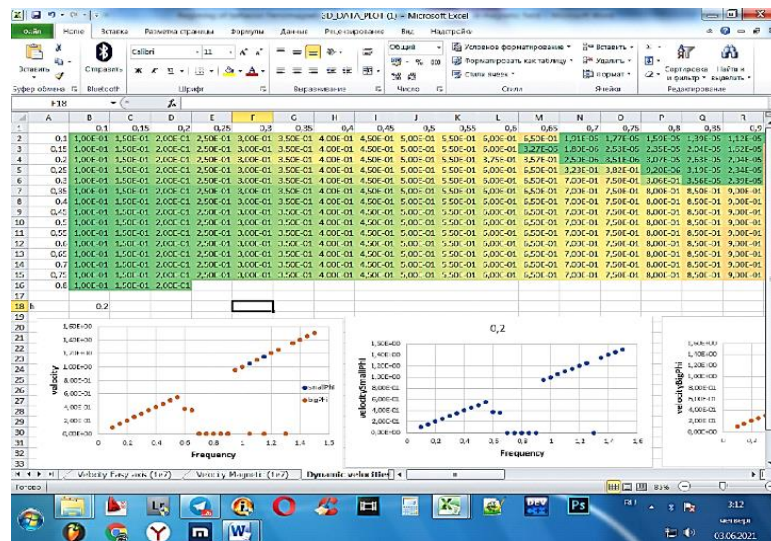


Рисунок 3 – Скрін інструменту корекції

Список використаних джерел:

1. Q.A. Pankhurst, et al., J.Phys. D: Appl. Phys.36, R167(2003).

2. T.V. Lyuty, V.V. Reva, N.S. Petrenko, M.O.Pavlyuk, J. Nano- Electron. Phys. 11 No 5, 05021 (2019).

УДК 378.147:681.37

МЕТОДИ НАВЧАННЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ МІКРО- ТА НАНОСИСТЕМНА ТЕХНІКА

Пятайкіна М.І.

Науковий керівник – д.т.н., проф. каф. МЕЕПШ Стрількова Т.О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПШ,
м. Харків, Україна

тел. +38(057) 702 13 62, e-mail: mariia.piataikina@nure.ua

In modern conditions, in order to form highly qualified specialists in the field of micro- and nanoelectronics, it is necessary to modernize the educational process. In these abstracts of the report, some innovative methods of teaching disciplines in technical universities are given.

Війна та Covid19 істотно вплинули на освітній процес в нашій країні. Навчальний процес в вузах здебільше проходить в дистанційній формі. Невід'ємною частиною формування конкурентоспроможного спеціаліста в області мікро- та наноелектроніки є занурення студентів в реальні умови створення проектів, яке досягається проходженням практики на підприємствах. Дистанційне навчання вносить свої корективи в необхідність використання нових методів навчання майбутніх спеціалістів. Зменшення навантаження аудиторних часів та необхідність проводити заняття в онлайн режимі призводить до збільшення часу на самостійну роботу студентів. Перенавантаження інформацію, низький рівень фізико-математичних знань, психологічна неготовність студентів перших курсів, використання застарілих методів навчання призводить до низького рівня мотивації. Тому потрібно шукати підходи до кожної групи студентів окремо, використовувати інноваційні методи навчання. Кожна група студентів має свій характер, тому деякі методи проведення занять можуть або замотивувати студентів або навпаки – відбити жагу до нових знань.

Сучасні методи навчання побудовані на більшій взаємодії викладача зі студентами [1]. До таких методів можна віднести наступні: кейс технології, семінар диспут, «мозковий штурм», веб-квест технології, навчальна дискусія, проблемна лекція та ін. Метод кейс технологій полягає в наступному: викладач пропонує студентам конкретну ситуацію, проблему або задачу, яка може виникнути під час професійної діяльності [2]. Після осмислення поставленої проблемної ситуації студенти спільно з викладачем аналізують та знаходять спільне рішення. Однозначної відповіді на кейси немає. Такий метод дозволяє штучно погрузити студентів у професійне середовище. Суть методу проблемна лекція полягає в формуванні проблемного питання (проблеми), його обговорення, пошук та формування гіпотез, перевірка цих гіпотез та аналіз отриманих результатів. Навчальна дискусія – спеціально організована дискусія для вирішення важливої проблеми. Цей метод дозволяє не тільки розвинути логічне та критичне мислення, а й допомогти студентам відстоювати свою точку зору завдяки наведенням аргументів або контраргументів. Семінар-диспут –

організований науковий диспут на актуальну тему. Суть семінарів «мозковий штурм» полягає в генерації найбільшої кількості ідей за обмежений проміжок часу, тому в час генерування ідей не допускається висловлювань щодо доцільності використання ідеї іншого учасника. Веб-квест технології – це метод, який засновано на використанні Інтернет ресурсів для знаходження відповідей на поставлені теми з метою навчитися знаходити, аналізувати та систематизувати отриману інформацію.

В доповіді представлені інноваційні методи, які були застосовані при викладанні курсу Інтегральна оптоелектроніка для студентів 3-го курсу спеціальності мікро- та наносистемна техніка. Веб-квест технології були використані для систематизування інформації про параметри та характеристики деяких елементів інтегральної оптоелектроніки (світлодіодів, фоторезисторів та фотодіодів). Результати виконання веб-квесту були представлені у вигляді веб-сторінки і в подальшому були використані при виконанні лабораторних робіт та для розв'язання практичних завдань з дисципліни. Для проведення семінару-диспуту кожен студент підготував реферат на окрему тему і потім було проведено обговорення кожної теми. Більшість лекції проходили в форматі лекцій-діалогу зі студентами з використанням медіа технологій. При використанні змішаних форм проведення занять студенти проявили не тільки логічне, а й критичне мислення, творчо підходили до вирішення практичних завдань, проявили інтерес до навчання.

Запропоновані методи поєднують теоретичні та практичні знання, стимулюють студентів до самостійної пізнавальної діяльності, формують логічне, критичне мислення, дозволяють не тільки зменшити час на виконання задач, а й підходити до вирішення проблемних ситуацій творчо, наближають студентів до реальних ситуацій в професійній діяльності.

Список використаних джерел

1. Стрількова Т.О., Калмиков О.С., Литюга О.П. Перспективи розвитку фізико-математичної та технічної освіти в інтерактивному та змішаному форматі для фахівців приладобудування / XXI Міжнародна науково-технічна конференція «ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи», 17-18 травня 2022 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – Т.2. – С.26-27. 2. Tatyana Strelkova Measurement Methodologies to Assess the Effectiveness of Global Online. [Chapter 11](#) Online Learning Methods for Effective Communication Between Teachers and Students // T. Strelkova, V. Grebenyuk, Y. Soroka, O. Tieliezhkina, V. Kauk, A. Kalmykov, M. Piataikina, K. Puholovok, D. Vodianytskyi. PP.289-309, 2022. 3. Ісаєва О. та ін. Кейс-технологія як інноваційний підхід викладання дисциплін у кризових умовах // Молодь і ринок, 2021. – №11-12. – с. 39-43. 4. Emma N. Gilyazeva WebQuest Technology as a Tool for the Formation of IT-Competence of Future Specialists // Advances in Economics, Business and Management Research, 2019. – vol. 131. – PP. 99-104.

Секція 2

Біомедична інженерія

Керівник секції

Доктор технічних наук,
Завідуючий кафедри Біомедичної інженерії, професор,
Лауреат Державної премії України в галузі освіти
Аврунін Олег Григорович

Координатор секції

Кандидат технічних наук,
Доцент кафедри Біомедичної інженерії,
Селіванова Каріна Григорівна

Тематичні напрямки:

1. Біомедичні електронні пристрої, прилади та системи.
2. Моделювання, обробка і аналіз медико-біологічної інформації.
3. Біонанотехнології та біосенсори у медицині та екології.
4. Спортивно-реабілітаційна інженерія та біометрія.

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ХОДИ ЛЮДИНИ

Склярів Г.В.¹, Ленська О.В.²

Науковий керівник – д.т.н., с.н.с. Склярів В.В.³

¹Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
кафедра генетики і цитології, м. Харків, Україна

²Харківський національний медичний університет,
кафедра фізичного виховання та здоров'я

³Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
кафедра інформаційних технологій, м. Івано-Франківськ, Україна
тел. +38(098) 097-45-22, e-mail: george.skliarov@gmail.com

In the information and digital age, a person continues to learn not only the surrounding world, but also himself. An important field of study is motor activity. Biometric recognition uses anatomical and behavioral characteristics of a person. One of the main biometric indicators that allows to recognize and identify a person is his gait and his characteristic features. Classic ways of identifying a person include fingerprints, the iris of the eye, facial features, voice, and posture. Recently, in connection with medical and social features, new types of biometric recognition and identification of a person have appeared.

Дослідження біомеханіки ходи визначають 35 типів особливостей (характерних характеристик) руху кожної людини. Можливість реплікації (повторення) ходи можливо, проте, найбільш підготовлений артист може повторити лише 11 особливостей ходи [1].

Наукове застосування ідентифікації та аналізу ходи може бути поділено на два основні напрямки – клінічні та інформаційні дослідження. У клінічній області це вивчення окремих захворювань, методів лікування, лікарських препаратів, побудова експертних систем. Інформаційні дослідження мають інтерес у сфері безпеки, де є необхідність ідентифікувати людину, яка потрапляє у поле зору відеокамер.

Наразі існує два основних підходи до отримання ознак ходи та їх класифікації: побудова ознак вручну та навчання ознак. Побудова ознак більш традиційна і ґрунтується на обчисленні різних властивостей бінарних масок силуету людини.

Один із найбільш популярних методів дослідження – дослідження біомеханіки ходи, як найбільш природньої активності людини, що є автоматизованим руховим актом й здійснюється в результаті складної координованої діяльності скелетних м'язів тулуба і кінцівок [2]. Ідентифікацію ходи можна умовно поділити на дві групи: на основі використання акселерометрів та на основі відео-силуетних методів.

Дослідження силуетів, зображень енергії та ентропії ходи дозволяють обчислювати подальші ознаки такі як гістограми орієнтованих градієнтів або гістограми оптичного потоку, будувати алгоритми класифікації, що використовують специфіку ідентифікації ходи [3].

У роботі пропонується використовувати операції математичної морфології (бібліотека Python – Scikit-image) виконувати перетворення зображень, вирішувати завдання виділення кордонів та скелетонізації.

У мобільних пристроях використовуються акселерометри для ідентифікації та автентифікації користувачів мобільних телефонів. Ця форма поведінкової біометричної ідентифікації можлива, оскільки рухи людини формують унікальний підпис, і це відображається в даних акселерометра.

Висока якість ідентифікації досягається комбінацією методів. На початковому етапі вручну обчислюються базові характеристики ходи, але в їх основі навчається нейронна мережу, яка виділяє абстрактні ознаки. Незважаючи на успішність методів глибинного навчання (deep learning), на даний момент найкращого результату на деяких наборах даних досягають неглибокі алгоритми, тому обидва глобальні підходи варті уваги [4].

Наукові джерела доводять, що імітація ідентифікується та визначається, що дозволяє уникнути помилкового порівняння зі справжньою ходою. Існуючі рішення продовжуються удосконалюватися задля досягнення максимально можливої точності розпізнавання та ідентифікації. Очевидним є поєднання існуючих методів розпізнавання із застосуванням штучного інтелекту (artificial intelligent) та технологіями комп'ютерного бачення (computer vision) [5].

Як перспективний напрямок подальших досліджень є вдосконалення програмних підходів у середовищі нейронних мереж з використанням мови високого рівня Python, дослідження індивідуальності людської ходи та можливості/неможливості її імітації.

Список використаних джерел:

1. <https://www.youtube.com/watch?v=csP3jkSrWL4>.
2. H. Chao, Y. He, J. Zhang, and J. Feng. GaitSet: Regarding gait as a set for cross-view gait recognition. In AAAI, 2019.
3. Suutala, J. Gaussian Process Person Identifier Based on Simple Floor Sensors // J. Suutala, K. Fujinami, J. Röning // European Conference on Smart Sensing and Context. – 2008. – P.55-68.
4. T. Whytock, A. Belyaev, and N. M. Robertson. Dynamic distance-based shape features for gait recognition. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 50(3):314–326, Nov 2014.
5. Mohd Fikri Azli bin Abdullah, Ali Fahmi Perwira Negara, Md. Shohel Sayeed, Deok-Jai Choi, N Kalaiarasi Sonai Muthu, Classification Algorithms in Human Activity Recognition using Smartphones, World Academy of Science, Engineering and Technology Vol:6 2012-08-27.

УДК 615.477.2:004.942

ДЕЯКІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ

Чечель Т.О.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Носова Т.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. БМІ,
м. Харків, Україна

тел. +38(066)774-63-15, e-mail: taras.chechel@nure.ua

Over the recent time period, computer modeling in medical practice complements the clinical picture of the study of injuries and pathological diseases, in a scientific and practical sense. At the same time, it is an integral part and component of medical treatment in world practice.

За допомогою математичного моделювання напружено-деформованого стану елементів біологічної і біомеханічної систем можливо зрозуміти фундаментальну природу взаємодії елементів біологічної і біомеханічної систем при різних травмах і подальшого прогнозування результатів оперативного лікування [1], тому за допомогою комп'ютерного моделювання можна буде обґрунтувати вибір хірургічного лікування травм або патологічних захворювань, а також визначити набір параметрів і характеристик металофіксатора для проведення хірургічного лікування переломів [2-4].

Використовуючи комп'ютерне моделювання, можна створити структуровану базу даних про опис різних травм і патологічних захворювань, а також застосування різних методик хірургічного лікування, з відповідним використанням різних медичних засобів, наприклад, таких як металофіксатори, ортези, протези, ендопротези. Для вивчення процесу розвитку контрактур суглобів пальців кисті виконуються різні типи експериментальних досліджень. Найбільш економічно вигідним і тим, що розкриває сутність фундаментального дослідження, є математичне моделювання [5]. Під час згинання і розгинання пальця переміщення дистальної та проксимальної фаланг відбувається в одній площині. Анатомічно суглоби пальців влаштовані так, що можна умовно провести в суглобі вісь обертання фаланги. Тому, з точки зору механіки, палець може бути представлений як плоска шарнірно-важільна система (рис. 1), до якої може бути застосований закон збереження енергії.

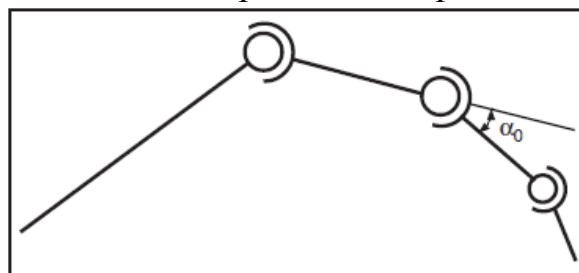


Рисунок – 1 Шарнірна схема пальця

Фізіологічне положення кисті є енергетично вигідним. Кут α_0 – кут спокою проксимального суглоба пальця [6].

П'ястно-фаланговий суглоб за формою кулястий, утворений дистальним відділом п'ясткової кістки та основою проксимальної фаланги. Три осі обертання взаємно перпендикулярні, що дозволяє виконувати згинання та розгинання, приведення та відведення, а також круговий рух. Об'єм рухів згинання у здоровому п'ястно-фаланговому суглобі лежить у діапазоні від 0° до 90° , розгинання від 0° до 13° , відведення до 50° , приведення до 10° . По бічних поверхнях суглоба розташовані колатеральні зв'язки, що його зміцнюють. По долонній поверхні капсули розташовані додаткові долонні зв'язки, тісно пов'язані з волокнами глибокого поперечного п'ясткового зв'язування. Виконання надточних та вивірених рухів кисті пов'язане зі складною біомеханічною роботою у п'ястково-фаланговому суглобі. Досягнення високих функціональних показників у процесі реабілітації після ендопротезування безпосередньо пов'язане з точним відтворенням індивідуальної анатомії коротких трубчастих кісток, які утворюють суглобову поверхню, що зчленовується.

Список використаних джерел:

1. Avrunin O, Tymkovych M, Drauil J. Automated technique for threedimensional reconstruction of cranial implant based on symmetry, Proceedings of the Information Technologies in Innovation Business Conference (ITIB). 2015. p. 39-42
2. Шимон В. М. Математичне моделювання напруженодеформованого стану проксимального відділу стегнової кістки / В.М. Шимон, В.В. Стойка, М.А. Ткачук, В.І. Кубаш, О.В. Веретельник // Вісникукраїнської медичної стоматологічної академії «Актуальні проблеми сучасної медицини». – 2016. – Т. 16, Вип. 4 (56), Ч. 2. – С. 48-53.
3. Біомеханічні основи протезування та ортезування: навчальний посібник / А.Д. Салєєва, В.В. Семенець, Т.В. Носова, І.М. Василенко, П.О. Баєв, С.В. Корнєєв, О.М. Литвиненко, І.В. Карпенко, І.М. Чернишова □ Харків: ХНУРЕ, 2022. □ 352 с.
4. Салєєва А.Д., Солнцева І.Л., Белєвцова Л.О., Носова Т.В., Семенець В.В. Виробничі технології та матеріали: Навч. посібник / А.Д. Салєєва, Харків: □ І.Л. Солнцева, Л.О. Белєвцова, Т.В. Носова, В.В. Семенець. 92 с. □ ХНУРЕ, 2022.
5. Лазарев І.А. Розподіл зусиль у різних ділянках згинального апарату пальців кисті при стандартному навантаженні / І.А. Лазарев, І.М. Курінний, М.Л. Ярова та ін. Травма. 2013. Т. 14, № 6. С. 73-82.
6. Науменко Л.Ю. Математичне моделювання роботи проксимального міжфалангового суглоба пальця кисті при різних видах тугорухомості / Л.Ю. Науменко, К.Ю. Костриця, М.А. Арбузов, А.О. Маметьєв // Одеський медичний журнал. – 2018. – № 5. – С. 9-14.

УДК 615.8:004.9

МОДУЛЬ АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ З ФІДУЦІАРНИМИ МАРКЕРАМИ ДЛЯ IGRT-РАДІОТЕРАПІЇ

Посохова К.А.

Науковий керівник – к. т. н., доц. Авер'янова Л. О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна
тел. +38(066) 982-37-71, e-mail: kateryna.posokhova@nure.ua

Targeting accuracy is essential in external beam radiation therapy. The use of fiducial markers (FM) for radiation therapy is one of the basic stages in the treatment of oncological diseases. These implanted labels can be easily seen on images and during the adjustment of the radiotherapy machine for precise dose delivery. The paper considers the method of FM-based target tracking using X-ray image processing.

Серед усіх онкопатологій рак легень (РЛ) спричиняє найбільшу кількість смертей – 18,2% (GLOBOCAN, 2020). Симптоми РЛ часто проявляються досить пізно, через що лікування значно ускладнюється і в багатьох випадках стає малоефективним. Одним з найбільш ефективних методів лікування неоперабельного РЛ є стереотаксична дистанційна променева терапія SBRT з керуванням за зображенням IGRT. Метод IGRT застосовується насамперед для опромінення таких рухомих органів, як легені, де зміщення пухлини під час дихання сягає 10-15 мм [1]. Таке лікування можна реалізувати або шляхом синхронізації включення терапевтичного пучка з певною фазою дихального циклу, або ж шляхом прицілювання пучка у реальному часі завдяки трекінгу мішені. У свою чергу трекінг мішені здійснюється за рентгенівським зображенням з виявленням безпосередньо контурів органу або ж з розпізнаванням внутрішніх фідуціарних маркерів в цьому органі [2].

Фідуціарні маркери (ФМ) – це металеві (зазвичай золоті) сфери, котушки або циліндри розміром приблизно $0,8 \times 5$ мм, які поміщають у пухлину або поблизу неї, щоб допомогти точно націлити терапевтичний пучок на мішень під час лікування. Як правило, у пухлину та навколо неї імплантують 3-5 рентгеноконтрастних ФМ, черезшкірно за допомогою інтродьюсерної голки. В залежності від виду матеріалу, з якого виконані ФМ, необхідно забезпечити їх видимість на рентгенівському зображенні. І золоті, і полімерні ФМ добре помітні на КТ. Проте золоті маркери (+30000 HU) створюють значні артефакти на КТ-зображеннях порівняно з полімерними ФМ (+400÷800 HU) [3].

Найкращою системою стереотаксичної радіотерапії справедливо вважається роботизований лінійний прискорювач CyberKnife з керуванням за рентгенівськими зображеннями в реальному часі. Зображення з двох ортогонально розташованих рентгенівських систем порівнюються з реконструйованими рентгенограмами, отриманими при КТ-плануванні

лікування, в результаті вимірюється зсув анатомічних структур в просторі. Потім робот-маніпулятор компенсує ці відмінності та перенацілює промінь випромінювання для підтримки просторової точності. Однак розташування пухлини протягом дихального циклу може змінюватися на кілька сантиметрів, і ця змінна потребує додаткового відстеження. Коригування дихальних варіацій здійснюється шляхом поєднання руху попередньо імплантованих рентгеноконтрастних ФМ синхронно з екскурсіями грудної стінки. Маркери діють як внутрішні рентгенографічні орієнтири, які підтримують фіксований просторовий зв'язок усередині пухлини та один з одним. Положення ФМ можна визначити при аналізі рентгенограм.

Для обробки рентгеновського зображення з розпізнаванням маркерів та визначенням їх координат у кадрі, можна використати програмне забезпечення MATLAB з пакетом для обробки зображень, що складається з модулів Volume Viewer, переглядача відео та браузера DICOM. Даний пакет дозволяє переглядати тривимірні дані як об'єми або як площинні зрізи, відеофайли та файли DICOM.

За розпізнавання маркерів на зображенні відповідає модуль Sensor Fusion and Tracking Toolbox, що містить алгоритми та інструменти для проектування, моделювання та тестування систем, які об'єднують дані з кількох датчиків для визначення їх локалізації. Трекінг ФМ як датчиків допомагає побудувати точнішу модель руху CyberKnife у просторі і підвищити точність підведення дози в мішені. Тож, використовуючи Volume Viewer разом з алгоритмом трекінгу, можна відстежити ФМ та передати цю інформацію до системи управління лінійного прискорювача.

Система відстеження руху мішені за ФМ дозволяє обмежити зону опромінення, максимально наблизивши її до планованого об'єму мішені і, таким чином, дозволяє зберегти більший обсяг здорової легеневої тканини, що оточує пухлину і зменшити променеві реакції після лікування.

Список використаних джерел:

1. Fiducial markers for stereotactic lung radiation therapy: review of the transthoracic, endovascular and endobronchial approaches. Alessio Casutt, Rémy Kinj, Esat-Mahmut Ozsahin, Christophe von Garnier, Alban Lovis
European Respiratory Review Mar 2022, 31 (163) 210149; DOI: 10.1183/16000617.0149-2021

2. Habermehl D, Henkner K, Ecker S, Jäkel O, Debus J, Combs SE. Evaluation of different fiducial markers for image-guided radiotherapy and particle therapy. J Radiat Res. 2013 Jul;54Suppl 1(Suppl 1):i61-8. doi: 10.1093/jrr/rrt071. PMID: 23824129; PMCID: PMC3700523.

3. Hoffmann, T., Klink, F., Boese, A., Fischer, K., Beuing, O. & Rose, G. (2016). Development of a skull phantom for the assessment of implant X-ray visibility. *Current Directions in Biomedical Engineering*, 2(1), 351-354. <https://doi.org/10.1515/cdbme-2016-0078>

УДК 37.018.43:004

ДОСВІД УЧАСТІ У ПРОЄКТІ DAAD UKRAINE DIGITAL: OER RESOURCES FOR UKRAINE

Ісаєва О. А.

Доктор технічних наук, професор, Аврунін О. Г.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна
0683423989, olha.isaieva@nure.ua

Distance learning is an integral part of student life today. The work examines the OER system, which helps students, postgraduates or young scientists to develop in their fields or specializations, studying remotely. The main advantages of studying on international projects are analyzed. The features of the DAAD program of Germany are considered. The main tasks that were carried out during the German project are analyzed. The programs that were used to design tasks are examined. Further opportunities for participation in similar projects are demonstrated.

У сьогоденних умовах важливо розуміти велику ефективність такого поняття як дистанційне навчання для студентів та школярів [1]. Завдяки такому підходу велика кількість студентів має можливості розвиватися у науковому напрямку, отримувати практичні навички по відповідним спеціальностям [2, 3]. Для цього існують підходи створення навчального контенту, зокрема віртуальних та дистанційно працюючих систем [4, 5]. Сьогодні існує велика кількість програм, що допомагають українським здобувачам вищої освіти удосконалювати свої знання та засвоювати основи роботи в наукових напрямках. В якості такого яскравого прикладу, можна навести систему онлайн навчання OER [6].

Відкриті освітні ресурси (OER) – це навчальні, викладацькі та дослідницькі матеріали в будь-якому форматі та на носії, які перебувають у суспільному надбанні, або захищені авторським правом, які були випущені за відкритою ліцензією, які дозволяють безкоштовний доступ, повторне використання, повторне призначення, адаптація та перерозподіл і інше. Рекомендація щодо OER, прийнята Генеральною конференцією ЮНЕСКО на її 40-й сесії 25 листопада 2019 року, що є першим міжнародним нормативним документом, який охоплює сферу відкритих ліцензованих освітніх матеріалів і технологій.

Результати роботи. Сучасна програма DAAD (Deutscher Akademischer Austauschdienst) пропонує проєкт Ukraine Digital: OER with Ukraine, що допомагає українським студентам або аспірантам додатково отримати знання у сфері біомедичної інженерії. Головним завданням для студентів, які приймають участь у проєкті, є створення відео-файлів із субтитрами для іноземних та українських глядачів. Відео мають біомедичний напрям, що в свою чергу допомагає розширювати науковий словарний запас не тільки з фахової української, але і з англійської, чи німецької мови.

Під час виконання завдань використовували деякі програми для редагування відео. Наприклад, Subtitle Edit, яку створено для додавання субтитрів. Перед тим, як виконувати додавання субтитрів до відео, здобувачі-виконавці слухали лекторів і демонстрували деякі біоінженерні методи та виконували транскрипцію англійського тексту. Після цього робили переклад на українську мову та створювали два srt-файли для надрукованого тексту. Завдання розміщувалися на платформі Trello.

Розглянуто практичну реалізацію нових методів, які не завжди представлені в дисциплінах українських університетів, наприклад, такі дослідження як кріомікроскопія, електроспінінг, що розширюють подальші можливості для надбання практичних навичок за спеціальністю.

Міжнародне онлайн навчання надає переваги за рахунок отримання доступу до унікального освітнього контенту, який дозволяє отримати знання та деякі практичні навички при роботі з унікальним лабораторним обладнанням. Студентам, які беруть участь у перекладанні освітніх ресурсів, надається стипендія за відповідними партнерським програмами.

Список використаних джерел:

1. Аврунин О. Г., Носова Я. В. Применение виртуальных тренажеров в лабораторном практикуме при дистанционном обучении. Проблемы теории та практики дистанційної освіти в Україні : матеріали міжвузівської конференції, 19 жовтня 2012 р. Харків: Харк. нац. ун-т будів. та архіт., 2012. С. 6–10.

2. O. Avrunin, S. Sakalo and V. Semenetc. Development of up-to-date laboratory base for microprocessor systems investigation. 2009 19th International Crimean Conference Microwave & Telecommunication Technology, Sevastopol, 2009, Pp. 301–302.

3. Avrunin, L. Aver'yanova, V. Golovenko, O. Sklyar E-Learning of Functioning Principles Medical Intrascopy Systems//2-th International Conference “Modern (e-) Learning”, July, 2007, Varna, Bulgaria, ITHEA SOFIA, - P.134-137.

4. O. Avrunin. The experience software-based design of virtual medical intrascopy systems for simulation study International Journal / O. Avrunin, L. Aver'yanova, V. Golovenko, O. Sklyar // Information Technologies and Knowledge. – 2008. – Vol.2. – P. 470–474.

5. Аврунин О. Г., Аверьянова Л. А., Бых А. И., Головенко В. М., Складар О. И. Методика создания виртуальных средств имитации работы рентгеновского компьютерного томографа. Техническая электродинамика. Тем. Вып. Т. 5. Киев, 2007. С. 105–110.

6. OER [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://www.unesco.org/en/open-educational-resources#:~:text=Open%20Educational%20Resources%20\(OER\)%20are,adaptation%20and%20redistribution%20by%20others](https://www.unesco.org/en/open-educational-resources#:~:text=Open%20Educational%20Resources%20(OER)%20are,adaptation%20and%20redistribution%20by%20others). 17.03.2023.

УДК 606:615.841

РОЗВИТОК БІОМЕДИЧНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ

Кондратюк О. С.

Науковий керівник – проф. Аврунін О. Г.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ШІ,
м. Харків, Україна

тел. +38(066) 638-58-22, e-mail: olena.kondratiuk@nure.ua.

Biomedical electronic devices and systems are important tools for the diagnosis, treatment, and monitoring of various human diseases. Advances in biomedical electronics technology have led to the development of more accurate and efficient medical devices and systems. Biomedical electronic devices help detect diseases at an early stage, ensure precise drug dosing, and reduce the time spent on examination and treatment. The use of biomedical electronic devices reduces the risk of errors in diagnosis and treatment, thus improving the quality of medical care. The development of the Internet of Things and wireless communication technologies enables the creation of biomedical health monitoring systems that can remotely send data to doctors and medical centers.

Біомедичні електронні пристрої та системи є важливими для сучасної галузі охорони здоров'я [1]. Вони відіграють важливу роль у діагностиці, лікуванні та моніторингу різних захворювань людини [2]. Ці системи включають медичне обладнання для візуалізації, функціональних та інших досліджень [3, 4]. Електронні медичні записи та телемедичні системи, також мають вирішальне значення для надання ефективних медичних послуг [5].

Удосконалення технологій біомедичної електроніки призвело до розробки більш точних і більш ефективних медичних пристроїв і систем. Наприклад, нові методи візуалізації, такі як позитронно-емісійна томографія та магнітно-резонансна томографія, надають детальну інформацію про анатомію та фізіологію тіла [6]. Ці методи зробили революцію в діагностуванні та лікуванні захворювань. Сучасне медичне обладнання дозволило фахівцям виявляти захворювання на ранній стадії, коли лікування ефективніше [7].

Використання біомедичних електронних пристроїв знижує ризик помилок у діагностиці та лікуванні, тим самим покращуючи якість медичної допомоги. Вони надають об'єктивні та точні дані, що допомагає медичним працівникам приймати зважені рішення щодо догляду за пацієнтами. Наприклад, електронні медичні записи зберігають історію хвороби пацієнта, результати аналізів і плани лікування в безпечному та доступному форматі. Цією інформацією можуть ділитися постачальники медичних послуг, забезпечуючи скоординовану та ефективну допомогу пацієнтам.

Розвиток Інтернету речей і технологій бездротового зв'язку дозволив створити біомедичні системи моніторингу здоров'я, які можуть дистанційно

надсилати дані лікарям і медичним центрам. Ці системи дозволяють постачальникам медичних послуг контролювати пацієнтів у режимі реального часу та вчасно втручатися, коли це необхідно. Такі пристрої як фітнес-трекери, можуть контролювати частоту серцевих скорочень, режим сну та рівень активності пацієнта. Ці дані можна аналізувати, щоб отримати уявлення про загальний стан здоров'я пацієнта та допомогти запобігти виникненню різних захворювань. Найбільш актуальними зараз є системи медичної реабілітації.

Біомедичні електронні пристрої та системи забезпечують точну, ефективну та орієнтовану на пацієнта допомогу. Постійний розвиток цих технологій сприяє покращенню якості надання медичних послуг та здоров'я суспільства в цілому.

Список використаних джерел:

1. The National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering (NIBIB) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL <https://www.nibib.nih.gov/> – Назва з екрана (date of access: 18.03.2023).
2. Avrunin, O.G., Nosova, Y.V., Abdelhamid, I.Y., Pavlov, S.V., Shushliapina, N.O., Wójcik, W., & Kalizhanova, A. (2021). Possibilities of automated diagnostics of odontogenic sinusitis according to the computer tomography data. *Sensors*, 21(4), 1198.
3. Тымкович М.Ю. Использование DICOM-изображений в медицинских системах / М.Ю. Тымкович, О.Г. Аврунин, В.В. Семенец // Техн. электродинамика: Тематич. вып. – 2012. – Т.4. – С. 178-183.
4. Аврунин О.Г., Бых А.И., Семенец В.В. Обоснование основных медикотехнических требований для проектирования многофункционального риноманометра. Функциональная компонентная база микро-, оптои наноэлектроники: сб. науч. тр. III Междунар. науч. конф., 28 сент. – 2 окт. 2010 г. X. : Казивели: ХНУРЭ, 2010. С. 280–281.
5. Kolisnyk, K., Deineko, D., Sokol, T., Kutsevlyak, S., Avrunin, O.: Application of modern internet technologies in telemedicine screening of patient conditions. In: 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), pp. 459–464. IEEE (2019)..
6. Avrunin, O., Tymkovych, M., Drauil, J. Automated technique for threedimensional reconstruction of cranial implant based on symmetry (2015) Information Technologies in Innovation Business Conference, ITIB 2015 – Proceedings, pp.39-42.
7. Щапов, П. Ф. Повышение достоверности контроля и диагностики объектов в условиях неопределенности: монография / П.Ф. Щапов, О.Г. Аврунин. Харьков : ХНАДУ, 2011. – 192 с.

SIPM-BASED BRAIN GAMMA CAMERA

Donia Abu Assad

Scientific supervisor – PhD, Ass.prof. L.O. Averyanova

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

tel. +380994346877, +972528170748, e-mail: assad.donia.abu@nure.ua

The relevancy and significant burden of brain cancer problem requires wider use of techniques of early diagnosis of this pathology. A variety of imaging systems for brain examining allow detect malignant tumors, but the earliest signs of a brain tumor can only be detected by nuclear imaging. The problem of availability and high cost of such technology for many countries should be solved by using the latest technological solutions in the field of gamma rays detection for nuclear imaging.

A brain tumor is a mass that develops as a result of an abnormal cell proliferation called brain cancer. When abnormal cells develop within the brain, a tumor is created. Depending on the type of tumor, cancerous or malignant brain tumors can spread rapidly.

Brain tumors can develop in any part of the brain or skull, including its protective lining, the underside of the brain (skull base), the brainstem, the sinuses and the nasal cavity, and many other areas. There are more than 120 different types of tumors that can develop in the brain, depending on what tissue they arise from.

There are many brain imaging techniques, including: CT, MRI, PET, SPECT and Cerebral Angiography, The most important of them and the ones with the clearest imaging of tumor proliferation are the PET and SPECT nuclear devices, but these devices are very expensive.

Gamma camera that is recognized with PhotoMultiplier Tube (PMT) has become a little available due to the large cost of PMTs because it contains many things that form it.

Gamma's camera for general use is not the best due to the incompatibility of the normal surface of the detector in the spherical form of the human head, it is flat and when the camera approaches the human head to take the picture, the best picture will not be fabricated (fig. 1) [1-4].

Similar to the optical tube (PMT), the SIPM SIM (SIPM) provides a rapid response when the radiation is discovered. In other words, we can see more clearly and higher - the results are much faster.

Unlike PMT, SIPM is much tighter and uses much lower effort in the tool. SIPM is more rugged and can work in strong magnetic fields and environmental extremism, such as extreme humidity, heat and cold [3]. Using SIPM, radiation detection devices themselves are more compact and loud (fig.2).

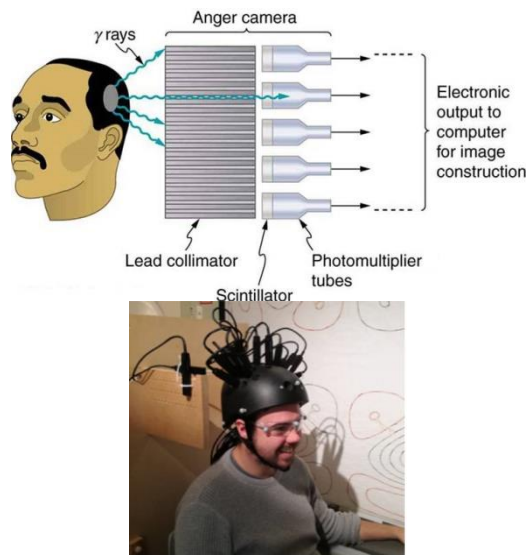


Figure 1 – Flat and helmet-based brain gamma camera detectors

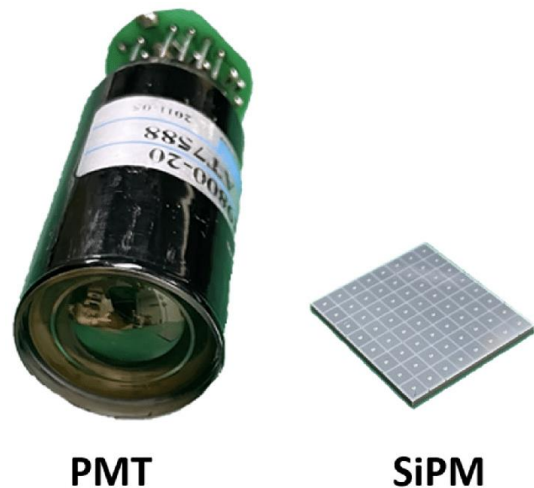


Figure 2 – PMT versus SiPM

The proposed idea is to use a spherical brain gamma camera design with a SiPM array. The main task of this project is to determine the optimal distribution of SiPM elements on hemisphere and the development the appropriate collimators for them. The next issue is to select fast scintillator for the best imaging results.

The explained technical solution for the brain-dedicated gamma camera provides the best conditions for brain imaging in oncology and neurology.

Such equipment is expected to be more mobile and portable, cheaper and suitable for direct volumetric nuclear imaging of the brain.

References:

1. Hutton, B.F. (2021). SPECT Imaging: Basics and New Trends. In: Fleck, I., Titov, M., Grupen, C., Buvat, I. (eds) Handbook of Particle Detection and Imaging. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93785-4_37
2. Stam, M.K., Verwer, E.E., Booiij, J. *et al.* Performance evaluation of a novel brain-dedicated SPECT system. *EJNMMI Phys* **5**, 4 (2018). <https://doi.org/10.1186/s40658-018-0203-1>
3. [Development of clinical simultaneous SPECT/MRI](#). Brian F Hutton, Michele Occhipinti *et al.* and On behalf of the INSERT consortium. The British Journal of Radiology 2018 91:1081
4. Hill, R.M., Boto, E., Holmes, N. *et al.* A tool for functional brain imaging with lifespan compliance. *Nat Commun* **10**, 4785 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12486-x>

УДК 615.47:616.831

МОЖЛИВОСТІ СИСТЕМ МЕДИЧНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ У ДІАГНОСТИЦІ ЦЕРЕБРАЛЬНОЇ АНЕВРИЗМИ ГОЛОВНОГО МОЗКУ ЛЮДИНИ

Босчко-Немовча А.О.

Науковий керівник- д.т.н., професор, Аврунін О.Г.

Харківський національний університет радіоелектроніки, кафедра БМІ
м. Харків, Україна

тел: (096) 008-37-33, anastasiia.boiechko-nemovcha@nure.ua

The study of cerebral aneurysms is vital for biomedical engineers due to their potentially fatal consequences. Aneurysms are common and can cause hemorrhagic strokes, leading to disability or death. Biomedical engineers are essential in developing non-invasive diagnostic techniques and testing new treatments. Research in this area is increasingly necessary, as medical imaging and computational modeling advance. The study of cerebral aneurysms is critical to improve patient outcomes and advance our knowledge.

Аневризма головного мозку (також її називають внутрішньочерепною аневризмою або церебральною аневризмою) – це випинання, ослаблена ділянка в стінці артерії мозку, що призводить до аномального розширення судини, її здуття або кровотечі [1, 2]. Аневризми головного мозку можуть бути спадковими, а також можуть бути спричинені травмою голови, інфекцією, атеросклерозом та іншими факторами. Аневризма головного мозку частіше виникає в артеріях, розташованих в передній частині мозку, які доставляють багату киснем кров до його тканин [3]. У будь-якому місці артерії в мозку може виникнути аневризма. Стінка аневризми тонка і слабка через аномальну втрату товщини судини або відсутність одного з шарів стінки артерії, у результаті чого залишається лише дві оболонки. Аневризму головного мозку часто виявляють уже після її розриву або випадково, під час діагностичних обстежень, таких як комп'ютерна томографія (КТ) [4], магнітно-резонансна томографія (МРТ) або ангиографія [5]. Окрім повного анамнезу та фізичного обстеження, використовуються наступні процедури діагностики аневризм головного мозку:

-цифрова субстанційна ангиографія (ЦСА) – надає зображення кровоносних судин головного мозку для виявлення проблем із судинами та кровотоком;

- комп'ютерна томографія [6] – процедура діагностичної візуалізації, яка використовує поєднання рентгенівських променів та комп'ютерних технологій для отримання горизонтальних або осьових знімків (часто їх називають зрізами) тіла [7];

- магнітно-резонансна томографія (МРТ) – діагностична процедура, яка використовує комбінацію великих магнітів, радіочастот і комп'ютера для отримання детальних зображень органів і структур всередині організму;

- магнітно-резонансна ангиографія (МРА) – неінвазивна діагностична процедура, що використовує комбінацію магнітно-резонансної технології (МРТ) та внутрішньовенного (IV) контрастного барвника для візуалізації судин. Дослідження аневризми з точки зору біомедичного інженера є важливим напрямком у розвитку технологій візуалізації та планування хірургічних втручань [8]. За допомогою систем медичної візуалізації лікар може досліджувати аневризму з різних точок зору, включаючи: математичне, зокрема, біомеханічне моделювання, що дозволяє досліджувати різні варіанти лікування та прогнозувати ризик розриву аневризми; оцінювати різні біоматеріали та їх взаємодію з тканинами судини для розробки нових технологій лікування аневризм; проводити візуалізацію судинного русла на основі різних модальностей, зокрема доплерографії, звичайної та КТ-ангіографії. Аневризми головного мозку можуть призводити до серйозних патологічних станів і розвиток біомедичної інженерії надає можливості для вдосконалення їх діагностики та лікування.

Список використаних джерел:

1. Leonard, J. R. (2021, February 24). Cerebral Aneurysm: Causes, Symptoms, and Treatments. Medical News Today. Retrieved from <https://www.medicalnewstoday.com/articles/156993#causes>
2. Kumar, N., & Kaushik, A. (2021). Pathophysiology and treatment of cerebral aneurysm: A review. *Biomedical Engineering Letters*, 3(1), 2-16.
3. Эндovasкулярное лечение сложных случаев артериальных аневризм сосудов головного мозга / В.А. Пятикоп, Ю.А. Котляревский, И.А. Кутовой, Ю.Г. Сергиенко, А.А. Пшеничный, И.А. Полях // Українська інтервенційна нейрорадіологія та хірургія.– 2014.– 4 (10).– С. 26-34.
4. Аврунін О.Г., Бодянський Є.В., Калашник М.В., Семенець В.В., Філатов В.О. Сучасні інтелектуальні технології функціональної медичної діагностики – Харків : ХНУРЕ, 2018. – 248 с. doi: 10.30837/978-966-659-234-0.
5. Пятикоп ВА, Котляревский ЮА, Кутовой ИА [и др.]. Предоперационная эмболизация сосудов, кровоснабжающих первичные опухоли головного мозга. *Український нейрохірургічний журнал*. 2012; 3:14-19.
6. Avrunin, O. G. et al. (2021), "Possibilities of automated diagnostics of odontogenic sinusitis according to the Computer Tomography Data", *Sensors*, 21 (4), p. 1198. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21041198>
7. Avrunin, O. et al. (2019), "Computed Tomography Dataset Analysis for stereotaxic neurosurgery navigation", 2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL). DOI: <https://doi.org/10.1109/caol46282.2019.9019459>
8. Аврунін О.Г. Определение степени инвазивности хирургического доступа при компьютерном планировании оперативных вмешательств / О.Г. Аврунін, М.Ю. Тымкович., Х. Фарук. *Бионика интеллекта*. 2013. № 2 (81). С. 101–104.

**POSSIBILITIES OF SECOND ORDER DIFFERENCE PLOT
FEATURES FOR DIFFERENTIATION OF LOW BACK PAIN BY
ELECTROMYOGRAPHIC SIGNALS**

Hamdiya Alhassan

Supervisor – cand.techn.sc., assoc.prof. Zhemchuzhkina T.V.
Kharkiv National University of Radio Electronics, BME Dep.,
Kharkiv, Ukraine

tel. +49(176) 70356486, e-mail: khamdiia.alkhassan@nure.ua

This study explores the potential of second-order difference plot (SODP) features for differentiating low back pain using electromyographic (EMG) signals. The SODP features were found to exhibit significant differences between patients with low back pain and healthy individuals. The dynamics of these features were also consistent across different segments of the EMG signal, suggesting their potential as reliable indicators for diagnosis. Overall, SODP features offer a promising approach for differentiating low back pain using EMG signals, with potential for clinical use pending further validation.

In many countries chronic low back pain (LBP) is the most common cause of long term disability in middle age. Chronic low back pain is resistant to treatment, and patients are often referred for multidisciplinary treatment [1]. Most of us will experience at least one episode of low back pain during our life. Reported lifetime prevalence varies from 49% to 70% and point prevalences from 12% to 30% are reported in Western countries [2].

The most common diagnostic test for LBP is electromyography (EMG). To date, the classification of diseases based on the results of surface electromyography is carried out by the methods of spectral, statistical and nonlinear dynamics analysis [3], [4].

Second Order Difference Plot (SODP) is a feature extraction method which is formed employing time domain information. The method of SODP can be used as an independent feature extraction tool as well as a supplemental technique to confirm the frequency domain results. If $X(t)$ is the signal, SODP is formed by $X(n + 1) - X(n)$ and $X(n + 2) - X(n + 1)$ points on the plot. In other words, SODP includes scattering of consecutive difference values of points in the signal.

SODP develops the clinical skills such as cardiac disorders and determinants of disease. It allows possible simple visual interpretation techniques on the ECG. Due to these characteristics, it has a wide use over past years. The most significant deficiency of the SODP is calculation ability on the quantitative values that provide the characterization of the ECG data [5].

SODP features can help to identify changes in the slope of the EMG signal, which can provide information about the timing and strength of muscle activation. This information can be useful for distinguishing between different types of LBP, such as muscle spasm, muscle strain, or nerve root compression.

Some possible SODP features that could be used to differentiate LBP include:

- Mean slope: measures the average slope of the SODP over a defined time interval. Differences in mean slope between patients with different types of LBP could indicate differences in the timing or strength of muscle activation.

- Variability of slope: measures the variability in slope of the SODP over a defined time interval. Patients with muscle spasm or nerve root compression may exhibit higher variability in their SODP slope compared to patients with muscle strain.

- Peak amplitude: measures the maximum amplitude of the SODP over a defined time interval. Differences in peak amplitude could indicate differences in the strength of muscle activation.

- Time to peak: measures the time it takes for the SODP to reach its maximum amplitude. Patients with muscle spasm may exhibit shorter time to peak compared to patients with muscle strain or nerve root compression.

Overall, SODP features can provide useful information for differentiating between different types of LBP using EMG signals. However, it is important to note that additional research and validation is necessary before these features can be used in clinical practice.

References:

1. Gunjan M., Jha A.K, Verma P., Mishra A., etc. (2014) An overview on low back pain and its management – a survey based analysis. *Indian Research Journal of Pharmacy and Science*. 2. 133-150.

2. Koes, B. W., van Tulder, M. W., & Thomas, S. (2006). Diagnosis and treatment of low back pain. *BMJ (Clinical research ed.)*, 332(7555), 1430–1434. <https://doi.org/10.1136/bmj.332.7555.1430>.

3. Zhemchuzhkina T., Nosova T., “Analysis of the dynamics of statistical and spectral indicators of electromyograms of the lumbar region,” *Scientific Collection “InterConf”*, (96): with the Proceedings of the 6th International Scientific and Practical Conference Scientific Community: Interdisciplinary Research (January 26-28, 2022). Hamburg, Germany: Busse Verlag GmbH, 2022. 1206 p., pp. 683-686.

4. Zhemchuzhkina, T.V., etc. (2019). Application of EMG-signal phase portraits for differentiation of musculoskeletal system diseases. *Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*. <https://doi.org/10.1117/12.2537338>.

5. Altan, G., Kutlu, Y., & Yeniad, M. (2019). ECG based human identification using Second Order Difference Plots. *Computer methods and programs in biomedicine*, 170, 81–93. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2019.01.010>.

**POSSIBILITIES OF KEYSTROKE DYNAMICS ANALYSIS FOR
EARLY STRESS RECOGNITION IN OFFICE ENVIRONMENT**

Ammar Rahmouni

Supervisor – cand.techn.sc., assoc.prof. Zhemchuzhkina T.V.,
Kharkiv National University of Radio Electronics, BME Dep.,
Kharkiv, Ukraine

tel. +38(098) 586-99-65, e-mail: ammar.rakhmuni@nure.ua.

This thesis explores the possibilities of keystroke dynamics analysis as a method for early stress recognition in office environments. Chronic stress in the workplace is a growing concern, with negative consequences for both employees and organizations. Traditional methods of stress detection have limitations in terms of accuracy and practicality, and there is a need for alternative approaches. Keystroke dynamics analysis, which involves analyzing typing patterns, has shown promise as a non-invasive, unobtrusive, and cost-effective tool for stress detection. The aim of this thesis is to investigate the potential of keystroke dynamics analysis as a stress detection method, including its advantages and limitations, and its application in real-world office settings.

Work-related stress has been defined as the emotional, cognitive, behavioral and physiological reaction to aversive and noxious aspects of work, work environments and work organizations. It is a state characterized by high levels of arousal and distress and often by feelings of not coping. Work-related stress is experienced when the demands of the work environment exceed the employee's ability to control them. These demands are not only related to high workload or long working hours, but also to high perceived stress, low social support from colleagues and managers, or to the individual characteristics of each one like the education and competitiveness [1].

Workplace stressors are classified as physical and psychosocial. Physical stressors include noise, poor lighting, poor office or work layout, and ergonomic factors, such as bad working postures. Psychosocial stressors are, arguably, the most predominant stress factors. These include high job demands, inflexible working hours, poor job control, poor work design and structure, bullying, harassments, and job insecurity. Workplace stress not only affects the worker, it also has adverse effects on company performance well. The effects of job-related strain are evident in workers' physical health, mental health, and their behavior. These effects occur in a continuum, beginning as distress in response to stressors. Distress, in turn, leads to elevated blood pressure and anxiety, which increase the risk of coronary heart disease, substance abuse, and anxiety disorders.

The implications of work-related stress include the effects on worker satisfaction and productivity, their mental and physical health, absenteeism and its economic cost, the wider impact on family function and finally, the potential for employer liability. While depression is the most likely adverse psychological

outcome, the range of other possible psychological problems include burn-out, alcohol abuse, unexplained physical symptoms, absenteeism, chronic fatigue and accidents, sick building syndrome and repetitive strain injury [2].

Keystroke dynamics is a behavioral biometrics which captures the typing rhythms of users [3]. The most frequently extracted features from the keystroke dynamics are dwell time, which is the time a key is pressed, and the average dwell time, duration between keystrokes and their average, time between two consecutive keys are down, pause rate, typing speed, number of key press events, duration of digraphs and trigraphs, number of events in the key events combination and frequency of using specific keys such as backspace or the space-bar. Key pressure has also been measured in some researches [1].

Our objective is to use keystroke dynamics the study of a user's typing rhythms – as a method for stress detection. The ubiquity of computing devices means that keystrokes are constantly being generated as a user goes about his or her daily business. Capturing these keystrokes, and their associated typing rhythm, is as easy as writing a simple piece of software to collect them. No specialized hardware is required; virtually every computing device has a physical or virtual keyboard built-in. Moreover, no explicit action is required from the user; a user can simply go about his intended task while the stress detection software runs in the background and s/he will not be inconvenienced in any way. If it is possible to detect stress via changes in typing rhythm, this technology could be rapidly and cheaply deployed while being invisible to end-users.

Keystroke dynamics analysis system for recognition of stress in office environment is user-friendly and cost-effective, provides real-time analysis, and can be used for continuous stress detection. In addition, the analysis of the dynamics of keystrokes can be used for authentication. By utilizing keystroke dynamics analysis, organizations can enhance stress control of their employees and provide a more secure environment for their users.

References:

1. Alberdi, A., Aztiria, A., & Basarab, A. (2016). Towards an automatic early stress recognition system for office environments based on multimodal measurements: A review. *Journal of biomedical informatics*, 59, 49–75. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2015.11.007>.
2. Tennant C. (2001). Work-related stress and depressive disorders. *Journal of psychosomatic research*, 51(5), 697–704. [https://doi.org/10.1016/s0022-3999\(01\)00255-0](https://doi.org/10.1016/s0022-3999(01)00255-0).
3. Bhatt, S., & Santhanam, T. (2013). Keystroke dynamics for biometric authentication — A survey. 2013 International Conference on Pattern Recognition, Informatics and Mobile Engineering, 17-23.

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛУ РАННІХ АУДИТОРНИХ ВИКЛИКАНИХ ПОТЕНЦІАЛІВ

Григорович С.В.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Жемчужкіна Т.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. БМІ,
м. Харків, Україна

тел. +49 1522 656 68 17, e-mail: sasha.hryhorovych@nure.ua.

Auditory brainstem response (ABR), also called short-latency auditory evoked potential, is a type of electrophysiological response happening on the brainstem level within 10 ms of an auditory stimulation. It's mainly used to assess hearing function in populations, which can't provide reliable audiogram feedback, as well as an objective measure of a hearing function. Like most brain-derived signals, ABR signal is subject to considerable artifact and needs to be processed before diagnostically useful data can be extracted. This paper is dedicated to a short, fairly simple algorithm that can be used to automatically process raw ABR signals.

У випадках, коли психоакустичні методи дослідження слуху не можуть дати корисної діагностичної інформації – наприклад, при дослідженні слуху у новонароджених та немовлят – використовуються ранні аудиторні викликані потенціали (РАВП, *англ.* auditory brainstem response). РАВП є методом оцінки функціонування периферичної нервової системи, що відповідає за передачу сигналу від слухового аналізатору, насамперед патології VIII черепного нерву та структур довгастого мозку, відповідних за інтеграцію аудиторної інформації [1]. Амплітуда РАВП зазвичай не перевищує 1 мкВ, що зумовлює необхідність їх фільтрації від завад та шумів з амплітудами, що у декілька разів перевищують амплітуду корисного сигналу [1], [2].

РАВП складаються із 5-7 хвиль, що виникають впродовж 10 мс після надходження звукового стимулу до вуха [1]. Алгоритм обробки сигналу РАВП включає в себе наступні етапи:

1. Відсічення амплітуд, вищих за 20 мкВ.
2. Застосування смугового КІХ-фільтру із $f_{c1} = 0,1$ кГц, $f_{c2} = 1,5$ кГц.
3. Усереднення сигналів за N повторень стимулу (зазвичай N становить від 1000 до 2000 вимірів).
4. Пошук піків, що відповідають хвилям I, III та V у заданих часових інтервалах (рис. 1) [3].
5. Оцінка затримок та амплітуд хвиль I, III та V.

На рис. 1 представлений результат обробки сигналу за описаним алгоритмом, що був реалізований за допомогою MATLAB та модулю

EEGLAB [3]. Сигнали із частотою дискретизації 20 кГц були записані за допомогою системи SynAmps RT протягом ~ 120 с із використанням стимулу у вигляді амплітудно-модульованого синусоїдального сигналу із паузами, частота синусоїди 1 кГц, частота повторення сигналу $21,37 \text{ c}^{-1}$. Імпеданси електродів < 2 кОм.

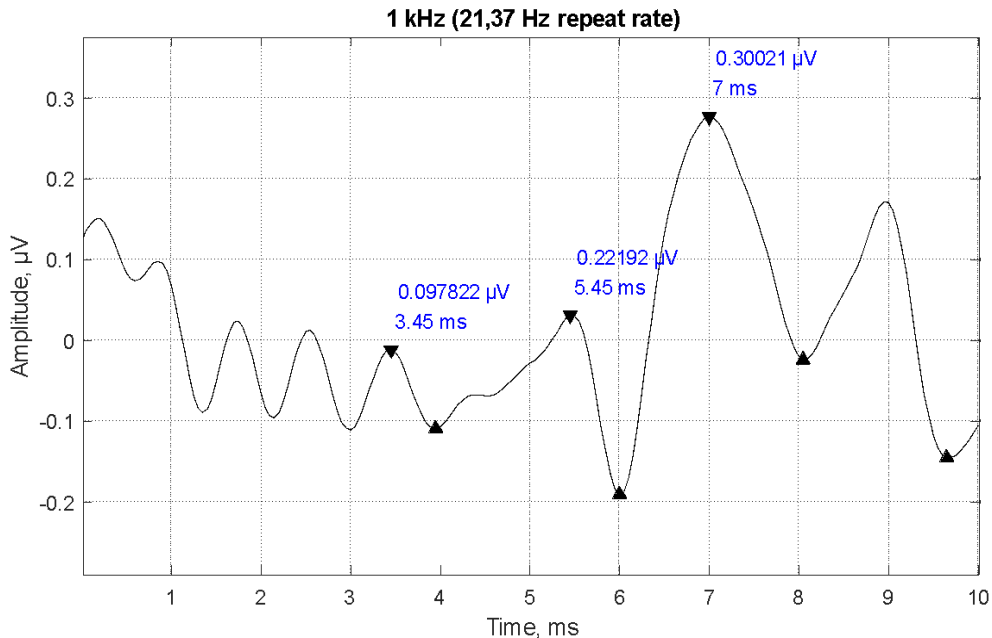


Рисунок 1. Результат обробки сигналу за розробленим алгоритмом

Розроблений алгоритм може бути корисним для допоміжної діагностики, а також для автоматизації обробки сигналів в електрофізіологічних дослідженнях, наприклад при оцінці ЕЕГ-відповіді на акустичні та електричні стимули у користувачів кохлеарних імплантів.

Список використаних джерел:

1. W. J. Wilson, M. Winter, C. Nohr, and F. Aghdasi, 'Signal processing of the auditory brainstem response: clinical effects of variations in fast Fourier transform analysis', in Proceedings of the 1998 South African Symposium on Communications and Signal Processing-COMSIG '98 (Cat. No. 98EX214), Sep. 1998, pp. 23–28.
2. O. Manta et al., 'Development and Evaluation of Automated Tools for Auditory-Brainstem and Middle-Auditory Evoked Potentials Waves Detection and Annotation', Brain Sciences, vol. 12, no. 12, Art. no. 12, Dec. 2022.
3. Delorme and S. Makeig, 'EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis', J Neurosci Methods, vol. 134, no. 1, pp. 9–21, Mar. 2004.

**POSSIBILITIES OF SPEECH ANALYSIS FOR EARLY STRESS
RECOGNITION IN OFFICE ENVIRONMENT**

Emad Mohammed Raweh Saeed Al-Qadasi

Supervisor – cand.techn.sc., assoc.prof. Zhemchuzhkina T.V.

Kharkiv National University of Radio Electronics, BME Dep.

Kharkiv, Ukraine

tel. +31(685) 843-267, e-mail: emad.mokhammed.al-kadasi@nure.ua

This work is devoted to speech analysis for early stress recognition in office environment and outlines a study on the use of speech analysis for early detection of stress. It was studied what parameters of speech are changed under stress situations. It has been found out that under stress situations, changes in pitch (fundamental frequency) and in the speaking rate are usual, together with variations in features related to the energy and spectral characteristics of the glottal pulse.

Speech analysis can be an effective tool for detecting stress in office environment, which could help to prevent negative outcomes and improve employee well-being and productivity.

Stress is a common problem among office workers and can lead to a variety of physical, emotional, and mental health issues. Some common problems of stress in office workers include: physical health issues (headaches, muscle tension, fatigue, and other physical symptoms that can affect overall health and well-being); emotional and mental health issues (anxiety, depression, and burnout); reduced productivity and impair job performance; increased absenteeism (employees who experience high levels of stress may take more sick days or be absent from work more frequently); poor morale, leading to low job satisfaction and high turnover rates; conflict and tension, leading to a negative work environment; legal and financial issues, such as workers' compensation claims or lawsuits. So, it is important for employers to take steps to prevent and manage workplace stress to promote employee well-being and reduce the risk of these problems [1].

There are different approaches for stress detection in the office, including: self-reporting, when employees can report their stress levels through surveys or questionnaires, which can be used to track stress levels over time and identify potential stress-related issues; wearable devices, such as smartwatches or fitness trackers, which can measure physiological parameters like heart rate and breathing rate to indicate stress levels; biometric sensors, which can measure physiological parameters like skin conductance, which can be used to detect stress levels; facial expression analysis, which can be used to detect signs of stress in employees by analyzing changes in facial expressions and movements; ambient sensors, such as noise sensors or temperature sensors. Employers can use one or

a combination of these approaches to detect stress in the workplace and implement strategies to reduce workplace stress and promote employee well-being.

Speech analysis is a promising approach for stress detection in the workplace. Here are some possibilities and advantages of speech analysis for stress detection: it is a non-invasive method of detecting stress and does not require any physical contact with employees; it can be used to detect stress in real-time, providing immediate feedback to employees and managers; it is an objective method of stress detection, eliminating potential biases in self-reported stress levels; it is easy to implement in the workplace, as it only requires a microphone and software; it is a cost-effective method of stress detection compared to other approaches like biometric sensors; it can provide a comprehensive analysis of stress levels, including factors like tone of voice, speaking rate, and word choice; it can be used to detect stress in a variety of workplace settings, including remote and virtual work environments.

Pitch is the most frequently extracted feature from speech in stress detection. It has been found that mean value, standard deviation and range of pitch increase under stress while pitch jitter decreases. Minimum, maximum, median and first derivation of pitch are also used. As spectral centroid goes up under stress and energy is concentrated in higher frequency bands, high frequency bands' (above 500 Hz) energy is also considered. Speaking rate also increases, as well as voice intensity. Intensity features like the mean, range and variability can be used in certain environments. Amplitude-based features can be also used: precisely, the perturbation quotient, the degree of subharmonic segments, the noise to harmonic ratio and the degree of voiceless. However, pitch and speaking rate features frequently the most suitable ones, because they can work well even in noisy environments [2].

By using speech analysis for stress detection, employers can identify potential stress-related issues in the workplace and implement strategies to reduce workplace stress and improve employee well-being.

References:

1. Kelloway, E. K., Hurrell, J. J., Jr., & Day, A. (2008). Workplace interventions for occupational stress. In K. Näswall, J. Hellgren, & M. Sverke (Eds.), *The individual in the changing working life* (pp. 419–441). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511490064.020>.
2. Alberdi A, Aztiria A, Basarab A. Towards an automatic early stress recognition system for office environments based on multimodal measurements: A review. *J Biomed Inform.* 2016 Feb;59:49-75. doi: 10.1016/j.jbi.2015.11.007. Epub 2015 Nov 28. PMID: 26621099.

**АВТОМАТИЧНЕ ВИЯВЛЕННЯ ТА ПРИГНІЧЕННЯ ЕЛЕКТРОДНИХ ТА
ОКУЛОГРАФІЧНИХ АРТЕФАКТІВ В ЕЕГ ЗАПИСАХ**

Кісельгов Є.М.

Науковий керівник – д.т.н., проф. Смеляков С.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПШ,
м. Харків, Україна

тел. +38(095) 250-07-85, e-mail: yevhen.kiselhov.cpe@nure.ua.

This work shows usage of blind source separation approach based on ICA and EEG dipole model to isolate EEG artefacts to independent sources, detect and suppress them. Invers ICA composition from sources with suppressed artifacts allows to archive cleaned EEG with minimal remains of artifacts.

Електроенцефалографія – це метод реєстрації електричної активності головного мозку, відведеної з поверхні шкіри голови, зі скальпу голови. Така електрична активність має назву – біопотенціали головного мозку. Її реєстрація є одним з поширених методів функціональної діагностики стану людини [1, 2]. Вона дозволяє проаналізувати фізичний стан і зрілість головного мозку, виявити на попередньому етапі наявність осередків уражень мозку, загальмований розлад тощо [3]. Якість аналізу ЕЕГ напряму залежить від якості реєстрації сигналу. Якщо проблеми перешкод виду мережевої завади або погана якість фільтрації та оцифрування сигналу гарно постійно вирішуються завдяки прогресу у розвитку електроніки то перешкоди викликані діями пацієнта – артефакти, можливо побороти лише методами очищення сигналу перед етапом аналізу. Серед ЕЕГ артефактів виділяють: електродні (ізолюваного електроду та референтного електроду), окулографічні (зорові), кардіографічні, міографічні (ковтання, тремор, нервові зубні скрежати). Останні два види у більшості випадків рідкісні або можуть бути подолані фільтрацією. Найбільші проблеми пов'язані з електродними та окулографічними артефактами оскільки вони природно з'являються у моменти стимуляції мозкової активності пацієнта.

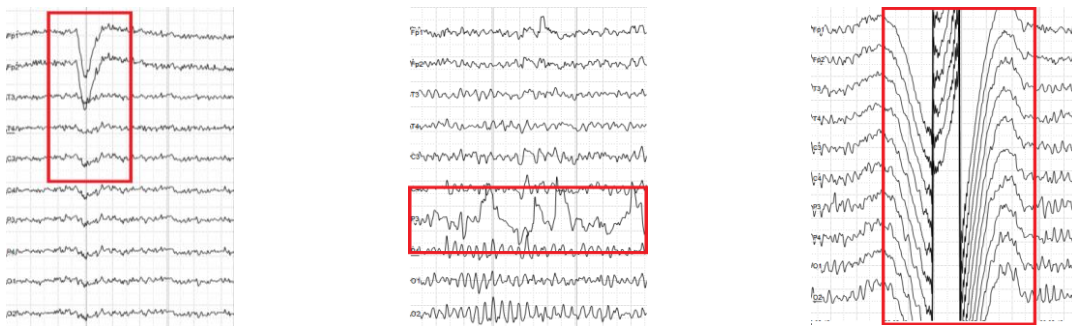


Рисунок 1. Окулографічний, електродний та референтний артефакти.

Виявити ці артефакти на фоні ЕЕГ складно: за спектром вони мають таке саме частотне розподілення як ЕЕГ, за формою вони збігаються з

патологічною активністю мозку. Унікальне лише місце їх «зародження»: окулографічні артефакти фізично розташовані у в зоні ока, електродний артефакт фізично проявляється лише в каналі цього електроду, референтний артефакт рівнорозподілений по всім каналам ЕЕГ. Потрібен метод який дозволяє виділити окремо ці артефакти від ЕЕГ сигналу та дати можливість оцінити їх просторову локалізацію, наприклад у виді вагових коефіцієнтів входження сигналу артефакту в кожному каналі ЕЕГ:

$$X = A \cdot S$$

де X – матриця вихідного сигналу ЕЕГ (суміш джерел ЕЕГ та артефактів), сигнал кожного електроду – окремий рядок матриці, S – матриця окремих сигналів мозкової активності та артефактів розділених між собою: кожен артефакт – окремий рядок матриці, кожна активність – також окремий сигнал, за розміром так ж як матриця X , A – квадратична матриці закону змішування, кожен стовпець матриці – вагові коефіцієнти з якими джерело з матриці S та номером стовпця матриці A змішується у вихідний сигнал ЕЕГ X . Потрібне лінійне розділення забезпечує метод аналізу незалежних компонент ІСА. Він використовує функції оцінки статистичної незалежності сигналів (ентропії, негетропія, ексцес) для розділення сигналу ЕЕГ X на незалежні компоненти S , та оцінює матрицю змішування A [4]. Метод ІСА виділяє артефактні сигнали в окремі джерела де співвідношення сигналу артефакту до залишкового ЕЕГ сигналу максимальне [5]. Це дозволяє оцінити вагові коефіцієнти s_i кожного i -го артефакту окремо, а знаючи їх – знайти фізичне розташування джерела генерації артефакту та визначити тип артефакти.

Для виявлення електродного артефакту пропонується використовувати кореляційний коефіцієнт Пірсона між ваговими коефіцієнтами s_i та модельними коефіцієнтами \hat{s}_i артефакту у j -му канал $\hat{s}_{i,j} = \{1; i = j 0.001; i \neq j\}$. Якщо коефіцієнт Пірсона більше або дорівнює 0,9 – це показник електродного артефакту у каналі j та пов'язаному з ним електроді. Для виявлення артефакту референтного електроду пропонується оцінити значення s_i лінійною регресією $F(s_i) = a + b * i$. Якщо t -критерій Стьюдента показує високу достовірність регресії, а кут нахилу $\arctg(b) \leq 1^\circ$ тоді s_i описує рівномірний вплив артефакту на всі канали, а це ознака артефакту референтного електроду. Також для виявлення та усунення референтного електроду можливо застосовувати дипольну модель ЕЕГ [6].

Для оцінки окулографічного електроду пропонується використовувати дипольну модель ЕЕГ джерел та спрощену обернену задачу ЕЕГ [6, 7]. Якщо електричний диполь розташований в зоні очних м'язів, або нервового тракту обробки зорової інформації має таке ж за формою розподілення на скальпі \hat{s}_i для даного джерела s_i – це ознака окулографічного електроду.



Рисунок 2. Вагові коефіцієнти розподілення окулографічного артефакти s_i та дипольне розподілення \hat{S}_i яке його моделює.

Користуючись лінійністю закону розкладання ЕЕГ на джерела можливо провести зворотну композицію ЕЕГ з сигналів джерел де джерела артефактів будуть замінені нульовим сигналом.

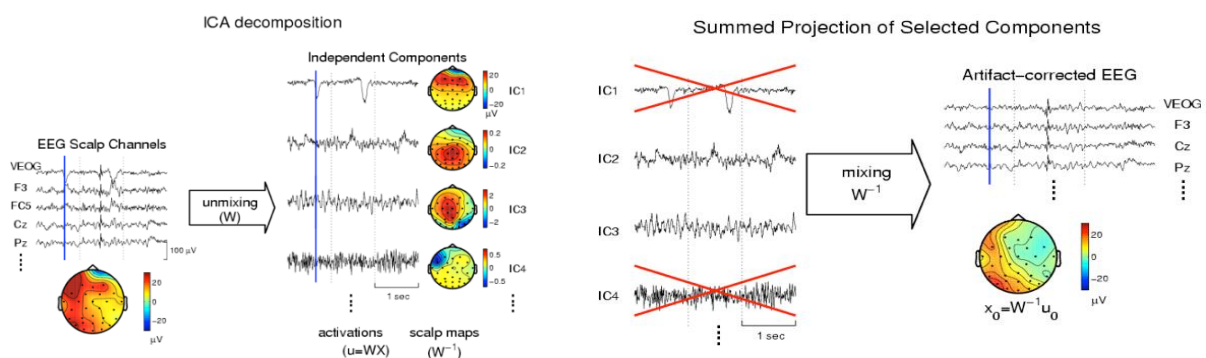


Рисунок 3. Зворотна композиція ЕЕГ сигналів без артефактів.

Список використаних джерел:

1. Чернінський А. О., Крижановський С. А., Зима І. Г. Електрофізіологія головного мозку людини: методичні рекомендації до практикуму – К. : Видавець В. С. Мартинюк, 2011. 49 с.
2. Гусельников В. І., Електрофізіологія головного мозку. – М.: Вища школа, 1976.
3. Зенков Л. Р. Клінічна електроенцефалографія з елементами епілептології — М.: Вища школа, 2002
4. Makeig S., Bell AJ., Jung T-P., Sejnowski TJ., Independent component analysis of Electroencephalographic data. / Advances in Neural Information Processing Systems 8, 1996. 145-151 p.
5. Jung T-P., Makeig S., Humphries C., Lee TW., McKeown MJ., Iragui V., Sejnowski TJ. Removing Electroencephalographic Artifacts by Blind Source Separation. / Psychophysiology 37, 2000. 163-78 p.
6. Кисельгов Е. Н. Приближенное решение проблемы референтного электрода в ЭЭГ анализе / Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. - 2006. № 1. С. 115–123.
7. Гнездицкий В. В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая энцефалография / Изд-во ТРТУ. Таганрог. 2000. 640 с.

УДК 004.04:[57+61]

ON WHOLE-SLIDE IMAGERY AND COMPUTATIONAL PATHOLOGY IN MEDICAL DIAGNOSIS

Канцемал А.О.

Науковий керівник – д.т.н., проф. Перова І.Г.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. СТ
м. Харків, Україна

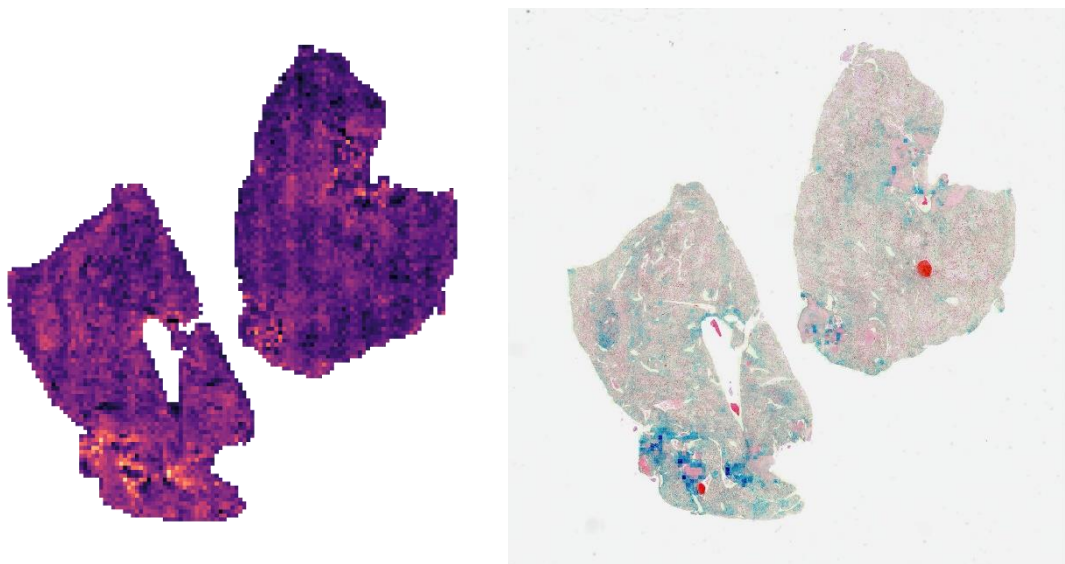
тел. +38(098) 465-03-25, email: anton.kantsema@nure.ua.

This work is devoted to exploring the phenomena of whole-slide imagery and computational pathology in medical diagnosis. In addition, we assess CLAM – one of the methods of computational pathology, aimed to process whole-slide tissue scans – as a way of addressing the important whole-slide imagery processing difficulties.

> *Whole-slide digital imaging is the process by which digital images of entire histologic slides are created by high-resolution scanning of the slide. [1]*

In other words, a whole-slide image is a very high-resolution digital scan of a histology sample. The advancements in scanning technology in recent years allow us to get slides at the gigapixel scale. With that, in order for the pathologist to make a correct decision, they have to look through every pixel rigorously. On the other hand, modern methods of computational analysis enable us to process this much medical data in no time. This process is called computational pathology.

> *Computational pathology (CPATH) – a branch of pathology that involves computational analysis of a broad array of methods to analyze patient specimens for the study of disease. [2]*



Picture 1. Left: direct visualization of the attention scores. Each pixel represents a 256px patch. Right: attention scores blended onto the WSI. The colored regions represent the most attended parts of the sample.

Modern computational pathology is able to provide extensive support for pathological analysis. For example, features may be extracted to compactly represent the whole slide. Also, the said features may be used in classical ML algorithms to correlate whole-slide images to the patient outcome. In addition to that, CPATH techniques may lead to discovery of previously unrecognized morphological characteristics with clinical relevance that have not been used in visual assessment by pathologists, either because these features had not previously been discovered or because they are beyond human visual perception.

An example of CPATH – Clustering-constrained attention multiple instance learning, or CLAM for short – a work of Lu et al. [3], and is a data-efficient approach to working with weakly-labeled whole-slide imagery.

We have trained the CLAM model on a subset of publicly-available Clear Cell Renal Cell Carcinoma (CPTAC-CCRCC) dataset [4]. As we can see on the picture 1, the CLAM’s attention network is quite interpretable. It outputs “importance scores” for each patch, so those can be visualized as a heatmap. If you take a closer look at the WSI on the right, you may see the affected cells colored blue, meaning the network decided them to affect the prediction the most. This approach addresses important WSI processing difficulties. For example, to handle the large size of the slide, we segment the actual tissue from the scan background, trimming unnecessary information. Then, we split the remaining ROI into tiles, that are treated equally, to fit them into the GPU. Also, another difficulty is labeling. It takes hours for a pathologist to look through the slide and diagnose, let alone label the cause of it, i.e., the affected cells. On the contrary, CLAM is designed to work with this kind of weakly-labeled data, where only the slide-level labels are known (i.e., diagnosis.) CLAM itself determines which regions of the tissue affect the predicted diagnosis.

Список використаних джерел:

1. Shaimaa Al-Janabi, André Huisman, Paul J Van Diest. [Digital pathology: current status and future perspectives.](#)

2. Esther Abels, Liron Pantanowitz, Famke Aeffner, Mark D Zarella, Jeroen van der Laak, Marilyn M Bui, Venkata NP Vemuri, Anil V Parwani, Jeff Gibbs, Emmanuel Agosto-Arroyo, Andrew H Beck, Cleopatra Kozlowski. [Computational pathology definitions, best practices, and recommendations for regulatory guidance: a white paper from the Digital Pathology Association.](#)

3. Ming Y. Lu, Drew F. K. Williamson, Tiffany Y. Chen, Richard J. Chen, Matteo Barbieri, Faisal Mahmood. [Data Efficient and Weakly Supervised Computational Pathology on Whole Slide Images.](#)

4. Clark K, Vendt B, Smith K, Freymann J, Kirby J, Koppel P, Moore S, Phillips S, Maffitt D, Pringle M, Tarbox L, Prior F. [The Cancer Imaging Archive \(TCIA\): Maintaining and Operating a Public Information Repository, Journal of Digital Imaging, Volume 26, Number 6, December, 2013, pp 1045-1057.](#)

ТЕХНОЛОГІЇ МАЛОІНВАЗИВНОГО ПРОТЕЗУВАННЯ ХРЕБТА ПРИ СПОНДИЛОЛІСТЕЗІ

Грядунова Є.О.

Науковий керівник – к. т. н., доц. Авер'янова Л. О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна
тел. +38(073) 035-52-02, e-mail: yeva.hriadunova@nure.ua

The problems of people with the spinal disorders are always a serious challenge in the field of healthcare. Pathologies of spine can cause destabilization of the musculoskeletal system at all. The causes of these problem are different - accidents, injuries, systemic pathological changes of the whole body. This is why research and development of the technologies for the treatment of spine abnormalities is so important.

Одним з найпоширеніших структурно-функціональних порушень хребта є спондилолістез, при якому один з хребців зміщується вперед або назад по відношенню до інших хребців. Хворобу класифікують за ступенем ускладнення (класифікація Мейєрдінга), який визначають співвідношенням відстані, на яку тіло хребця просунулося вперед щодо верхньої кінцевої пластини тіла іншого хребця: I ст. – зміщення на 1/4 тіла хребця; II ст. – зміщення на 1/2; III ст. – зміщення на 3/4; IV ст. – зміщення на всю довжину тіла хребця, або спондилоптоз.

Перший етап лікування спондилолістеа полягає у візуалізації ураженої ділянки хребта за допомогою методів рентгенографії, КТ, МРТ [1] (рис. 1). У разі хірургічного втручання застосовується малоінвазивна операція із використанням 3D-флюороскопії та нейронавігації для черезшкірного гвинтового остеосинтезу [2].

Критично важливим засобом реалізації малоінвазивних операцій при спондилолістезі є спеціалізоване програмне забезпечення для передопераційного планування та інтраопераційної 3D навігації (рис.2).



рентгенографія



КТ



МРТ

Рисунок 1 – Візуалізація уражень хребта при спондилолістезі

Необхідними вхідними даними для програмного засобу є рентгеновські зображення з позначеними анатомічними орієнтирами, за якими далі перевіряється точність розміщення фіксуючих гвинтів, обирається їх оптимальний розмір.

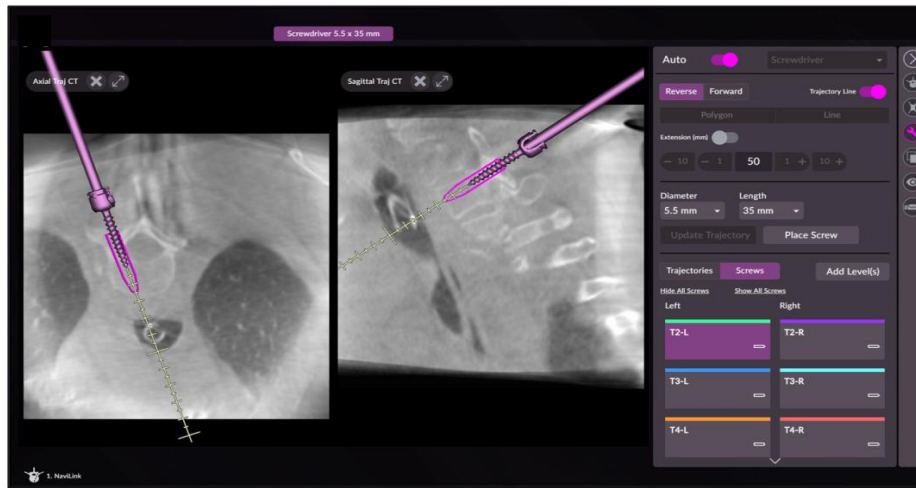


Рисунок 2 – Навігаційне програмне забезпечення для відображення введення гвинта з візуалізацією запланованого положення гвинта [3]

Постійне удосконалення конфігурації фіксуючих елементів та технологій оперативного втручання відповідно ставить задачу розробки нових оригінальних програмних засобів. Це потребуватиме ретельного опису та моделювання інструментарію та засобів фіксації, траєкторії їх руху під час операції. Також має бути модифіковано модулі обробки рентгеновських зображень. Оптимальний вибір траєкторії руху інструменту та розміщення фіксуючих конструкцій дозволить мінімізувати крововтрату, післяопераційний біль, скоротити перебування в лікарні, зберігаючи низький рівень апаратних ускладнень.

Список використаних джерел:

1. Gaillard F, El-Feky M, Niknejad M, et al. Spondylolisthesis. Reference article, Radiopaedia.org (Accessed on 14 Apr 2023) <https://doi.org/10.53347/rID-12357>
2. Innocenzi, G. (2018). The Role of Neuronavigation in Lumbar Spine Surgery. In: Delfini, R., Landi, A., Mancarella, C., Gregori, F. (eds) Modern Thoraco-Lumbar Implants for Spinal Fusion. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60143-4_1
3. Mandelka, E.; Gierse, J.; Gruetzner, P.A.; Franke, J.; Vetter, S.Y. First Clinical Experience with a Novel 3D C-Arm-Based System for Navigated Percutaneous Thoracolumbar Pedicle Screw Placement. *Medicina* **2022**, *58*, 1111. <https://doi.org/10.3390/medicina58081111>

УДК 615.47

АНАЛІЗ ЗМІНИ АЕРОДИНАМІЧНОГО НОСОВОГО ОПОРУ ПРИ ДІЇ ОДОРАНТІВ

Носова Я.В.¹, Аврунін О.О.¹, Ібрагім Юнусс Абделхамід¹, Тернопол Ю.О.².
Науковий керівник – к.м.н., доцент Шушляпіна Н.О.².

¹Харківський національний університет радіоелектроніки, кафедра БМІ,
м. Харків, Україна

²Харківський національний медичний університет, кафедра
оториноларингології, м. Харків, Україна
тел. +38(057) 702-13-64, e-mail: yana.nosova@nure.ua

The study of rhinomanometric signals based on the respiratory cycle during olfactometric studies allows to indirectly determine the appearance of olfactory sensitivity due to changes in aerodynamic nasal resistance. The perspective of the work is to confirm the provenance of the approach and analyze the aerodynamic nose drag under the influence of various odorants.

Сучасні підходи доказової медицини вимагають використання достовірних інструментальних методів функціональної діагностики. В діагностиці порушень носового дихання такими методами є комп'ютерна риноманометрія, яка досліджує показники повітряного потоку через носову порожнину при диханні та дозволяє визначити відповідний аеродинамічний носовий опір [1, 2].

При дослідженні нюхової функції, зміни якої, в першу чергу, пов'язані з респіраторними порушеннями, в останній час використовують метод комп'ютерної ольфактометрії [3, 4], що дозволяє, на відміну від якісних підходів [5, 6], оцінити енергетичні характеристики дихання при відчутті відповідного одоранту [7]. Метод заснований на риноманометричних дослідженнях при послідовному збільшенні інтенсивності дихання при встановленому в повітряному тракті риноманометра контейнера з відповідним одорантом певної концентрації і реєстрації потужності та енергії дихання при появі нюхальної чутливості [7]. Але, при цьому використовується фіксація часу появи відчуття одоранту пацієнтом, що, в свою чергу, призводить до певної суб'єктивності методу. Підвищити об'єктивність дослідження можливо саме за результатами аналізу риноманометричних сигналів при дихальних маневрах за циклограмою дихання. Таким чином, за можливо реєструвати більш високочастотні цикли, які непрямо можуть свідчити щодо появи нюхальної чутливості при дії одоранту []. Розвитком такого підходу є більш поглиблений аналіз сигналів перепаду тиску та витрати повітря в дихальних циклах для визначення зміни аеродинамічного носового опору, що може свідчити про рефлекторну зміну конфігурації носової порожнини за рахунок реакції слизової оболонки на дію одоранту. Аеродинамічний носовий опір визначається як відношення перепаду тиску до витрати повітря при диханні.

Таким чином, спостерігаючи за зміною риноманометричних сигналів в дихальних циклах, можливо визначити поступову зміну аеродинамічного носового опору. Підвищення, або зменшення аеродинамічного носового опору будуть мати місце в залежності від типу та концентрації одоранту.

Дослідження риноманометричних сигналів за циклограмою дихання при ольфактометричних дослідженнях дозволяє непрямим шляхом визначити появу нюхальної чутливості за рахунок зміни аеродинамічного носового опору. Перспективою роботи є підтвердження доказовості підходу та аналіз аеродинамічного носового опору при дії різних одорантів.

Список використаних джерел:

1. Аврунін О.Г., Бодяньський Є.В., Семенець В.В., Філатов В.О., Шушляпіна Н. О. Інформаційні технології підтримки прийняття рішень при визначенні порушень носового дихання. Харків : ХНУРЕ, 2018. 132 с.
2. Аврунін О.Г., Бых А.И., Семенец В.В. Обоснование основных медико-технических требований для проектирования многофункционального риноманометра. Функциональная компонентная база микро-, опто и наноэлектроники: сб. науч. тр. III Междунар. науч. конф., 28 сент. – 2 окт. 2010 г. Х. : Кацевели: ХНУРЭ, 2010. С. 280–281.
3. Носова Я.В. Анализ энергетических характеристик носового дыхания при ольфактометрических исследованиях / Я.В. Носова, Хушам Фарук, Н.О. Шушляпина. Материалы XIII Международной научно-технической конференции «Физические процессы и поля технических и биологических объектов», 07-09 ноября, 2014 г., Кременчуг: КрНУ, 2014. С. 83.
4. Nosova Y.V. A tool for researching respiratory and olfaction disorders/ Y.V. Nosova, K.I. Faruk, O.G. Avrunin. Telecommunications and Radio Engineering. 2018. №77(15). С. 1389–1395.
5. Avrunin, O.G.; Nosova, Y.V.; Abdelhamid, I.Y.; Pavlov, S.V.; Shushliapina, N.O.; Bouhlal, N.A.; Ormanbekova, A.; Iskakova, A.; Harasim, D. Research Active Posterior Rhinomanometry Tomography Method for Nasal Breathing Determining Violations. Sensors 2021, 21, 8508. <https://doi.org/10.3390/s21248508>.
6. Avrunin, O.G.; Nosova, Y.V.; Abdelhamid, I.Y.; Pavlov, S.V.; Shushliapina, N.O.; Wójcik, W.; Kisała, P.; Kalizhanova, A. Possibilities of Automated Diagnostics of Odontogenic Sinusitis According to the Computer Tomography Data. Sensors 2021, 21, 1198. <https://doi.org/10.3390/s21041198>
7. Nosova, Ya. V. Biotechnical system for integrated olfactometry diagnostics / Ya. V. Nosova, O. G. Avrunin, V. V. Semenets // Innovative technologies and scientific solutions for industries. – 2017. – N 1 (1). – P. 64–68. DOI:10.30837/2522-9818.2017.1.064.

УДК 615.47:616.44

ТЕХНОЛОГІЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ ПАТОЛОГІЙ ЩИТОПОДІБНОЇ ЗАЛОЗИ

Боєчко-Немовча А.О.

Науковий керівник: к. т. н., доц. Авер'янова Л. О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків,
Україна

тел: (096) 008-37-33, anastasii.boiechko-nemovcha@nure.ua

Diagnostic technologies for thyroid gland pathologies are becoming increasingly important as thyroid disorders are on the rise worldwide. These technologies allow for early detection and accurate diagnosis of thyroid conditions, enabling effective treatment and better patient outcomes. Advancements in medical imaging and laboratory testing have improved the precision and accessibility of these technologies, resulting in quicker and more convenient diagnoses. Additionally, these technologies play a critical role in monitoring the effectiveness of treatments and helping physicians adjust therapy as needed.

Щитоподібна залоза (ЩЗ) - це важливий ендокринний орган, який забезпечує регулювання метаболізму та рівня енергії в організмі.

Технології дослідження ЩЗ постійно розвиваються. Сьогодні використовуються різноманітні методи, які дозволяють діагностувати різні патології ЩЗ та здійснювати ефективну терапію. Окрім фізикального обстеження ЩЗ та лабораторної діагностики широко використовуються візуалізаційні методи діагностики ЩЗ [1-3]: ультразвукове дослідження (УЗД), радіонуклідна візуалізація, рентгенографія, комп'ютерна томографія (КТ), магнітно-резонансна томографія (МРТ) (рис.1).

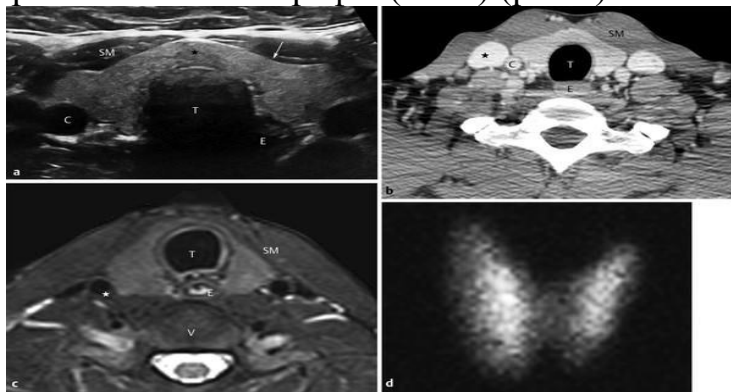


Рисунок 1. Нормальна щитоподібна залоза [2]:

a – УЗ-скан, b – КТ-скан, c – МРТ-скан, d – радіонуклідне зображення

Захворювання ЩЗ спричиняють зміни у розмірі та функції залози, порушень вироблення гормонів або наявності утворень в залозі [1]. Часто виникають патології щитоподібної залози, такі як гіпертиреоз, гіпотиреоз, вузлові та дифузні зміни, у тому числі злоякісні. Рання діагностика цих патологій є важливим етапом у їх лікуванні та збереженні здоров'я пацієнта.

У табл. 1 наведено результати аналізу пріоритетів у застосуванні технологій візуалізації ЩЗ щодо діагностики найбільш розповсюджених патологій ЩЗ. Найбільш ефективним методом візуалізації патологій ЩЗ є УЗД, наступною за значущістю є радіонуклідна візуалізація. Решта методів є допоміжними при аналізі розповсюдженості патологічних змін.

Таблиця 1. Рекомендовані методи візуалізації основних патологій ЩЗ

	УЗД	КТ	МРТ	Радіонуклідна візуалізація	Рентгенографія
Злоякісні пухлини	++	+	+	++ ^{123}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{131}I	+
Токсична аденома	++	+	+	++ $^{99\text{m}}\text{Tc}$	-
Аутоімунний тиреоїдит	++	-	-	++ ^{131}I	-
Зоб	++	-	-	+ $^{99\text{m}}\text{Tc}$	-

Завдяки цим технологіям можлива рання діагностика та точне визначення захворювань, що дозволяє проводити ефективне лікування та підвищує ймовірність успішного відновлення пацієнтів. Загалом візуалізація щитовидної залози еволюціонувала від раннього радіонуклідного сканування щитовидної залози до розробки передових методів радіонуклідної візуалізації ОФЕКТ, ПЕТ та гібридних зображень.

Удосконалення методів зображення у поперечному перерізі (3D УЗД, КТ та МРТ), ще більше покращило оцінку інтратиреоїдних патологій. Ці технології також відіграють важливу роль в контролі ефективності лікування та допомагають лікарям при потребі удосконалити терапію ЩЗ.

Список використаних джерел:

1. Сиволап В. Д., Гура Е. Ю. Основи діагностики і лікування захворювань щитоподібної залози: Навчальний посібник. – Запоріжжя: ЗДМУ, 2018.
2. Thyroid imaging. Ento Key. Fastest Otolaryngology & Ophthalmology Insight Engine. <https://entokey.com/6-thyroid-imaging/>
3. Chaudhary V, Bano S. Imaging of the thyroid: Recent advances. Indian J Endocrinol Metab. 2012 May;16(3):371-6. doi: 10.4103/2230-8210.95674. PMID: 22629501; PMCID: PMC3354842.

УДК 615.47

АНАЛІЗ КТ-ПАРАМЕТРІВ ШИЙНОГО ВІДДІЛУ ХРЕБЦІВ ЛЮДИНИ ЗА ВІКОВИМИ ТА СТАТЕВИМИ ОЗНАКАМИ

Філімонов С.О.

Науковий керівник –к.т.н., доцент Авер'янова Л.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків Україна
кафедра біомедичної інженерії, тел: (099) 444-14-80,

e-mail: serhii.filimonov@nure.ua

Modern methods of medical imaging are increasingly used to assess the bone structures status. However, the results of such studies have not yet been fully systematized and substantiated. X-ray imaging methods allow quantitative analysis of bone parameters based on their digital images. X-ray computed tomography is currently of particular interest, as it enables a more in-depth quantitative analysis of morphological changes in bones, particularly the spine.

В медицині все частіше застосовуються сучасні методи візуалізації кісткових структур без шкоди для організму. Проте, результати таких досліджень ще не повністю систематизовані та обґрунтовані [1]. Раніше Традиційно для вивчення стану кісток людини використовують планарну рентгенографію, яка дозволяє якісно аналізувати стан кісткових структур. Однак, в даний час особливий інтерес викликає рентгенівська комп'ютерна томографія, оскільки вона дає можливість більш глибокого кількісного аналізу морфологічних змін у об'ємі кістки, зокрема у хребцях.

Для вимірювання середніх значень HU кожного тіла хребця було взято осьову площину, яка знаходилася нижче верхньої кінцевої пластини, середину тіла хребця та осьову площину, яка знаходилася вище нижньої кінцевої пластини. Значення HU визначали шляхом вимірювання найбільшої еліптичної області інтересу (ROI) в середній частині тіла хребця. ROI вибирали так, щоб охоплювати якомога більше трабекулярної кістки та уникати кортикальної кістки та неоднорідних областей, таких як краї кортикальної кістки [1-2]. Середні значення HU, виміряне з трьох досліджуваних областей, вважалось HU для окремого хребця. [2].

На кожному рівні шийного відділу спостерігалось різне значення HU (рис. 1) [2]. Починаючи з C2 і до C5, значення HU залишалися на одному рівні (від $360,13 \pm 76,28$ до $372,5 \pm 79,36$), в той час як C6 показував помітне зниження ($319,35 \pm 73,40$). HU C7 було найнижчим ($274,08 \pm 61,27$). Відповідно до тенденції зміни значень HU від C2 до C7, можна виділити верхні шийні хребці (середні значення HU C2-5), нижні шийні хребці (середні значення HU C6-7) та загальний шийний відділ хребців (середні значення HU для хребців C2-C7). Значення HU C6-7 може мати більш очевидні зміни[2]. У понад 60 вікових групах чоловіки мали вищі значення HU, ніж жінки ($p < 0,0001$) (рис. 1) [3-5].

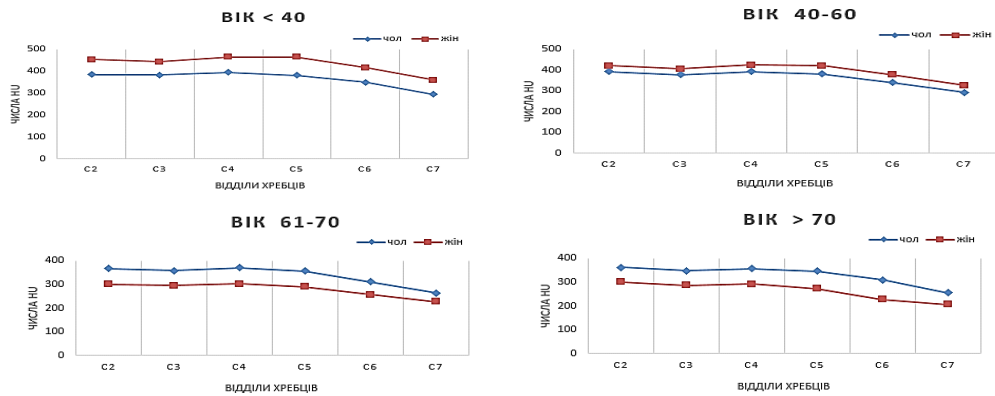


Рисунок 1. Тренд значення НУ хребців С2-С7 за віком та за статевими ознаками

Необхідність створення інструментів для оцінки індивідуальних параметрів кісткових структур на основі КТ полягає в тому, що порівняння зі шкалою нормативних значень є необхідним етапом у процесі отримання комплексної оцінки кісткового стану людини та виявлення ранніх ознак системних порушень та локальних патологічних уражень кісток. Запропонований підхід дозволяє розробляти ефективні засоби для моніторингу та діагностики кісткових захворювань та запобігання розвитку серйозних захворювань. Для цього необхідно розробити алгоритми, які базуються на порівнянні з нормативними значеннями та можуть бути використані в клінічній практиці [3-5].

Список використаних джерел:

1. Buenger, F., Sakr, Y., Eckardt, N. et al. Correlation of quantitative computed tomography derived bone density values with Hounsfield units of a contrast medium computed tomography in 98 thoraco-lumbar vertebral bodies. *Arch Orthop Trauma Surg* 142, 3335–3340 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00402-021-04184-5>
2. Zhiqiang W., Zaowei Z., Haoyu F., et al. The impact of disease time, cervical alignment and range of motion on cervical vertebral Hounsfield unit value in surgery patients with cervical spondylosis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research* volume 18, 187 (2023) <https://doi.org/10.1186/s13018-023-03675-y>
3. Метакарпальні індекси в об'єктивізації остеопорозу / О. П. Шармазанова, Л. О. Авер'янова, В. М. Головенко, О. І. Скляр // Променева діагностика, променева терапія.– 2002. – Вип.11.– С.97-106.
4. Авер'янова Л.О., Шармазанов С.А. Спеціалізовані програмні засоби для моніторингового дослідження стану кісткової системи населення // Радіотехніка: Всеукр. міжвід. наук.- техн. зб. 2001. Вип.120. С.206-209
5. Авер'янова Л.О., Скляр О.В., Шармазанова О.П. Автоматизоване визначення діаметру медулярної порожнини трубчастої кістки за її рентгенограмою // Електроніка и связь. 2000. Т.2, №8. С.291-292.

УДК 621.38:[621.38-025.53+621.38-022.532]

АЛГОРИТМИ ПРОХОДЖЕННЯ КОНТУРУ НА КРІОМІКРОСКОПІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Самохін Ю.В.

Науковий керівник – д.т.н., проф. Аврунін О.Г.

Харківський національний університет радіоелектроніки, кафедра БМІ,
м. Харків, Україна

тел. +38(099) 722-56-64, e-mail: yurii.samokhin@nure.ua

This work is about contour traversal algorithms, modern methods of image processing are developed for automated analysis of micropreparations, but they do not take into account the specifics of the analysis of cell images when performing the corresponding ones cryoprotocols. And the study of cells and the process of their cryopreservation is very much topical topic of modern reparative medicine. Thus, development and research of new methods and means of cryomicroscopic analysis images is a demanding and urgent task.

Підходи кріомедицини зараз використовуються у різних галузях, зокрема у нейрохірургії [1, 2]. Під час проведення аналізу кріомікроскопічних зображень важливу роль відіграє аналіз форми досліджуваного мікрооб'єкта [3, 4]. Зокрема, зміна форми у мікрооб'єкта може сигналізувати про його перехід з одного стану в інший. В природі форму мікрооб'єкта визначають стінки клітини та стан внутрішніх структурних елементів клітини. Границя об'єкта – це частина об'єкта, яка містить велику кількість інформації про форму об'єкта та слабо залежить від кольору та текстури зображення. Контури мікрооб'єктів можна розділити за такими критеріями: типом зв'язності, структурою та формою. Виділення контуру може відбуватись двома шляхами: підкресленням границь мікрооб'єкта шляхом фільтрації вхідного зображення, або проходження внутрішнім контуром однорідної області. Основні алгоритми виділення границь мікрооб'єкта такі: алгоритм змії, алгоритм Кенні, фільтрації на основі операторів Собеля, Лапласа, Превіта та інші [5, 6]. На даний час відомі такі алгоритми проходження контуру:

1) Алгоритм „жука” (SquareTracingAlgorithm), основною перевагою якого є простота, яка заснована на двох простих правилах: якщо значення активного пікселя дорівнює одиниці (він належить об'єкту), то проводиться поворот ліворуч, в іншому випадку, коли значення активного пікселя дорівнює нулю, проводиться поворот праворуч. Алгоритм зупиняє свою роботу при поверненні до стартової точки.

2) Алгоритм „Moore-NeighborTracing” базується на покроковій перевірці всіх сусідніх точок з метою знаходження наступної контурної точки та зупинки роботи при його поверненні в стартову точку.

3) Алгоритм „RedialSweep” є модифікацією попереднього. Основна його відмінність полягає в точці початку обходу активного пікселя – це

точка, що була визнана контурною на попередньому кроці алгоритму, а не точка з якої відбувся перехід на активний піксель.

4) Алгоритм „Theo Pavlidi’s Algorithm” – основною ідеєю якого є використання групи з трьох пікселів для визначення наступного контурного пікселя. Перевірку здійснюють шляхом послідовної перевірки сусідніх точок з строго визначеною послідовністю. Практично для кожної мови програмування існують бібліотеки з реалізованими алгоритмами.

Основним їх недоліком є залежність від складності контуру та критерію зупинки. Алгоритми чутливі до мікрооб’єктів, контур яких містить відгалуження товщиною в один піксель. Це може привести як до помилкового завершення роботи алгоритмів, так і до некоректного виділення контуру. Аналогічна проблема може виникнути, якщо мікрооб’єкт складається з двох і більше частин, що з’єднані між собою тільки одиночними пікселями. Інший недолік алгоритмів полягає у недосконалих критеріях зупинки (повернення в стартову точку, проходження певної точки декілька разів), що призводять до некоректних результатів роботи. Тому, перспективою роботи є дослідження даних алгоритмів щодо можливості їх використання при обробці кріомікроскопічних зображень.

Список використаних джерел:

1. Сипитый В.И. Криохирургическое лечение тяжелых форм невралгии тройничного нерва В.И. Сипитый, Н.Ф. Посохов, В.А. Пятикоп. - Х.: Основа, 1995. - 112 с.

2. Пятикоп В.А., Щегельская Е.А., Микулинский Ю.Е., и др. Восстановление структурно-функциональных параметров у крыс с криогенной травмой головного мозга после трансплантации клеток стромы костного мозга, индуцированных в нейробласты. Проблемы криобиологии. 2005; 15(3): 449– 51.

3. Аврунин О. Г. Опыт разработки биомедицинской системы цифровой микроскопии / О. Г. Аврунин // Прикладная радиоэлектроника. – 2009. – Т.8. – № 1. – С. 46-52.

4. Автоматизированный анализ криомикроскопических препаратов / С.Ю. Масловский, А.С. Масловский, О.Г. Аврунин, Б. Глассмахер // Галицький лікарський вісник.– 2013.– Т. 20, № 1 (2).– С. 60-61.

5. Батько Ю.М. Комп’ютерна система аналізу біомедичних зображень / О. М. Березький, Ю. М. Батько, Г. М. Мельник // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп’ютерні науки та інформаційні технології. – 2009. – № 650. – С. 11–18.

6. Шамраева, Е.О. Построение моделей черепных имплантов по рентгенографическим данным / Е.О. Шамраева, О.Г. Аврунин // Прикладная радиоэлектроника. – 2005. – Т. 4, № 4. – С. 441–443.

УДК 61:621.397

АНАЛІЗ НАЯВНИХ ТЕЛЕМЕДИЧНИХ СЕРВІСІВ НАДАННЯ МЕДИЧНИХ ПОСЛУГ

Любивая О.А.

Науковий керівник – к.т.н. доцент Селіванова К.Г.

Харківський національний університет радіоелектроніки, кафедра
біомедичної інженерії, м. Харків, Україна

oleksandra.liubyvaia@nure.ua

Telemedicine is a method of treating patients at a distance and in conditions where they cannot leave their homes for various reasons. The global pandemic, quarantine conditions, the war in Ukraine, and the implementation of measures to ensure the safety of staying in bomb shelters during threats have led to the growth of telemedicine services and the development of new information technologies.

Телемедицина – це спосіб допомогти пацієнтам на відстані та в умовах, коли не має змоги бути у лікаря на прийомі із-за різних причин [1]. Світова пандемія, впроваджені карантинні умови, війна в Україні і реалізація заходів щодо безпечності перебування у бомбосховищах під час загроз, призвело до зростання сервісів телемедичних послуг і розвитку нових інформаційних технологій [1]. Так, якщо до початку світової пандемії для багатьох лікарів телемедицина була додатковою послугою, яку зовсім не обов'язково використовувати, то сьогодні, в умовах повномасштабної війни, вона перетворилася на суттєву частину надання медичних послуг населенню. Наприклад, як повідомляє найбільша у США платформа телемедицини Teladoc, щотижня в цій країні здійснюється понад 100 тис. віртуальних візитів до лікарів. Подібні програми телемедичної допомоги сприяють у боротьбі з поширенням коронавірусної інфекції COVID-19 і в інших світу, таких як Норвегія, Японія та інші [2]. Основна частина телемедичних консультацій в Україні надавалася у форматі "сімейний лікар – фахівець", то зі спалахом пандемії розробники медичних інформаційних систем буквально за кілька місяців запропонували співвітчизникам нові безкоштовні можливості для онлайн-спілкування пацієнтів з лікарями. Наприклад, медична інформаційна система "Поліклініка без черг" надає змогу отримати дистанційну консультацію пацієнту, вибравши в системі "онлайн-прийом". Після цього в зазначений час він повинен зайти в особистий кабінет і, таким чином, "потрапити" на прийом в аудіо- або відеоформаті [3]. Також розширилися безкоштовні послуги, які пропонують українцям медичні мобільні додатки. Наприклад, додаток Doctor Online, створений в партнерстві з мобільним оператором "Київстар", крім онлайн консультації лікаря, дозволяє своїм користувачам отримати направлення на додаткові аналізи та отримати їх розшифровку, записатися в лабораторію, замовити доставку ліків та запланувати в календарі графік прийому медикаментів. 15 квітня 2023 року за ініціативи Асоціації анестезіологів України та при підтримці Міністерство охорони здоров'я було запущено онлайн-платформу, де реаніматологи та анестезіологи можуть

консультуватися з більш провідними колегами [3-5]. В Україні були впроваджені ще такі телемедичні сервіси надання безкоштовних медичних послуг пацієнтам. Телемедична система Medinet дозволяє фіксувати, збирати статистику та робити аналітику, пов'язану з консультаціями щодо захворюваності на коронавірусну інфекцію COVID-19. Це є важливим для формування загальної картини перебігу пандемії та розробки подальших протиепідемічних заходів в Україні. У березні 2020 року в Україні стартувала безкоштовна для пацієнтів Telemed24 на базі РІМС «Медстар». Також бкув запущений медичний чат-бот «Лікар Іван Маск медбот» - медичний чат-бот, який був верифікований Міністерством охорони здоров'я України, це допоможе отримати інформацію про статистику щодо захворювання COVID, порадить як правильно діяти, щоб захистити себе і близьких в умовах карантину: гігієни, імунітету, застосування масок та ментального здоров'я. Таким чином, активне впровадження і удосконалення телемедичних сервісів надання безкоштовних медичних послуг українцям в умовах пандемії та війни є актуальним науковим напрямом розвитку сучасної медицини і галузі біомедичної інженерії [1-5].

Список використаних джерел:

1. Аврунін, О. Г., Носова, Я. В., Селіванова, К. Г., Тимкович, М. Ю., & Гнатенко, О. С. (2020). Biomedical technologies and means for the analysis of the recovering of the functions of the deep brain structures during rehabilitation COVID-19 patients.

2. Селіванова К. Г. Проектування телемедичної системи об'єктивізованої оцінки тремору рук із зовнішнім кінестетичним впливом / К. Г. Селіванова, М. Ю. Тимкович // Медико-психологічні та інформаційні аспекти реабілітації і абілітації людини. Збірник наукових праць за загальною редакцією Заслуженого лікаря України, професора О.А. Панченка. Київ. КВІЦ, 2020. – 344 с. – С. 255-257.

3. Особливості формування навчального 3d-контенту / О. Г. Аврунін, Я. В. Носова, К. Г. Селіванова, Г. П. Грохова, О. Ю. Прісич / Автоматизація, електроніка, інформаційно-вимірювальні технології: освіта, наука, практика : матеріали IV Міжнарод. наук.-техн. конфер., 01- 02 грудня 2022 р. / Г.В. Лісачук (голова оргком.) X. 2022 - С. 3-4.

4. Семеренко Ю. О. Можливості використання сучасних графічних бібліотек у спеціалізованих онлайн-віртуальних імітаційних тренажерах / Ю. О. Семеренко, К. Г. Селіванова // XXIV Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті». Зб. матеріалів форуму. Т. 1. – Харків: ХНУРЕ. 2020. – 216 с. – С. 179–180.

5. Кабанцева А. В. Інтерактивні методи медико-психологічної реабілітації дітей, які зазнали впливу воєнних дій / А. В. Кабанцева, К. Г. Селіванова // Радіоелектроніка та молодь в XXI столітті : матеріали 26-го Міжнародного молодіжного форуму, 19-21 квітня 2022 р. – Харків : ХНУРЕ, 2022. – Т. 1. – С. 71-73

Секція 3

Фотоніка. Лазерна та оптоелектронна техніка.

Керівник секції

Доктор фізико-математичних наук,
професор кафедри Фізичних основ електронної техніки
Курський Юрій Сергійович

Координатор секції

Кандидат фізико-математичних наук,
старший викладач кафедри Фізичних основ електронної техніки
Кухтін Сергій Михайлович

Тематичні напрямки:

1. Фізичні принципи фотоніки.
2. Лазери та лазерні системи, оптоелектронні пристрої, у тому числі на базі фотонних кристалів.
3. Елементна база оптичних комп'ютерів.
4. Розвиток принципів побудови тримірних динамічних голограм.
5. Розвиток оптичних систем з використанням НВЧ пристроїв.
6. Квантова інформатика.
7. Квантові принципи і прилади інформаційно-вимірювальних систем.

УДК 621.373.826:539.122

МАРКУВАННЯ ТА ГРАВІРУВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛАЗЕРА

Корсун Г. А.

Науковий керівник – к. т. н., доц. Афанасьєва О.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки каф. ФОЕТ,

м. Харків, Україна

тел. +38 (095) 643-11-21, e-mail: hryhorii.korsun@nure.ua

Different processes for processing materials with laser modifications on the basis of any possible faster preparation of the final product were considered. All methods work on pulsed lasers. These methods do not use inks, pigments, powders, or anything like that. Such marking methods, with the help of lasers, have high quality and very good resolution of the mark, drawing, engraving.

Лазерні технології широко використовуються в промисловості, науково-технічних дослідженнях, медицині, біології та інших галузях.

Їх використовують для багатьох різновидів технічних та технологічних операцій, серед яких особливе місце посідають операції з обробки різноманітних матеріалів [1-4].

В даній роботі розглядаються методи маркування та гравірування матеріалів за допомогою лазерного пристрою.

Відомі три методи маркування лазерами:

- нанесенням покриття(наноситься оксидна плівка);
- карбонізація (відбувається потемніння матеріалу);
- спінювання (під час цього процесу виникає полімерна піна, яка містить маленькі бульбашки газу. Вони змінюють відбиття світла, та завдяки цьому оброблена ділянка стає набагато світлішою та вищою.).

Саме ці три методи найчастіше використовуються в лазерному маркуванні для конструкційних матеріалів або обробки тонких плівок чи поверхні матеріалів в мікроелектроніці.

Зокрема, на рис. 1 представлено схему нанесення покриття на матеріал, тобто один з варіантів маркування. В цьому випадку під дією лазерного випромінювання формується оксидна плівка, товщина якої може варіюватися досить сильно.

Колір цієї плівки залежить від визначених фізичних чинників, але найчастіше він є синім.

Розрізняють кілька методів лазерного гравірування:

- гравірування з видаленням верхнього шару;
- гравірування твердого матеріалу або різання.

Товщина гравірування залежить від застосованої потужності лазерного випромінювання, від фізичних властивостей вибраного матеріалу, а також від режиму обробки матеріалу.

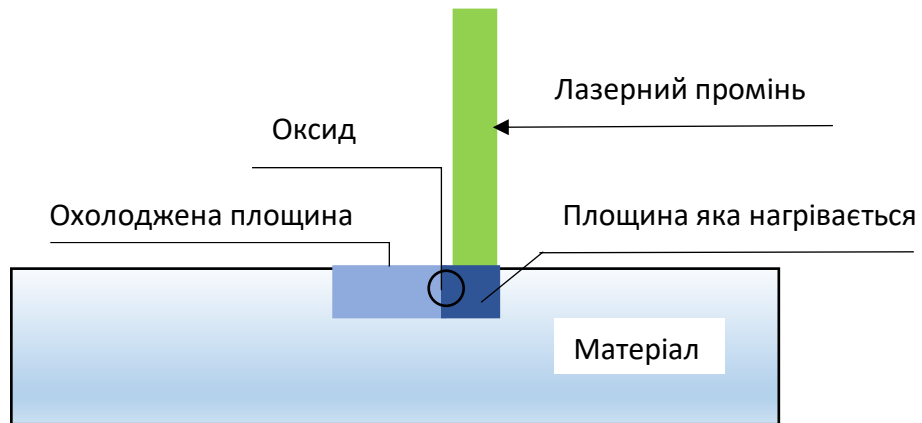


Рисунок 1 – Маркування нанесенням покриття (утворення оксидної плівки).

В основі лежить імпульсний лазер такої високої щільності, що матеріал плавиться та випаровується. Під час гравірування твердого матеріалу лазерний промінь заглиблюється, робить так звану гравюру.

Описані методи базуються на імпульсних лазерах. Вони мають велику вибірку матеріалів, яку можуть маркувати. Імпульсний режим роботи лазера забезпечує мінімальну глибину прогрівання матеріалу. Виріб виходить якіснішим.

Крім того, ці методи не використовують чорнила, порошки чи щось по типу цього. Маркування за допомогою лазерів має високу якість та дуже гарну роздільну здатність марки, малюнка, гравюри.

Список використаних джерел:

1. Афанасьєва, О.В., Лалазарова, Н.О., & Федоренко, Є.П. (2020). Лазерна поверхнева обробка матеріалів. ХНУРЕ та ХНАДУ.
2. Горный, С. Г., Емельченков, И. Р. (1990). Лазерная маркировка. В кн. Лазерная технология и ее применение в металлообработке.
3. Афанасьєва, О. В., Лалазарова, Н. А., Федоренко, Е. П. (2013). Использование лазеров малой мощности в промышленных технологиях. Радиотехника. ХНУРЕ та ХНАДУ.
4. Афанасьєва, О. В., Лалазарова, Н. О (2020). Технологія лазерного кольорового маркування сталей. ХНАДУ.
5. Сушко, К. Р., Левицький, С. М., Стронський, О. В. (2018). Лазерно-індуковані маркування в об'ємі прозорих метаріалів для запису інформації. Актуальні питання сучасної фізики, (2), 65 – 67. https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/51057/1/%2865-67%29_Sushko.pdf

ТИПОВІ КОНСТРУКЦІЇ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ ЗВ'ЯЗКУ

Рахубовський Д.О.

Науковий керівник – ас. каф. ФОЕТ Сашкова Я.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ФОЕТ
м. Харків, Україна

тел. +38(097) 86-76-21, email: danylo.rakhubovskyi@nure.ua.

This work is devoted to typical constructions of fiber-optic communication cables. We considered the definition of fiber-optic communication lines and what are their advantages over other communication lines. The main elements of fiber-optic communication cables and typical designs of VOK were also considered.

Волоконно-оптичний кабель (ВОК) – кабель, що містить одне або більше оптичних волокон (ОВ) чи пучків ОВ всередині спільної оболонки, поверх якої в залежності від умов експлуатації, може знаходитись відповідне захисне покриття. Оскільки межі механічної міцності ОВ значно нижчі ніж у струмопровідних елементів металевих кабелів зв'язку, ОВ обов'язково потрібно захищати. Для безпосереднього захисту на ОВ накладають захисні покриття. Розрізняють первинне захисне покриття та вторинне покриття. Первинне захисне покриття ОВ наноситься безпосередньо на оболонку ОВ. Первинне захисне покриття ОВ виготовлюється з лаків на акрилатній основі, причому первинне захисне покриття виготовлюється двошаровим. Первинне захисне покриття (внутрішній) шар виготовляється з м'якого акрилату. Воно забезпечує захист ОВ. Вторинне захисне покриття (зовнішній) шар виготовляється з твердого акрилату і забезпечує м'який акрилат.

Розрізняють ВОК з: вільним укладанням ОВ, жорстким буфером, стрічковими елементами.

ВОК з вільним укладанням ОВ в даний час набули найбільшого застосування. Найбільш поширеною конструкцією ВОК є конструкція, в якій ОВ укладені в захисні трубки – оптичні модулі (ОМ), які в свою чергу скручуються навколо центрального силового елемента (ЦСЕ) (рис.1). До переваг такої конструкції слід віднести простоту ідентифікації ОВ та монтажу ВОК.

Іншою конструкцією є ВОК, в якому ОВ укладаються в одній захисній трубці, більшого діаметру ніж діаметр звичайного ОМ. Ця трубка розміщується в центрі конструкції ВОК і складає його осердя (рис. 2), це так звані кабелі з центральною трубкою (ЦТ). Усі силові елементи винесені за осердя. До переваг такої конструкції слід віднести відносно малі діаметри ВОК.

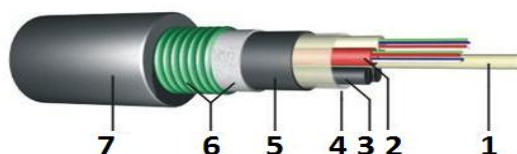


Рисунок 1. – Приклад конструкції оптичного кабелю для прокладання в кабельній каналізації та ґрунт. 1 - центральний силовий елемент
 2 - модуль з оптичними волокнами
 3 - кордель заповнення
 4 - гідрофобний заповнювач
 5 - внутрішня поліетиленова оболонка
 6 - водоблокуюча стрічка та гофрована сталева стрічка для захисту від пошкоджень кабелю гризунами
 7 - зовнішня поліетиленова оболонка

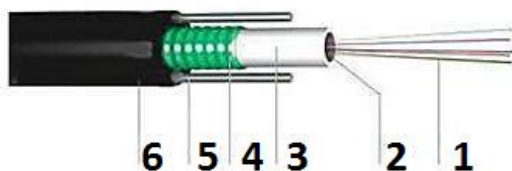


Рисунок 2 – ВОК з центральною захисною трубкою для прокладання безпосередньо в кабельній каналізації. 1 – 12-ти волоконний пакет;
 2 – гідрофобний заповнювач;
 3 – центральна захисна трубка;
 4 – сталева гофрована оболонка;
 5 – бічні силові елементи;
 6 – захисна оболонка

ВОК жорсткої конструкції використовуються у тих випадках, коли треба забезпечити малі радіуси вигину, високу стійкість до удару та розтягувальних зусиль, що й визначає їх галузь застосування всередині приміщень.

Стрічкові ВОК застосовуються у випадках коли потрібна велика кількість ОВ [4.9]. Стрічкові волоконні елементи можуть розміщуватись всередині центральної трубки, пазах профільованого елемента або в оптичному модулі. До переваг таких ВОК слід віднести можливість формувати компактні багатоволоконні пучки.

Список використаних джерел:

1. В.Б. Каток, І.Е. Руденко, П.М. Однорог (2016). Волоконно-оптичні лінії зв'язку. Київ.
2. Иоргачев Д.В., Бондаренко О.В., Дащенко А.Ф., Усов А.В. (2000) Волоконно-оптические кабели. Теоретические основы, конструирование и расчет, технология производства и эксплуатация. Одесса
3. Mahlke G., Gossing P. (1993)Fiber optic cables: fundamentals, cable engineering, systems planning. Berlin

ВОЛОКОННИЙ ГІРОСКОП

Кульбашник М.О.

Науковий керівник – д. ф.-м. н., проф. каф. ФОЕТ Одаренко Є.М.
Харківський національний університет радіоелектроніки каф. ФОЕТ,
м. Харків, Україна
тел. +38 (099) 792-98-93, e-mail: mykyta.kulbashnyk@nure.ua

The purpose of this work is to consolidate knowledge related to the main physical processes that take place in fiber gyroscopes. The structure of these devices, the principle of their operation, the main parameters and characteristics, the acquisition of practical skills for independent calculation of the real characteristics of devices and the mastering of their design methods are considered in this report.

Волоконно-оптичний гіроскоп (ВОГ) – оптико-електронний прилад, створення якого стало можливим лише з розвитком та удосконаленням елементної бази квантової електроніки. Прилад вимірює кутову швидкість та кут повороту об'єкта, на якому він встановлений. Принцип дії ВОГ заснований на вихровому (обертovому) ефекті Саньяка [1–5].

Інтерес зарубіжних та вітчизняних фірм до оптичного гіроскопу базується на його потенційних можливостях застосування як чутливого елемента обертання в інерційних системах навігації, управління та стабілізації. Цей прилад у ряді випадків може повністю замінити складні та дорогі електромеханічні (роторні) гіроскопи та тривісні гіростабілізовані платформи. Найближчим часом в США близько 50% всіх гіроскопів, що використовуються у системах навігації, управління та стабілізації об'єктів різного призначення, передбачається замінити волоконними оптичними гіроскопами.

ВОГ може бути застосований як жорстко закріплений на корпусі носія чутливого елемента (давача) обертання в інерційних системах керування та стабілізації. Механічні гіроскопи мають так звані гіромеханічні помилки, які особливо сильно виявляються при маневруванні носія (літак, ракета, космічний апарат). Ці помилки ще більш значні якщо інерційна система управління конструюється з жорстко закріпленими або «підвішеними» давачами безпосередньо до тілу носія. Перспектива використання дешевого оптичного давача обертання, який здатний працювати без гіромеханічних помилок у інерційної системи управління, є ще однією причиною особливого інтересу до оптичного гіроскопу.

ВОГ можна класифікувати по наявності та відсутності фазової модуляції (ФМ), по режиму роботи та по компонентам, що використовуються, а також по ступеню поляризації світлових хвиль, що розповсюджуються у волокні.

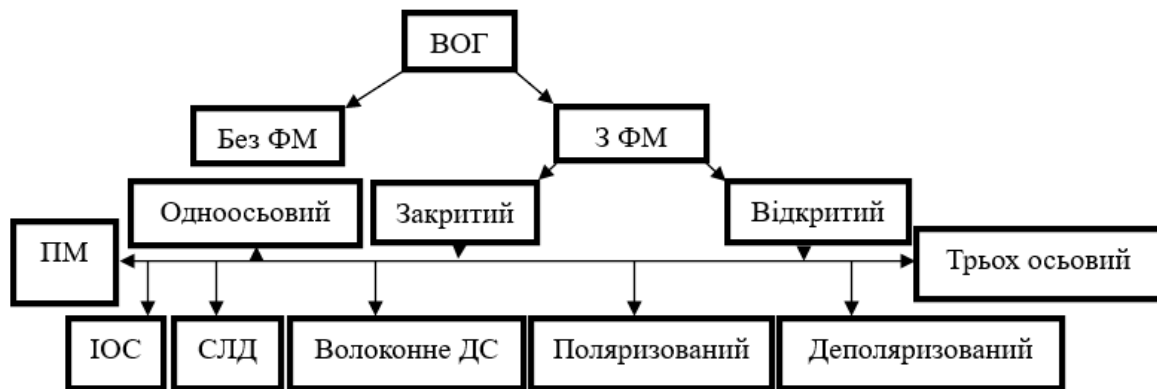


Рисунок 1. – Класифікація ВОГ

Для підвищення чутливості ВОГ при швидкостях обертання, які близькі до нуля, використовується ФМ, який представлений у вигляді п'єзокерамічного циліндра, на який намотується частина волокна. Фазова модуляція забезпечує перенесення робочої точки на круту, майже лінійну ділянку характеристики. Процес відбувається за рахунок внесення фазового зсуву між двома хвилями, що поширюються по контуру в протилежних напрямках, на $\pi/2$. Модуляція здійснюється як прямокутним так і синусоїдальним сигналом.

Основні характеристики вихідного сигналу відкритого ВОГ: велика нелінійність, фонові шуми, а також залежність від фотодетектора і зміни середньої довжини хвилі випромінювання.

Закриті схеми ВОГ використовуються для розширення динамічного діапазону і збільшення точності приладу.

Список використаних джерел:

1. Loukianov, D., Rodloff, R., Sorg, H., & Stieler, B. (Eds.). (1999). Optical gyros and their application. RTO/NATO.
2. Buret, T., Ramecourt D., Honthaas, J., Willemenot, E., Paturel, & Y., Gaiffe, T. (2006). Fiber optic gyroscopes for space application. OFS Proceedings, MC4. <http://dx.doi.org/10.1364/OFS.2006.MC4>
3. Matsko, A. B., Savchenkov, A. A., Ilchenko, V. S., & Maleki L. (2004). Optical gyroscope with whispering gallery mode optical cavities. Optics Communications, 233, 1–3, 107-112. <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2004.01.035>
4. Lefevre, H. C. (2022). The fiber-optic gyroscope. Artech house.
5. Khial, P. P., White, A. D., & Hajimiri, A. (2018). Nanophotonic optical gyroscope with reciprocal sensitivity enhancement. Nature Photonics, 12, 671–675. <https://doi.org/10.1038/s41566-018-0266-5>

СУЧАСНІ ВОЛОКОННІ ІНТЕРФЕРОМЕТРИ

Саєнко Є.О.

Науковий керівник – д. ф.-м. н., проф. каф. ФОЕТ Одаренко Є.М.
Харківський національний університет радіоелектроніки каф. ФОЕТ,
м. Харків, Україна

тел. +38 (063) 118-65-25, e-mail: yehor.saienko@nure.ua

The purpose of this report is to consolidate knowledge related to the main physical processes that take place in modern fiber interferometers, the history of their origin, the structure of these devices, the principle of their operation, the main parameters and characteristics, and their application in various fields. The main types of modern fiber interferometers, namely the Mach-Zehnder, Fabry-Perot and Michelson interferometers, are considered.

Явище інтерференції світла лежить в основі багатьох високоточних вимірювальних систем та сенсорів механічних величин. Використання оптичних волокон дозволяє зробити такі пристрої надзвичайно компактними, адаптивними та економічними. У волоконно-оптичних інтерферометрах використовуються різні функціональні можливості оптичного волокна [1-4]. Найбільш типовими вимірюваними величинами являються температура, механічне переміщення, вібрація та тиск. У відповідності до їхньої зміни в таких пристроях змінюється показник заломлення оптичного волокна, що спричиняє зміну фази світлової хвилі, яка поширюється вздовж оптичного каналу.

На даний час запропоновано амперметри на оптичному волокні з алюмінієвим покриттям, акселерометри з стисненням (або розтягом) оптичного волокна від переміщення вантажу, вимірювачі напруженості електричного і магнітного поля або електричного струму і напруги – з покриттям волокна відповідно із магнітострикційного і електрострикційного матеріалу, або з оптичним волокном, намотаним на циліндр виготовлений з цих матеріалів.

Внутрішньоволоконні інтерферометричні датчики є галуззю, що швидко розвивається, оскільки ці датчики демонструють багато бажаних характеристик порівняно зі своїми звичайними волоконно-оптичними аналогами та реалізуються в багатьох перспективних пристроях. Ці датчики мають можливість виконувати надзвичайно точні вимірювання різноманітних фізичних або хімічних величин, таких як показник заломлення, температура, тиск, кривизна, концентрація тощо.

В схемі волоконно-оптичного інтерферометра Маха-Цендера дві інтерферуючі хвилі утворюються за рахунок поділу вхідного випромінювання оптичним розгалужувачем Х-типу (ОР), яке потім знову

з'єднується іншим розгалужувачем. Структурна схема волоконного інтерферометра Маха-Цендера зображена на рис. 1.

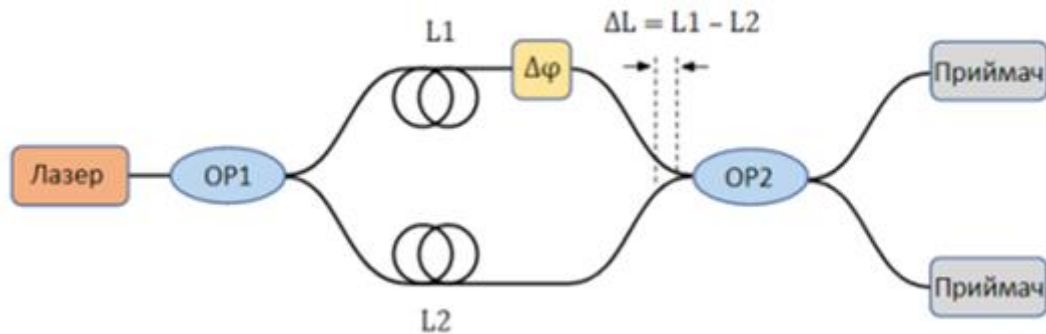


Рисунок 1 – Схема волоконно-оптичного інтерферометра
Маха-Цендера

Використовуючи оптичні з'єднувачі типу $N \times N$ з одномодовими оптичними волокнами, можна реалізувати інтерферометр з $N \times N$ кількістю оптичних трактів передачі сигналу, що дозволяє здійснювати паралельне опрацювання інформації та призводить до підвищення точності вимірювання і збільшення інформативності отриманого сигналу.

Окрім того можлива реалізація різних конструкцій інтерференційних давачів на основі оптичних волокон. Принцип інтерференційних вимірювань базується на накладанні двох або більше когерентних променів та вимірювання різниці фаз між ними.

Список використаних джерел:

1. Agrawal, G. P. (2020). Applications of Nonlinear Fiber Optics. Academic Press.
2. Mitschke, F. (2009) Fiber Optics. Physics and Technology. Springer.
3. Reza, A., Tofighi, S., Bathaee, M., Farm, F. (2012) Optical Fiber Interferometers and Their Applications. In I. Padron (Ed.), Interferometry – Research and Applications in Science and Technology (pp. 1-30). InTech.
4. Miliou A. (2021) In-Fiber Interferometric-Based Sensors: Overview and Recent Advances. Photonics, 8(7), 265. <https://doi.org/10.3390/photonics8070265>
5. Rao, Y. J., & Jackson, D. A. (2000) Principles of Fiber Optic Interferometry. Fundamentals. In K. T. V. Grattan, & B. T. Meggitt (Eds.), Optical Fiber Sensor Technology (pp. 167-191). Springer.

УДК 681.7.068

ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ДАТЧИКИ НА ОСНОВІ БРЕГІВСЬКИХ РЕШІТОК

Яшин М. В.

Науковий керівник – ас. каф. ФОЕТ Сашкова Я.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ФОЕТ
м. Харків, Україна

email: mykhailo.iashyn@nure.ua.

Fiber-optic sensor based on Bragg gratings is considered. The structure, principle of action and application are described. These sensors are capable of measuring a variety of physical parameters, such as temperature, strain, stress, pressure, etc., and they have found applications in many fields of industry, medicine, science, and ecology due to their advantages such as high measurement accuracy and the ability to work under high temperature conditions, moisture, aggressive environments and hard-to-reach places.

Волоконно-оптичні датчики на основі Брегівських решіток - це тип датчиків, які використовуються для вимірювання різноманітних параметрів, таких як температура, тиск, напруга тощо. Основним елементом датчика є оптичне волокно, на яке нанесена Брегівська решітка – структура, що містить періодичні зміни показника заломлення світла.

Будова волоконно-оптичного датчика на основі Брегівських решіток (рис.1) включає в себе оптичне волокно, на яке нанесена Брегівська решітка, та джерело світла. Світло випромінюється джерелом, поширюється по волокну і взаємодіє з Брегівською решіткою. В результаті взаємодії світла з решіткою відбувається його дифракція, що залежить від параметрів, які датчик має вимірювати. Після проходження крізь решітку, світло повертається назад по волокну до детектора, який реєструє зміну інтенсивності світла. Залежно від параметрів, що досліджуються, змінюється інтенсивність світла, яке виявляється детектором.

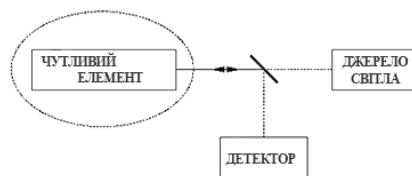


Рисунок 1 – Будова волоконно-оптичного датчика на основі Брегівських решіток

Наприклад, при зміні температури, змінюється показник заломлення світла в оптичному волокну, що впливає на дифракцію світла на Брегівській решітці. Через це змінюється інтенсивність світла, яке виявляється

детектором. За допомогою спеціальних алгоритмів обробки сигналу можна визначити значення параметрів, які досліджуються.

Застосування волоконно-оптичних датчиків на основі Брегівських решіток є досить широким. Вони використовуються в промисловості для контролю температури та тиску в складних технологічних процесах, в автомобільній промисловості для вимірювання тиску та температури в двигунах, в медицині для вимірювання температури тіла та контролю за роботою обладнання під час хірургічних операцій, в екології для вимірювання рівня забруднення довкілля та інших сферах, де необхідно контролювати різноманітні параметри.

Основна перевага волоконно-оптичних датчиків на основі Брегівських решіток полягає в тому, що вони не мають електричних контактів, тому що працюють на основі оптичної взаємодії світла з періодичною структурою Брегівської решітки. Це дозволяє використовувати їх в умовах високої температури, агресивних середовищ та електромагнітних перешкод. Крім того, вони дозволяють вимірювати параметри на відстані до кількох кілометрів без втрати точності вимірювання. Це забезпечує можливість використання волоконно-оптичних датчиків на основі Брегівських решіток в труднодоступних місцях, таких як глибоководні свердловини, трубопроводи, газові турбіни тощо. Крім того, волоконно-оптичні датчики на основі Брегівських решіток мають високу точність вимірювання, що дозволяє заощаджувати час та кошти, які були б витрачені на проведення додаткових вимірювань та контрольних операцій.

Отже, можна зробити висновок, що волоконно-оптичні датчики на основі Брегівських решіток – це досить ефективний та перспективний метод вимірювання різноманітних параметрів, який знайшов своє застосування в багатьох галузях промисловості, медицині, науці та екології. Завдяки своїм перевагам, волоконно-оптичні датчики на основі Брегівських решіток стають все більш популярними та відповідають сучасним вимогам до технічного прогресу.

Список використаних джерел:

1. Волоконно-оптичні датчики. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
http://www.laser-portal.ru/content_359
2. Волоконно-оптический датчик деформации. А. Неугодинов, В. Поспелов. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://www.electronics.ru/journal/article/692>
3. Измерительное устройство контроля деформации и температуры на основе наноразмерный волоконно-оптических датчиков. Карасик В. Е., Лазарев В. А., Неверова Н. А. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
http://ntv.ifmo.ru/ru/article/1082/izmeritelnoe_ustroystvo_kontrolya_deformacii_i_temperatury_na_osnove_nanorazmernihvolokonno-opticheskikh_datchikov.html

УДК 621.793:621.373.8

ДИЕЛЕКТРИЧНІ ТА МЕТАЛ-ДИЕЛЕКТРИЧНІ БАГАТОШАРОВІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЇ ОПТИКИ

Катасонов Д.О.

Науковий керівник – ас. каф. ФОЕТ Сашкова Я.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ФОЕТ
м. Харків, Україна

тел. +38(066) 161-56-19, email: denys.katasonov@nure.ua

Dielectric and metal-dielectric multilayer coatings are considered. These coating use in science, medicine, industry and other fields. Especially they take their place in laser systems, quantum computers, and measuring devices. Such kind of coating allows to reduce reflection and increase light transmission through glass and other materials.

Діелектричні та метал-діелектричні багат шарові покриття є ключовим елементом багатьох лазерних систем. Ці покриття дозволяють зменшити відбиття та підвищити пропускну здатність світла через скло та інші матеріали. Діелектричні багат шарові покриття складаються з нанорозмірних шарів діелектриків, які наносяться на поверхню скла або іншого матеріалу. Кожен шар має товщину в декілька нанометрів і підібрану оптимальною товщину, щоб досягнути мінімального відбивання світла від поверхні.

Метал-діелектричні багат шарові покриття, містять металеві шари, які використовуються для підвищення оптичної пропускну здатності. Металеві шари здатні поглинати світло, але тонкі діелектричні шари між ними забезпечують те, що поглинання не стає перешкодою для світла, яке проходить через покриття (рис. 1). Одним з ключових факторів, який робить діелектричні та метал-діелектричні багат шарові покриття настільки ефективними, є їхня здатність до електромагнітної інтерференції. Це означає, що при розрахунку оптичних властивостей покриття важливим є відповідність довжини хвилі світла товщині кожного шару. Це дозволяє отримати конструкцію з високою ефективністю та здатністю до зменшення втрат світла в матеріалах.

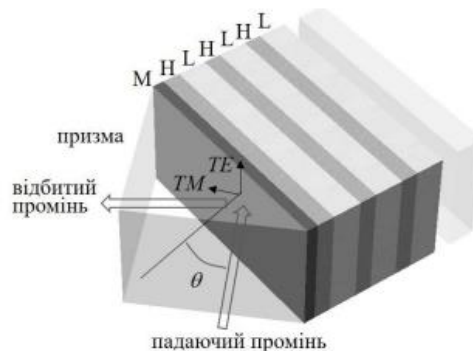


Рисунок 1 – Схема багат шарової метал-діелектричної структури ; М – метал, Н – шар з високим і L – низьким показниками заломлення.

Діелектричних та метал-діелектричних покриття використовуються для створення високоякісних лазерних дзеркал та інших елементів лазерної оптики. Ці покриття забезпечують довговічність та стійкість до високих температур та інших умов експлуатації. Окрім того, такі покриття можуть бути використані для підвищення ефективності сонячних елементів та інших фотоелектричних пристроїв. Це досягається завдяки зниженню відбивання світла від поверхні матеріалу та підвищенню його пропускну здатності. Діелектричні та метал-діелектричні багатошарові покриття також мають велику значимість у технології лазерів. Наприклад, їх використовують для створення дзеркал з високою відбивною здатністю, що забезпечує збільшення ефективності лазерів.

Також, діелектричні та метал-діелектричні багатошарові покриття використовуються в оптичних комунікаційних системах. Вони дозволяють зменшити втрати сигналу та покращити якість передачі даних.

Для створення діелектричних та метал-діелектричних багатошарових покриттів використовуються різні матеріали, такі як оксиди металів, фториди, нітриди та інші сполуки. Вибір матеріалу залежить від вимог до оптичних властивостей покриття та умов його використання. Для створення покриттів з високим коефіцієнтом пропускання світла можуть бути використані оксиди магнію та цирконію, а для підвищення ефективності поглинання світла в сонячних елементах - металеві шари, такі як алюміній та мідь.

Дослідження в області діелектричних та метал-діелектричних багатошарових покриттів продовжуються, зокрема, вивчаються нові матеріали та методи їхнього нанесення. Одним з напрямів досліджень є використання наноматеріалів для створення покриттів з покращеними оптичними властивостями.

У майбутньому діелектричні та метал-діелектричні багатошарові покриття можуть знайти застосування в різних галузях, таких як оптична електроніка, енергетика та медицина. Наприклад, вони можуть бути використані для створення нових оптичних пристроїв, які будуть забезпечувати більш точне та швидке вимірювання параметрів різних середовищ, включаючи медичні дослідження.

Список використаних джерел:

1.J. Homola, Surface Plasmon Resonance Sensors for Detection of Chemical and Biological Species, Chem. Rev. 108 (2008) 462–493. <https://doi.org/10.1021/cr068107d>.

2.R.C. Nesnidal, T.G. Walker, Multilayer dielectric structure for enhancement of evanescent waves, Appl. Opt. 35 (1996) 2226. <https://doi.org/10.1364/AO.35.002226>.

3.H.O. Alshabani, H.A. Alsharif, A.A. Alturkistani, Factors Toward The Development Of A Robust Surface Plasmon Resonance Based Sensor, (n.d.) 6.

УДК 621.373.8:004.92

ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРІВ В 3D ПРИНТЕРАХ

Перцевий А.А

Науковий керівник – д. ф.-м. н., проф. каф. ФОЕТ Одаренко Є.М.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ФОЕТ,
м. Харків, Україна

тел. +38 (050) 522-79-19, e-mail: andrii.pertsevyi@nure.ua

3D printing technologies provide new opportunities for the implementation of engineering ideas and prototyping. Considering the wide development of three-dimensional printing technologies, there is a need to analyze their work in order to identify ways to increase efficiency and eliminate shortcomings in work. This paper examines the use of lasers in 3D printers and the type of printing in which they are used. Two printing technologies using lasers are described.

У сучасному світі з його темпами розвитку з'явилася необхідність у швидкому та ефективному механізмі втілення конструкторських та інженерних ідей. Якщо в області розробки ідеї або загальної концепції технічного або технологічного рішення конструктори можуть використовувати наявне різноманіття засобів моделювання та візуалізації, то на етапі прототипування виникає проблема швидкої реалізації розробок і дослідження їх в реальному, а не віртуальному світі.

В даний час на етапі прототипування для проведення випробувань і подальшої доробки прототипу все ще застосовуються фрезерні, відливні, токарні та інші технології, часто малоефективні через великий час реалізації зразків і економічно затратні через необхідність використання дорогих верстатів і залучення високооплачуваних кваліфікованих кадрів, що різко знижує економічну ефективність проекту в цілому.

Однак інтенсивний розвиток сучасних програмних систем проектування інженерних та інших спеціалізованих конструкцій дозволяє втілювати конструкторські ідеї не тільки на рівні віртуальної моделі, але і на рівні створення готових рішень за допомогою технологій 3D-друку [1–5]. На допомогу інженерам і конструкторам прийшли адитивні технології прототипування, в процесі реалізації яких модель синтезується шляхом пошарового наплавлення або спікання шарів (в залежності від технології).

Тривимірний принтер – це пристрій, що перетворює віртуальну модель в реальну. Щоб відтворити той чи інший виріб на 3D-принтері, розробляється його віртуальний шаблон, для створення якого існує спеціальне програмне забезпечення.

Стереолітографія (SLA) – це процес адитивного виробництва, результат в якому досягається за допомогою полімеризації смоли. У SLA друку, об'єкт створюється шляхом селективного затвердіння полімерної смоли, шар за шаром, з використанням ультрафіолетового (УФ) лазерного променя.

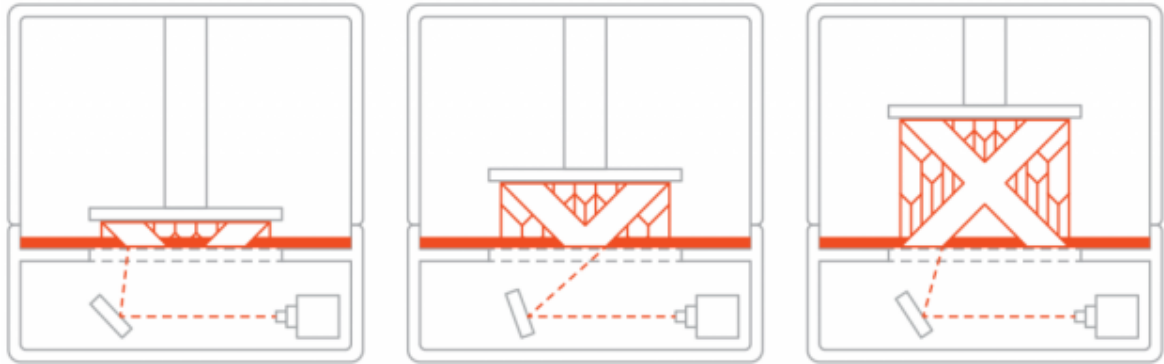


Рисунок 1 – Процес тривимірного друку за технологією SLA

Селективне лазерне спікання (SLS) – це процес адитивного виробництва, що відноситься до широкого сімейства методів синтезу на підкладці. В технології SLS лазери вибірково спікають частки полімерного порошку, сплавляючи їх один з одним і тим самим створюючи шар за шаром. Для побудови 3D-об'єкта використовують гранульовані термопластичні полімери.

Отже, технології 3D-друку надають нові можливості для реалізації інженерних ідей та прототипування. Враховуючи широкий розвиток технологій тривимірного друку виникає необхідність аналізу їх роботи з метою виявлення шляхів для підвищення ефективності та усунення недоліків в роботі.

Список використаних джерел:

1. Kelly, J. F. (2018) 3D-printing: Build your own 3D-printer and print your own 3D-objects. Que Publishing.
2. Terence O'Neill and Josh Williams (2013) 3D Printing. Cherry Lake Publishing.
3. Barnatt C. (2019) 3D-Printing: Second Edition. CreateSpace Independent Publishing Platform.
4. Joan Horvath and Rich Cameron (2015) 3D Printing with MatterControl. Apress.
5. Shlomo Magdassi and Alexander Kamyshny (2017) Nanomaterials for 2D and 3D Printing. Wiley-VCH.

УДК 535.42:621.382.029.62

КЕРУВАННЯ ДИФРАКЦІЙНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ У СИСТЕМІ З ПОДВІЙНОЮ РЕШІТКОЮ

Болтаєва К. У.

Науковий керівник – д. ф.-м. н., проф. каф. ФОЕТ Одаренко Є. М.,
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ФОЕТ
м. Харків, Україна

тел. +38(096)4761479, e-mail: kamila.boltaieva@nure.ua

A 2D computer model of diffraction radiation system was developed. The design consists of a dielectric waveguide, which is used to represent the electron beam, a metal comb and an additional dielectric grating. Angular diagrams of the power flow of diffracted radiation were obtained. The research results showed that changing the period of the additional grating leads to significant changes in the angular distribution of the electromagnetic power flow, which can be used to control the spatial distribution of terahertz diffraction radiation.

Терагерцове (ТГц) випромінювання зазвичай розуміється як електромагнітне випромінювання в діапазоні частот приблизно від 0,1 ТГц до 10 ТГц, що відповідає довжинам хвиль від 3 мм до 30 мкм [1]. Ці частоти вищі, ніж у радіохвиль і мікрохвиль, але нижчі, ніж у оптичного випромінювання. ТГц випромінювання має застосування в таких сферах, як спектроскопія, радіобачення та зв'язок. Воно може дати інформацію про властивості матеріалів, наприклад, електронні та вібраційні.

Дифракційні елементи мають великий вплив на ТГц системи, оскільки їх виготовлення дуже просте в порівнянні з оптичним діапазоном випромінювання (інфрачервоним, видимим, ультрафіолетовим тощо) [2]. Терагерцеві дифракційні оптичні елементи можна розуміти як структури, дизайн яких регулюється хвильовим підходом, що дозволяє їм бути меншими та легшими за відповідні заломлювальні структури. Найбільш популярними і відомими дифракційними елементами є решітки та дифракційні лінзи. Дифракційні решітки відіграють важливу роль у дифракційній оптиці, оскільки їх можна використовувати в спектрометрах, монохроматорах та багатьох інших оптичних пристроях. Ефект Сміта-Парселла (дифракційне випромінювання) широко відомий як джерело електромагнітного випромінювання в різних діапазонах частот [3–5]. Дифракційне випромінювання є одним з джерел ТГц діапазону. Характерною особливістю дифракційного випромінювання з огляду на його спектрально-кутовий розподіл є сильний зв'язок між довжиною хвилі, кутом випромінювання, періодом решітки і швидкістю електронів.

В даній роботі досліджується двовимірний модель дифракційного випромінювання, де електронний потік подається як діелектричний хвилевід. Для побудови моделі було використано пакет COMSOL Multiphysics. На вхід системи подається електромагнітна хвиля, яка

проходить через хвилевід. Хвиля за межами хвилеводу розсіюється на відбивній металевій гребінці. Застосування додаткової верхньої діелектричної решітки дозволяє регулювати напрям дифракційного випромінювання.

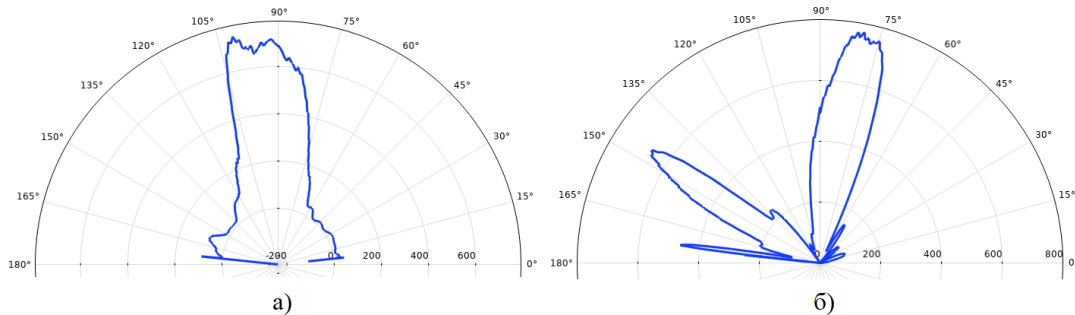


Рисунок 1 – Кутові діаграми потоку потужності дифракційного випромінювання.

На рис. 1 представлені кутові діаграми потоку потужності дифракційного випромінювання для різних значень періоду додаткової діелектричної дифракційної решітки. Коли періоди додаткової решітки та металевій гребінки співпадають, то дифракційне випромінювання спрямоване практично перпендикулярно до площини гребінки. Зміна періоду додаткової решітки призводить до суттєвих змін в кутовому розподілі потоку електромагнітної потужності. Отже, схема, що розглядається в роботі, може бути використана для керування просторовим розподілом дифракційного випромінювання в терагерцовому та субтерагерцовому діапазонах.

Список використаних джерел:

1. Dr. Rüdiger Paschotta. Terahertz Radiation, (2006). RP Photonics Encyclopedia.
2. Siemion, A. (2019). Terahertz Diffractive Optics-Smart Control over Radiation. *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, 40, 477–499. <https://doi.org/10.1007/s10762-019-00581-5>
4. Odarenko, E. N., Shmat'ko A. A., & Udintcev P. V. (2008). Physical nature of the Smith-Purcell effect and its simulation. 18th Int. Conf. "Microwave & Telecommunication Technology", Sevastopol, Ukraine, 08-12 Sept 2008. <https://doi.org/10.1109/CRMICO.2008.4676349>
5. Odarenko, E. N., Shmat'ko A. A., & Yudintcev P. V. (2010). Self-consistent theory of Smith-Purcell effect at harmonics of BWO frequency in the double-mode parametric oscillator. 20th Int. Conf. "Microwave & Telecommunication Technology", Sevastopol, Ukraine, 13-17 Sept 2010. <https://doi.org/10.1109/CRMICO.2010.5632599>

УДК 621.373.826:539.122

**КЕРОВАНА КУТОВА ФІЛЬТРАЦІЯ ОПТИЧНОГО
ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ
ГІРОТРОПНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Богданов В.С.

Науковий керівник – д. ф.-м. н., проф. каф. ФОЕТ Одаренко Є. М.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ФОЕТ
м. Харків, Україна

тел. +380660204170, e-mail: vitalii.bohdanov@nure.ua

One of the possible configurations of a spatial filter based on the one-dimensional magnetophotonic crystal with gyrotropic elements is considered. A computer model is constructed on the base of finite elements method. Controllable transformation of the point source radiation field into wave beams is investigated numerically.

Гіротропні матеріали мають анізотропні властивості, що залежать від напрямку зовнішнього магнітного поля. Такі матеріали можуть бути природними або створені штучно, наприклад, композити або кристали.

Одним з прикладів гіротропних матеріалів є метаматеріали, які складаються з мікроструктур, що забезпечують неперервний градієнт індексу заломлення. Це дає їм здатність до ефекту негативного заломлення світла [1, 2]. Важливою особливістю таких матеріалів є тензорний характер діелектричної або магнітної проникності. Наявність недіагональних елементів тензорів, які залежать від параметрів зовнішнього магнітного поля, дозволяє створювати структури для керування різноманітними характеристиками випромінювання. Зокрема, просторовими.

В роботі розглядається моделювання керованої кутової фільтрації оптичного випромінювання на основі застосування гіротропних матеріалів для формування одновимірної періодичної структури – магнітофотонного кристалу.

Вибір конфігурації таких багатошарових структур залежить від задачі фільтрації, а також від спектрального діапазону випромінювання.

Метод керованої кутової фільтрації базується на зміні властивостей багатошарового середовища в залежності від напрямку розповсюдження оптичного випромінювання. Це дозволяє здійснювати керовану трансформацію просторового розподілу інтенсивності випромінювання.

Проте, застосування гіротропних матеріалів у керованій кутовій фільтрації також має свої обмеження, зокрема пов'язані з недостатньою точністю і ефективністю фільтрації у деяких спектральних діапазонах [3, 4].

Дослідження проведено на основі побудованої двовимірної комп'ютерної моделі із застосуванням пакету COMSOL Multiphysics. Схема розрахункової області представлена на рис. 1.

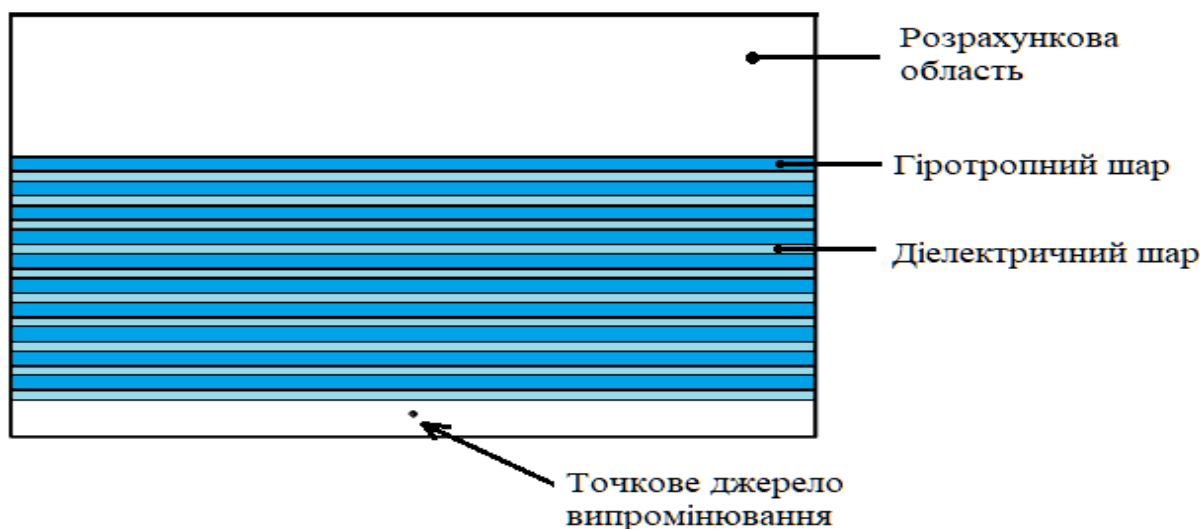


Рисунок 1 – Схема досліджуваної структури

Точкове джерело випромінювання представлено у вигляді нескінченного електричного струму, напрямок якого є перпендикулярним до площини рисунка. Таке джерело формує циліндричну хвилю. Періодична структура складається з періодично розташованих шарів діелектрика та гіротропного матеріалу.

Для визначення параметрів моделі застосовувалися результати розрахунків дисперсійних характеристик магнітофотонного кристалу методом розкладання по плоским хвилям [5].

Результати чисельних розрахунків свідчать про можливість керованого перетворення хвилі точкового джерела випромінювання в просторово-обмежені хвильові утворення, тобто, фактично, в хвильові пучки.

Список використаних джерел:

1. Sihvola, A. H., Lindell, I. V., & Zolowski, R. W. (2013). *Metamaterials in electromagnetics*. John Wiley & Sons.
2. Wang, Y., & Zhang, X. (2016). *Negative refraction metamaterials: fundamental principles and applications*. John Wiley & Sons.
3. Boardman, A.D., Engheta, N., Noginov, N.A., & Zheludev, N.I. (Eds.). (2012). *Metamaterials: Fundamentals and Applications*. Proc. of SPIE 8455.
4. Pendry, J. B. Negative refraction makes a perfect lens. (2000). *Phys. Rev. Lett.*, 85, 3966–3969. http://web.mit.edu/2.710/Fall06/promats/prl_85_3966_perfectlens.pdf
5. Shmat'ko, A.A., Odarenko, E. N., Mizernik, V. N., & Shevchenko N. G. (2020). Tunable Angular Spatial Filter Based on 1D Magnetophotonic Crystal. *IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Lviv-Slavske, Ukraine, 207-212. <https://doi.org/10.1109/TCSET49122.2020.235424>

УДК 621.373.8:613.49

ЛАЗЕРНІ КОСМЕТОЛОГІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Колесник О.В.

Науковий керівник – Курський Ю.С.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ФОЕТ,
м. Харків, Україна

тел. +38(095) 409-52-01, e-mail: oleksandra.kolesnyk@nure.ua.

This work describes the area of use of lasers in cosmetology. The influence of different temperatures on biological tissue is given. The calculation of the depth of penetration is also considered and the maximum depth of penetration into the skin is indicated. An example of a laser with three wavelengths is given.

Лазери в косметології використовуються для видалення татувань, пігментованих уражень, шліфування шкіри, видалення небажаного волосся, видалення судинних зірочок, терапія рубців, акне, шрамів.

Застосовуються газові та твердотільні лазери а саме CO₂, рубіновий , Nd:YAG, KTP, Er: YAG та олександритовий лазери.

Шкіра та її компоненти мають широкий спектр поглинання лазерного випромінювання.

Результат дії випромінювання на біологічну тканину залежить від довжини хвилі випромінювання, щільності енергії (потужності) випромінювання (W), тривалості і частоті імпульсів, часу дії, а також від фізико-хімічних і біологічних особливостей тканин (табл.1).

Табл.1 Зміна тканини при різних температур

Температура	Візуальна зміна	Біологічні зміни
37-60°C	без візуальних змін	потепління, зварювання
60-65 °C	бланшування	коагуляція
65-90 °C	білий/сірий	денатурація білка
90-100 °C	зморщування	сушіння
100 °C	шлейф диму	пароутворення, карбонізація

Ступінь термічного ефекту залежить від температури, до якої енергія лазера нагріває тканину. Умова теплової взаємодії:

$$W = 1 - 10^7 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \right), \quad (1)$$

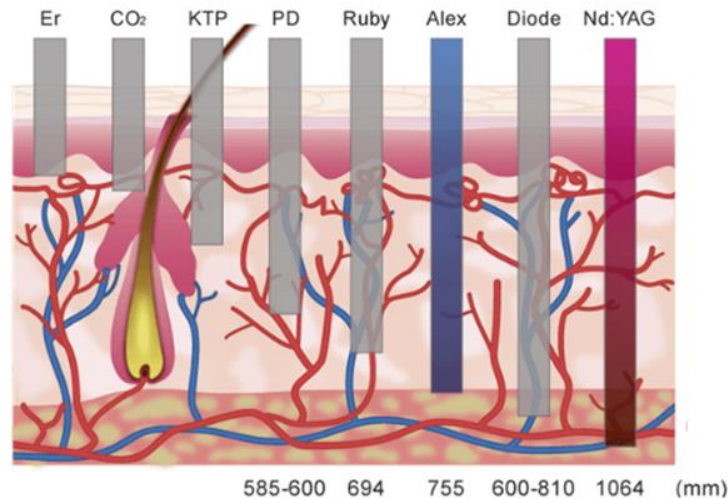


Рисунок 1 – Глибина проникнення для різних довжин хвиль

Знання глибини проникнення випромінювання на певній довжині хвилі є більш критичним для керівництва лазерною фототерапією. Ослаблення лазерного променя інтенсивністю I_0 в товщі тканини на глибині: z розраховується за виразом

$$I(z) \approx I_0 b_s \exp(-\mu_{eff} z), \quad (2)$$

$$\mu_{eff} = [3\mu_a(\mu_a + \mu'_s)]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

де μ_a - коефіцієнт поглинання, μ_s - коефіцієнт розсіювання b_s враховує додаткове опромінення верхніх шарів тканини внаслідок багаторазового зворотного розсіювання та повного внутрішнього відбиття на межі тканина/навколишнє середовище. Для тканин $b_s = 1-5$ при діаметрі променя 1-20 мм глибина проникнення світла в тканину становить:

$$l_e = l_d [\ln \ln b_s + 1]. \quad (4)$$

Дослідження показують що максимальна глибина проникнення у шкіру складає 3,5 мм для довжини хвилі 1090 нм. На довжинах хвиль 600, 633, 660, 700, 750, 800, 850 і 900 нм глибина проникнення складає відповідно 1,5, 1,7, 1,8, 2,0, 2,2, 2,3, 2,4 і 2,5 мм.

Для виконання різноманітних косметологічних завдань створюються лазерні системи які оснащені лазерами що генерують у декількох діапазонах, прикладом є пікосекундний Nd:YAG-лазер який включає три довжини хвилі, 532 нм – 1064 нм – 694 нм, високу пікову потужність (до 1,8 ГВт) та чотири режими випромінювання (пикосекундний, q-switched, оптипульс, фото-тепловий), щоб поєднати максимальні робочі характеристики з найширшим спектром косметологічних процедур.

Список використаних джерел:

1. Тихорук Д. В. Збірка статей про лазерну та косметологічну техніку компанії "Медікалазер", частина 1. Київ, 2019. 84 с.

2. Курський Ю.С., Кальна О.О. Фемтосекундна оптична томографія Метрологія та прилади. №2, 2020, с. 57-60.

УДК 621.373.826:539.122

ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНИХ ДОПЛЕРІВСЬКИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВІБРОМЕТРІЇ

Сологуб М.К.

Науковий керівник – д. ф.-м. н., проф. каф. ФОЕТ Одаренко Є. М.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ФОЕТ
м. Харків, Україна

тел.+380665063229 e-mail: mykyta.solohub@nure.ua

A variety of uses for the Doppler effect, its application in practice and theory, are considered. Changing the frequency and, accordingly, the wavelength of the radiation are perceived by the observer (receiver) due to the movement of the radiation source relative to the observer. Basics of the self-mixing laser Doppler vibrometry are considered. This technique is used for miniaturization of the laser Doppler vibrometry systems.

Лазерна доплерівська вібретрія (ЛДВ) може бути реалізована на різних платформах фотонних інтегральних схем, доступних сьогодні. Найпопулярніші платформи включають кремній на ізоляторі, GaAs, InP, ніобат літію, планарну світлохвильову схему на основі кремнезему, нітрид кремнію та полімери [1–5]. На цих платформах світло не поширюється у вільному просторі, а спрямовується за допомогою дуже компактних одномодових хвилеводів. Типовий розмір поперечного перерізу хвилеводу становить 450×220 нм. Ці невеликі хвилеводи можна зігнути до дуже малого радіуса без значних оптичних втрат. У результаті площа інтегральних схем може бути значно зменшена.

В даній роботі розглядається застосування лазерних доплерівських технологій для формування удосконалених компактних вібретрів. Наразі розробляються кілька шляхів такого удосконалення. Одним з найбільш перспективних представляється застосування ЛДВ із самозмішуванням.

ЛДВ із самозмішуванням використовує техніку інтерференції, відмінну від стандартної ЛДВ. Техніка називається лазерною інтерферометрією зі зворотним зв'язком або інтерферометрією з оптичним зворотним зв'язком. Типовий датчик ЛДВ із самозмішуванням має простішу конфігурацію порівняно зі стандартним. Він складається лише з двох основних компонентів (рис. 1): лазерного діода та фотодіода, який розміщується поруч із лазером і детектує його оптичну потужність.

При вимірюваннях лазерний промінь від вібретра спрямовується на мішень, а відбите від неї світло знову повертається в лазер. В результаті відбувається збурення в резонаторі лазера, що призводить до зміни параметрів лазера, які можуть бути виміряні за допомогою фотодіоду. Наприклад, оптичної потужності.



Рисунок 1 – Типова конфігурація самозмішувального ЛДВ.

Однак сигнали, отримані приймальним пристроєм вібрметра із самозмішуванням набагато складніші, ніж сигнали стандартних ЛДВ пристроїв. Одним з характерних явищ самозмішувальної системи ЛДВ є залежна від напрямку розповсюдження сигналу форма зуба пилки в контрольному сигналі.

Слід зазначити, що режим роботи ЛДВ із самозмішуванням багато в чому визначається рівнем оптичного зворотного зв'язку в системі. Зазвичай використовуються три режими роботи таких пристроїв, які характеризуються слабким, помірним та сильним оптичним зворотнім зв'язком. При подальшому підвищенні потужності відбитого від мішені сигналу система не може працювати в режимі із самозмішуванням. Для роботи в цьому режимі потужність відбитого сигналу повинна бути зменшена більш ніж на 35 дБ відносно первинного сигналу, що подається на досліджуваній об'єкт.

Список використаних джерел:

1. Drain, L. E. (1980). *The Laser Doppler Technique*. John Wiley & Sons.
2. Valisuo, P. (2015). Optical methods for assessing skin flap survival. In I. Meglinski (Ed.), *Biophotonics for Medical Applications* (pp. 331–346). Woodhead Publishing Series in Biomaterials.
3. Li, Y., Dieussaert E., & Baets, R. (2022). Miniaturization of laser Doppler vibrometers—A Review. *Sensors*, 22(13), 4735. <https://doi.org/10.3390/s22134735>
4. Smit, M. (2019). Past, present, and future of InP-based photonic integration. *APL Photonics*, 4(5), 050901. <https://doi.org/10.1063/1.5087862>
5. Li, Y., & Baets, R. (2013). Homodyne laser Doppler vibrometer on silicon-on-insulator with integrated 90 degree optical hybrids. *Optics Express*, 21(11), 13342-13350. <https://doi.org/10.1364/OE.21.013342>

УДК 621.373.826:539.122

МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПУЧКІВ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Стрілець І. О.

Зав.каф.ФОЕТ, кандидат фізико-математичних наук, доцент Гнатенко О. С.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна
тел. +380990287292, e-mail: ivan.strilets@nure.ua

Laser technology includes devices (devices, installations) that use laser radiation to implement their functions. In the work, the questions regarding the use of physical optical propagation in Opticstudio, the computer package for modeling rays - ZEMAX Opticstudio were considered. Work was carried out on setting up the Gaussian source in OpticStudio, using: sequential beams, non-sequential beams, paraxial Gaussian beams, propagation of physical optics. Research methods are analytical, numerical and experimental using the Physical Optics Propagation (POP) tool in OpticStudio (Zemax).

Технічні характеристики лазерних приладів у значній степені визначаються властивостями лазера як джерела випромінювання. Тому при виборі конкретного лазера з їх різноманіття першорядне значення набуває знання параметрів і характеристик, що описують властивості лазера. Питання про моделювання параметрів та характеристик лазера як джерела випромінювання є важливим розділом курсу, засвоєння якого необхідне для ефективного застосування лазера в приладі. Потрібно розуміти під параметрами ті величини, які можна виразити числом, а під характеристиками – залежність параметрів одного від іншого, і навіть поняття, які характеризують роботу лазера [1].

Метою даної роботи є дослідження моделювання параметрів пучків лазерного випромінювання у Zemax/Opticstudio. Представлений інструмент Physical Optics Propagation (POP) у OpticStudio (Zemax), який розповсюджує електричні поля у вільному просторі, представляє собою засіб перегляду файлів променя, який використовується для перевірки фази та інтенсивності променя на кожній поверхні [1]. Представлено дволінзову систему. Перша лінза колімує промінь, а друга лінза фокусує промінь. Обидві лінзи є асферичні синглети, які несуть асферичний член r^4 для корекції сферичної аберації. У колімованій частині променя є невелике центральне затемнення. Довжина хвилі для системи встановлена на 1 мкм [2]. Під час роботи необхідно дотримуватися певного плану. Виміряли різницю оптичних шляхів для двох променів поблизу краю променя, що розділені невеликою відстанню у зіниці, де відбувається зміна фази. Крім того, важливо обчислити кількість пікселів, що буде потрібна для вибірки зміни фази між двома променями. Для розрахунку загальної кількості пікселів, помножимо на повний діаметр.

Розрахунок передбачає, що нам потрібні 4 пікселі на 1 хвилю оптичної різниці ходу. Розрахунок по повній зіниці показує, що потрібна сітка розміром 38 000 пікс× 38 000 пікс.. Для 2 пікс на 1 хвилю оптичної різниці ходу, що менше, ніж дійсно необхідно, знадобиться розмір сітки 16 000 пікс × 16 000 пікс. Для зберігання одного масиву такого розміру потрібно 4,3 ГБ оперативної пам'яті. Щоб отримати додаткову інформацію, виконаємо пошук «Вимоги до пам'яті» у довідкових файлах OpticStudio [3]. Розрахунки такого розміру можуть бути неможливі, залежно від апаратного забезпечення комп'ютера, або можуть зайняти занадто багато часу. Однак для багатьох швидких систем підходить алгоритм Fibre Coupling на основі променів і POP не потрібний. Для більшості систем оптоволоконного сполучення дифракційні ефекти від країв лінз не є суттєвими. У цьому випадку використаємо розрахунки зчеплення на основі променів [4]. Physical Optics Propagation – це всеосяжна модель усіх системних аберацій що дозволяє дуже детально вивчати довільні оптичні промені. Промені є швидким і ефективним способом моделювання лазерних променів. Параксіальний аналіз гауссового пучка також дуже швидкий у обчислювальному відношенні. Цей інструмент забезпечує легкий доступ до ідеальних характеристик гауссового променя, таких як дивергенція, діапазон Релея, розмір звуження, розмір променя тощо. Промені є швидким і ефективним способом моделювання лазерних променів. Параксіальний аналіз гауссового пучка також дуже швидкий у обчислювальному відношенні. Цей інструмент забезпечує легкий доступ до ідеальних характеристик гауссового променя, таких як дивергенція, діапазон Релея, розмір звуження $1/e^2$, розмір променя тощо.

В роботі було виконано: Моделювання та оптимізація параметрів та якості пучка випромінювання, що проходить через лінзову систему. Моделювання лазера параметрів лазерного пучка з лінзовою збіркою. Виконані в роботі завдання сприяють якісному дослідженню параметрів лазерного випромінювання для проектування лазерних пристроїв метрологічного призначення.

Список використаних джерел:

1. Гнатенко А. С., Мачехин Ю. П. Устойчивость режима генерации волоконного кольцевого лазера. Радиотехника. 2014. № 178. С. 48–51.

2. Гнатенко О. С., Жданова Ю. В. Моделювання лазерних прецизійних інформаційно-вимірювальних пристроїв. 10-та Всеукраїнська науково-практичної конференції молодих учених і студентів, 16-17 травня 2019 р. м. Одеса, 2019. Одеса. С. 213–214.

3. Ricklin J.C. Atmospheric turbulence effects on a partially coherent Gaussian beam: implications for free-space laser communication // Journal of the Optical Society of America A. 2002. Vol. 19, № 9. P. 1794–1802.

4. Majumdar A.K. Free-space laser communications: principles and // New York: Springer Science & Business Media, 2008. Vol. 2. 418 p.

УДК 621.373.826

ЛАЗЕРНІ АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

Білоусько М.В.

Наукові керівники – д. ф.-м. н., проф. каф. ФОЕТ Одаренко Є.М.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ФОЕТ
м. Харків, Україна

тел. +38(097) 058-92-91, e-mail: mykyta.bilousko@nure.ua

The application of laser additive technologies is considered. The degree of impact of laser radiation on the material depends on the size of the beam and the scanning speed. When a laser beam hits the surface of a material, some light is reflected, some is absorbed, and some may be transmitted, depending on the optical properties of the workpiece.

Останніми роками адитивні технології виробництва були представлені як багатообіцяючий метод виготовлення металевих деталей, оскільки вони можуть допомогти подолати загальні проблеми, пов'язані зі звичайними методами. Використовуючи адитивні технології, можна виготовляти складні деталі (наприклад, пористі каркаси, поверхні вільної форми та глибокі щілини) [1–4].

Поєднання нижчої потужності лазера та вищої швидкості його руху призводить до зменшення падаючої енергії у верхній частині деталі, що, у свою чергу, призводить до вищої швидкості охолодження, а також більш тонкої мікроструктури. І навпаки, більш низької швидкості охолодження та більш грубої мікроструктури можна досягти шляхом збільшення потужності лазера та зменшення швидкості лазерного ходу. Менша падаюча енергія, яка може бути спричинена ослабленням лазера або ефектами випромінювання, як правило, призводить до більш тонкої рівноважної морфології. Оскільки швидкість охолодження (і, отже, швидкість затвердіння) збільшується до поверхні осаду, на цій поверхні спостерігається перехід від стовпчастої до змішаної рівноважної стовпчастої мікроструктури. Таким чином, різні комбінації лазерної потужності та лазерної швидкості можуть призвести до відмінної мікроструктури, морфології та, отже, механічних властивостей.

Технології на основі порошкового шару зазвичай складаються з лазера, автоматичного пристрою для шарування порошку (наприклад, лезо, ніж або ролик), комп'ютерної системи для керування процесом і деяких додаткових механізмів (наприклад, системи захисту від інертного газу та порошку). Схема такої установки представлена на рис. 1.

У цих методах шари порошку спочатку наносяться на підкладку за допомогою леза, ножа або валика. Згодом висока потужність лазера нагріває та плавить осаджений порошок вибірково. Тривалість випромінювання лазерного променя залежить від його розміру та швидкості сканування.

Порошки, які оточують тверду область, залишаються пухкими та служать опорою для осадження наступного шару. Потім підкладка опуститься, щоб забезпечити простір для нанесення другого шару.

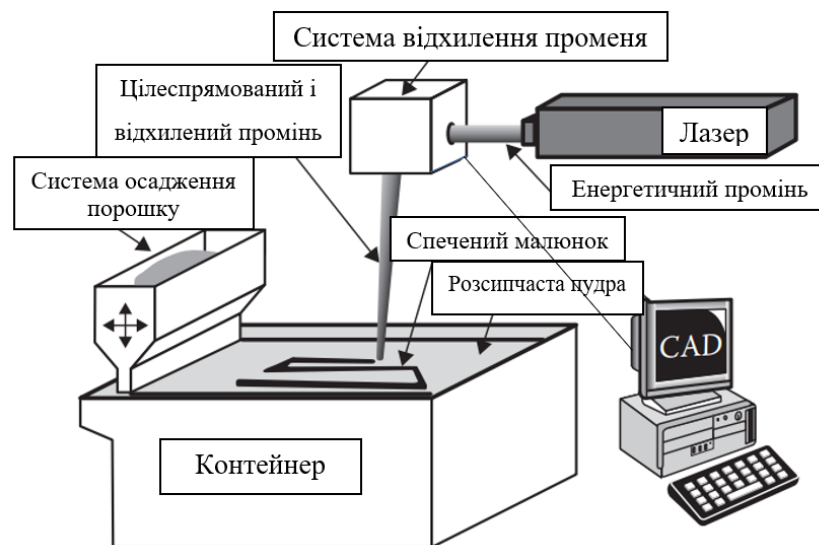


Рисунок 1 – Схема реалізації адитивних лазерних технологій.

Лазерна обробка матеріалів (зокрема металів) — це контрольований процес нагрівання, за допомогою якого лазер діє як джерело контрольованого тепла. Коли лазерний промінь потрапляє на поверхню матеріалу, будь то тверда речовина, порошок або рідина, деяке світло відбивається, частина поглинається, а частина може пропускатися, залежно від оптичних властивостей матеріалу. Частина лазерного променя, яка поглинається поверхнею матеріалу у випадку металів, перетворюється на тепло через електрофонову взаємодію, і це тепло підвищує температуру поверхні для досягнення необхідного стану плавлення матеріалу. Вихідна потужність лазера, просторовий розподіл інтенсивності випромінювання, залежність від часу (імпульсна або безперервна), діаметр променя та розбіжність променя впливають на те, наскільки добре можна контролювати промінь з точки зору швидкості, з якою енергія може бути доставлена до матеріалу, і як ця енергія розподіляється в просторі.

Список використаних джерел:

1. Bian, L., Shamsaei, N., & Usher, J. (Eds.). (2018). Laser-Based Additive Manufacturing of Metal Parts. Modeling, Optimization, and Control of Mechanical Properties. CRC Press.
2. Brandt, M. (Ed.). (2017). Laser Additive Manufacturing. Materials, Design, Technologies, and Applications. Elsevier.
3. Dongdong, Gu. (2015). Laser Additive Manufacturing of High-Performance Materials. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
4. Dahotre, N. B., Pantawane, M. V., & Sharma, S. (2022). Laser-Based Additive Manufacturing. Wiley-VCH.

УДК 621.389:539.122

ФОТОННО-КРИСТАЛІЧНИЙ БІОСЕНСОР ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ АЛКОГОЛЮ В РІДИНІ

Гонтаренко І. Ю.

Науковий керівник – д. ф.-м. н., проф. каф. ФОЕТ Одаренко Є. М.
Харківський національний університет радіоелектроніки каф. ФОЕТ,
м. Харків, Україна

тел. +38(097)7483150, e-mail: iryna.hontarenko@nure.ua

Nowadays, the demand for biosensors that can detect physiological change by means of investigating samples containing bio ingredients has been increased tremendously. There are a variety of applications, such as in medical diagnostics, drug discovery, detection of pollutants and the food industry, in which these biosensors have found their commendable utilization. The photonic and plasmonic biosensors may also be efficiently used for the degradation of organic waste from water waste to make it reusable.

Біосенсори широко застосовуються в різних сферах, наприклад, у медичній діагностиці, при відкритті нових ліків, виявленні забруднюючих речовин і харчовій промисловості та ін.

В даній роботі розглядається застосування одновимірних фотонних кристалів (ФК) як біомаркера для виявлення органічних матеріалів у воді. ФК – це багат шарові періодичні структури, які складаються з двох або більше матеріалів з різними діелектричними властивостями [1]. Вони привернули увагу дослідників своєю надзвичайною здатністю контролювати поширення хвиль завдяки унікальній властивості фотонної забороненої зони (ФЗЗ). Поширення хвиль певних частот, які лежать всередині ФЗЗ, заборонено через бреггівське розсіювання на кожній поверхні розділу. Також ФЗЗ дуже чутлива до діелектричної проникності складових структури.

Розглянутий в роботі біосенсор може виявляти такі речовини, як ацетон, етанол, метанол, пропанол, бутанол, пентанол, хлороформ і фенол. Такі біосенсори мають високу чутливість завдяки ефективній та контрольованій взаємодії електромагнітних хвиль з досліджуваними об'єктами [2]. Сенсор працює у видимій області електромагнітного спектру.

Введення дефектного шару в ФК призводить до порушення періодичності структури, що забезпечує наявність дефектного режиму високого пропускання всередині ФЗЗ структури (рис. 1). Резонанси, які відповідають дефектному режиму, можна зміщувати вправо або вліво всередині ФЗЗ шляхом зміни структурних параметрів, таких як показник заломлення досліджуваної речовини, кут падіння та товщини області дефектного шару. Щоб покращити продуктивність фотонно-кристалічних біосенсорів, використовуються різні типи складових матеріалів для розробки ФК, наприклад надпровідники, метали, діелектрики і наночастинки.

Останнім часом велика увага приділяється використанню нанокompatитних матеріалів, в які вбудовані металеві наночастинки. Фотонні

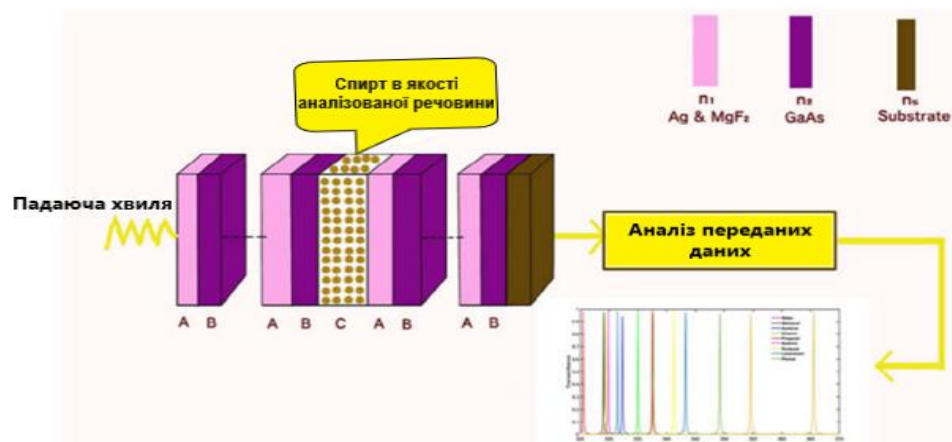


Рисунок 1 – Архітектура одновимірного датчика біоалкоголю складається з одновимірних ФК з дефектним шаром, розташованим між двома шарами В і А.

біосенсори, що складаються з металевих вбудованих нанокompatитних матеріалів, мають низьке поглинання порівняно з фотонними біосенсорними конструкціями на основі металу, де металева наносфера занурена в діелектричний матеріал для утворення нанокompatитних матеріалів. Такі ФК демонструють нові ФЗЗ в області плазмової частоти металу і дуже чутливі до характеру поляризації падаючого світла [3].

Запропоновані структури можуть бути реалізовані за допомогою техніки виготовлення покриття зануренням в додаток до методу золь-гелю (отримання золю з подальшим переведенням його в гель), оскільки процес нанесення покриття може дозволити виготовлення періодичної шаруватої структури, що складається з багатьох матеріалів, включаючи наночастинки та полімерні розчини [3].

Список використаних джерел:

1. Saasa, V., Malwela, T., Beukes, M., Mokgotho, M., Liu, C.-P., & Mwakikunga, B. (2018). Sensing technologies for detection of acetone in human breath for diabetes diagnosis and monitoring. *Diagnostics*, 8(1), 12. <https://doi.org/10.3390%2Fdiagnostics8010012>
2. Matar, Z.S., Al-Dossari, M., Awasthi, S.K., Mohamed, D., Abd El-Gawaad, N.S., & Aly, A.H. (2022). Conventional Biophotonic Sensing Approach for Sensing and Detection of Normal and Infected Samples Containing Different Blood Components. *Crystals*, 12(5), 650. <https://www.mdpi.com/2073-4352/12/5/650#>
3. Al-Dossari, M., Awasthi, S.K., Mohamed, A.M., Abd El-Gawaad, N.S., Sabra, W., & Aly, A.H. (2022). Bio-Alcohol Sensor Based on One-Dimensional Photonic Crystals for Detection of Organic Materials in Wastewater. *Materials*, 15(11), 4012. <https://doi.org/10.3390%2Fma15114012>

УДК 620.3:61

ВИСОКОДОБРОТНІ РЕЗОНАНСНІ МІКРОСИСТЕМИ ДЛЯ БІОДЕТЕКТУВАННЯ ОКРЕМИХ МОЛЕКУЛ

Герасимюк М.В.

Науковий керівник – д. ф.-м. н., проф. каф. ФОЕТ Одаренко Є. М.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ФОЕТ
м. Харків, Україна

тел. +380681004684, e-mail: mykhailo.herasymiuk@nure.ua

Optical resonant biosensors with a high quality factor are considered. The advantages of various resonator circuits for use in biosensors are shown. Particular attention is paid to the configurations of biosensors that are capable of detecting individual micro- and nanoscale biological objects. The main physical mechanisms that can be used to increase the sensitivity of resonant biosensors are considered. Various tools for modeling biosensors based on optical nanocavities are discussed.

Останніми роками відбувся величезний прогрес у розробці мікро- та нанорозмірних оптичних технологій для біодетектування, причому дослідницька діяльність головним чином зосереджена на розробці високочутливих схем виявлення різноманітних біологічних об'єктів. Чутливе виявлення біомолекул, таких як віруси, ДНК і білки, є особливо важливим для впровадження клінічних діагностичних аналізів наступного покоління. Такі аналізи, реалізовані на чіпових пристроях, замінять поточні трудомісткі та дорогі лабораторні тести.

Очікується, що ці мікрочіпи наступного покоління матимуть максимальну здатність виявляти одну молекулу, будуть інтегровані з іншими електричними та мікрофлюїдними компонентами та будуть здатні до суворого та вибіркового виявлення біомолекулярних маркерів – навіть на фоні безлічі інших видів молекул. На рис. 1 показано те, що визначається як найбільш відомі підходи: оптичні резонатори з високою добротністю, датчики плазмонного резонансу, наномеханічні резонатори та нанодротяні датчики.

У даній роботі розглядаються високодобротні схеми біосенсорів на основі оптичних резонаторів і визначаються фізичні механізми для біодетектування, які дозволяють детектувати навіть окремі молекули.

Подібно до наномеханічних [1, 2], електричних [3] і плазмонних схем, показаних на рис. 1, чутливість оптичних резонаторів змінюється обернено до розміру. Навпаки, схеми нерезонансного оптичного виявлення, такі як ті, що базуються на інтерферометрах Маха-Цендера, цього не роблять. Тому розроблення різноманітних конфігурацій мініатюрних високодобротних оптичних мікропорожнин з різних матеріалів і в різних геометріях є особливо важливим інженерним завданням.

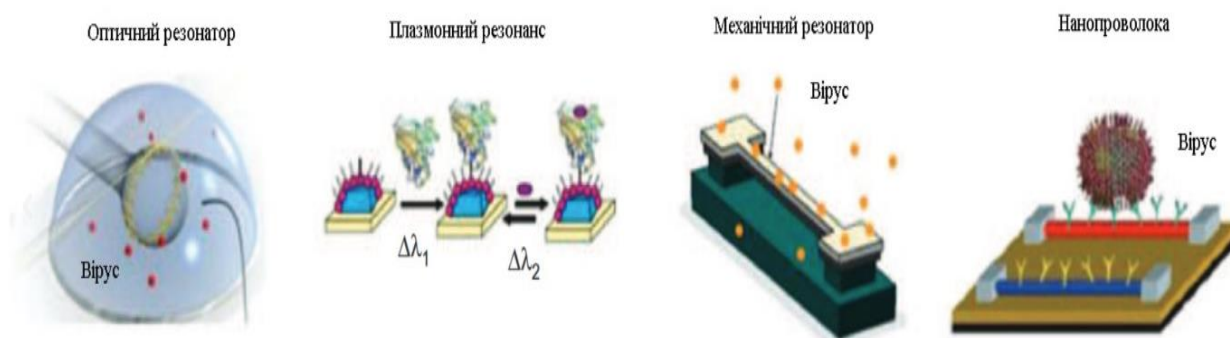


Рисунок 1 – Відомі технології мікросистемних біосенсорів окремих молекул. Зліва направо: оптичний резонатор, плазмонний резонансний біосенсор, наномеханічний резонатор і нанодротяний датчик.

Крім того, оптичні мікропорожнини, створені за допомогою нанотехнологій, є не лише одним із найбільш перспективних підходів до дослідження малорозмірних біологічних об'єктів, вони також є багатофункціональними сенсорними платформами, які дозволяють застосовувати різні механізми для визначення розміру, захоплення та маніпулювання нанооб'єктами [4].

Таким чином, дослідження різноманітних схем резонансного детектування біологічних об'єктів є важливим завданням для подальшого удосконалення конструкцій таких сенсорів та підвищення їх чутливості аж до можливості детектування окремих молекул.

Список використаних джерел:

- Arlett, J. L., Myers, E. B., & Roukes, M. L. (2011). Comparative advantages of mechanical biosensors. *Nature Nanotechnology*, 6, 203–215. <https://doi.org/10.1038/nnano.2011.44>
- Waggoner, P.S., & Craighead, H.G. (2007). Micro- and nanomechanical sensors for environmental, chemical, and biological detection. *Lab Chip* 2007;7, 1238–1255. <https://doi.org/10.1039/b707401h>
- Patolsky, F., Zheng, G., & Lieber, C. M. (2006). Nanowire sensors for medicine and the life sciences. *Nanomedicine*, 1(1), 51–65. <https://doi.org/10.2217/17435889.1.1.51>
- Yang, A. H. J., & Erickson, D. (2010). Optofluidic ring resonator switch for optical particle transport. *Lab on a Chip*, 10, 769–774. <https://doi.org/10.1039/B920006A>

Голографічні технології збереження інформації

Моруженко Д.О

Науковий керівник – Курський Ю.С.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ФОЕТ,

м. Харків, Україна

тел. +38(095) 409-52-01, e-mail: dmytro.moruzhenko@nure.ua

Голографія як технологія збереження інформації

Голографія - це технологія зберігання інформації, яка використовує світлові хвилі для створення тривимірних зображень об'єктів. У той же час кожна частина зображення зберігається на іншому шарі світлочутливого матеріалу. Таким чином, голографія дозволяє зберігати інформацію про об'єкт у трьох вимірах, забезпечуючи таким чином більш повну інформацію про об'єкт. Завдяки своїм властивостям голографія знайшла застосування в різних галузях, таких як медицина, наука, промисловість, мистецтво тощо. Зокрема, голограми використовуються для створення 3D-моделей об'єктів, що дозволяє зберігати та передавати більше інформації про них. Крім того, голографія використовується в сучасних методах зберігання даних, наприклад, на оптичних дисках. Оскільки голографічне зображення може зберігатися на дуже маленькій площі, це дозволяє зберігати великий обсяг інформації.

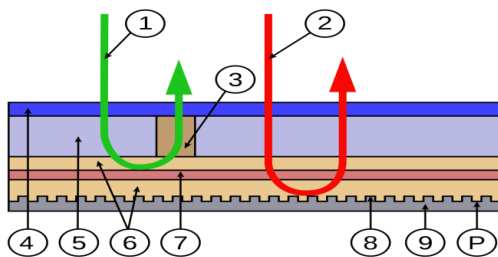
Голографія - це технологія зберігання інформації, яка використовує світлові хвилі для створення тривимірних зображень об'єктів. У той же час кожна частина зображення зберігається на іншому шарі світлочутливого матеріалу. Таким чином, голографія дозволяє зберігати інформацію про об'єкт у трьох вимірах, забезпечуючи таким чином більш повну інформацію про об'єкт. Завдяки своїм властивостям голографія знайшла застосування в різних галузях, таких як медицина, наука, промисловість, мистецтво тощо. Зокрема, голограми використовуються для створення 3D-моделей об'єктів, що дозволяє зберігати та передавати більше інформації про них. Крім того, голографія використовується в сучасних методах зберігання даних, наприклад, на оптичних дисках. Оскільки голографічне зображення може зберігатися на дуже маленькій площі, це дозволяє зберігати великий обсяг інформації в дуже малому просторі.

Таким чином, голографія є ефективною технологією зберігання інформації із застосуванням у різних областях, яка може зберігати та передавати більше інформації про об'єкти. в дуже малому просторі. Таким чином, голографія є ефективною технологією зберігання інформації із застосуванням у різних областях, яка може зберігати та передавати більше інформації про об'єкти.

Запис інформації на голографічний диск — це технологія зберігання даних, яка використовує голографію для тривимірного зберігання інформації. На відміну від традиційних технологій оптичного зберігання, які записують інформацію на поверхню диска, голографічний накопичувач записує інформацію по всьому об'єму носія запису. Це забезпечує набагато більшу

ємність, ніж традиційні оптичні методи зберігання. У голографічному накопичувачі лазерний промінь розбивається на дві частини: опорний промінь і промінь даних. Промінь даних містить інформацію, яку потрібно зберегти, і фокусується на носії запису, яким зазвичай є світлочутливий полімер. Опорний промінь спрямований на ту саму точку носія запису, але під дещо іншим кутом. Коли два промені перетинаються, вони створюють інтерференційну картину, яка записується як голограма на носії запису.

Голографічне сховище може запропонувати набагато вищу щільність зберігання, ніж традиційні оптичні методи зберігання, причому деякі прототипи можуть похвалитися ємністю до кількох терабайт. Однак комерційне впровадження цієї технології було повільним через такі фактори, як висока вартість носіїв запису та відсутність сумісності з існуючими системами зберігання. Тим не менш, голографічне зберігання залишається областю активних досліджень і розробок і може знайти застосування в таких нішевих областях, як архівне зберігання та високопродуктивні обчислення. Технологія було повільним через такі фактори, як висока вартість носіїв запису та відсутність сумісності з існуючими системами зберігання. Тим не менш, голографічне зберігання залишається областю активних досліджень і розробок і може знайти застосування в таких нішевих областях, як архівне зберігання та високопродуктивні обчислення.



Універсальна голографічна структура диска

1. Зелений лазер для писання/читання (532 нм)
2. Червоний лазер позиціонування/адресації (650 нм)
3. Голограма (дані) (тут показано коричневим кольором)
4. Полікарбонатний шар
5. Фотополімерний шар (шар, що містить дані)
6. Дистанційні шари
7. Дихротичний шар (відбиває зелене світло)
8. Алюмінієвий відбиваючий шар (відбиває червоне світло)
9. Прозора основа

Джерела Інформації

- 1.Стаття на сайті IEEE Spectrum: "Holographic Versatile Disc: The Next Big Optical Data Storage Technology?" (<https://spectrum.ieee.org/holographic-versatile-disc-the-next-big-optical-data-storage-technology>)
- 2.Стаття на сайті CNET: "Holographic storage: The next big thing?" (<https://www.cnet.com/news/holographic-storage-the-next-big-thing/>)

УДК 53.082.5:535.14

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОКУСУВАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГРАДІЄНТНОЇ ЛІНЗИ ЛЮНЕБУРГА

Цівінський В.М.

Науковий керівник – д.ф.м.н., проф. каф. ФОЕТ Одаренко Є.М.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ФОЕТ
м. Харків, Україна

тел. +38(097) 233-72-17, email: vitalii.tsivinskyi@nure.ua

This work is devoted to investigation of the focusing properties of gradient Luneburg lens. The analysis of the gradient lens is performed using a three-dimensional computer model. Incidence of the light ray bundle on the gradient spherical lens is considered. Patterns of the ray trajectories are calculated at both outside and inside gradient lens. Effect of the focal shift parameter on trajectories pattern is investigated. Developed computer model can be used for investigation of different type of gradient lenses.

Широкі використання оптичного діапазону у сучасних системах зв'язку радіолокації, медицини, технології та ін. Майже всі пристрої для управління та обробки оптичних сигналів включно лінзові елементи. Один з найбільш відомих різновидів лінз - це градієнтна лінза (1,2). Їх особливість полягає у тому, що показник заломлення матеріалів, з яких вона зроблена, змінюється в межах лінзи. Також пристрої мають незвичайні властивості. Найбільш відомі різновиди градієнтних лінз – це лінзи Люнебурга, Максвелла та Ітона-Ліпмана.

У даній роботі розглядається тривимірна комп'ютерна модель градієнтної лінзи Люнебурга, побудована з використанням пакета COMSOL Multiphysics. Використовується модуль «Геометрична оптика», що дозволяє будувати променеві траєкторії даної моделі під час проходження світла через градієнтну лінзу. Побудована у роботі модель є досить універсальною. Вона дозволяє використовувати різноманітні функції для визначення просторового розподілу показника заломлення в градієнтній лінзі сферичної форми. Лінзі Люнебурга відповідає такий просторовий розподіл показника заломлення:

$$n = \frac{1}{f} \sqrt{1 + f^2 - \left(\frac{r}{R}\right)^2}$$

де r – радіальна координата від центру лінзи, а R – радіус лінзи. Безрозмірний фокальний параметр f визначає місце розташування фокуса променів. При виконанні умови $f = 1$ фокусна точка розташована на поверхні лінзи. Такий режим є найчастіше використовуваним на практиці.

На рис. 1 представлений хід променів світла, що падають на градієнтну лінзу Люнебурга.

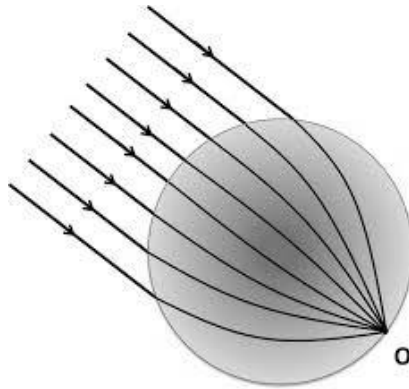


Рисунок 1 – Схема градієнтної лінзи Люнебурга та проходження променів світла через неї.

З рисунку видно, що промені світла збираються у фокальній точці, яка розташована на поверхні лінзи діаметрально протилежно напрямку падіння випромінювання. Ця властивість лінзи Люнебурга використовується для формування антенних пристроїв, здатних фіксувати довільний напрямок приходу сигналу.

Моделюється падіння паралельних променів на градієнтну лінзу. Засоби візуалізації відображають траєкторії променів всередині та зовні лінзи, які стають криволінійними через нерівномірний розподіл показника заломлення. Це забезпечує якісне фокусування світла на поверхні лінзи.

Зміна значення фокального параметра призводить до зсуву точки фокусування уздовж осі падіння світлових променів. Таким чином можна формувати лінзи, які забезпечують фокусування паралельного пучка променів як за межами лінзи, так і всередині неї.

Список використаних джерел:

- 1) с. Gomez, Perez, M. V., Bao, C., Gradient-Index Optics Fundamentals and Applications.
- 2) Marchand Erich, W. (1978). Gradient index optics. Physics Division, Research Laboratories, Eastman Kodak Company, Rochester, New York.
- 3) Leger, Adviser, Di Lin, James, R. (2015). Metrology and design of gradient-index optical materials.
- 4) G. Beadie, E. Fleet, A. Rosenberg, P. Lane and others (2008). Gradient Index Optics. Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO)

АЛФАВІТНИЙ СПИСОК

А		Грабіщенко Я.О.	33
Ammar Rahmouni	80	Гарькавенко П. О.	35
Д		Григорович С.В.	82
Donia Abu Assad	74	Грядунова Є.О.	91
Е		Герасимюк М.В.	132
Emad Mohammed Raweh	84	Гонтаренко І. Ю.	130
Saeed Al-Qadasi			
Н		Д	
Hamdiya Alhassan	78	Доля А.С.	31
А		І	
Аврунін О.Г.	93	Ісаєва О. А.	70
Ануфрієв В.В.	19, 53	Ібрагім Юнусс Абделхамід	93
Б		З	
Білоусько М.В.	128	Зайченко Н.Я.	29
Білоцерківська А.І.	51	К	
Боечко-Немовча А.О.	76, 95	Кітаєв Г.С.	9
Богданов В.С.	120	Кулешов Д.С.	27
Бойко Б.Ю.	41	Кондратюк О. С.	72
Болтаєва К. У.	118	Кісельгов Є.М.	86
Г		Канцемал А.О.	89
Гальстер І.В.	11	Корсун Г. А.	104
Глухі М.А.	17	Кульбашник М.О.	108
		Катасонов Д.О.	114

Колесник О.В.	122	Посохова К.А.	68
Кравчук О.О.	23	Перцевий А.А	116
Л		Р	
Левченко Є. В.	23	Різник М.А.	21
Логунов В.С.	45	Руденко С.О.	49
Ленська О.В	64	Рахубовський Д.О.	106
Любивая О.А.	101	С	
М		Сушко О.А.	45
Марченко Є.С.	7	Слюсаренко О. А.	37
Мольський С. Ф.	25	Степанов Д. Stepanov.D	47
Мазченко К. А.	39	Стецко К. М.	55
Моруженко Д.О.	134	Склярів Г.В.	64
Н		Саєнко Є.О.	110
Носова Я.В.	93	Сологуб М.К.	124
О		Стрілець І. О.	126
Орда В.Р.	57	Самохін Ю.В.	99
П		Т	
Присяник М. С.	43	Тернопіль Ю.О.	93
Ф		Ц	
Павлюк М.О.	59	Фаброван Р. Р.	15
Петренко М.С.	59	Філімонов С.О.	97
Пятайкина М.І.	61	Ч	
		Цвінський В.М.	136

Чекубашева В.А.	5	Яшин М. В.	112
-----------------	---	------------	-----

Чупахін А. Б.	13		
---------------	----	--	--

Чечель Т.О.	66		
-------------	----	--	--

Ш

Шульга В.В.	11		
-------------	----	--	--

Шишко А.Т.	27		
------------	----	--	--

Я

ЗМІСТ

Електронні системи і технології, включаючи мікро- та наноелектронні	4
Біомедична інженерія.....	63
Фотоніка, Лазерна та оптоелектронна техніка	103
Алфавітний список	138
Зміст	141

«РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА МОЛОДЬ В ХХІ СТОЛІТТІ»

Матеріали 27-го Міжнародного молодіжного форуму

Відповідальні за випуск:

А.В.Васянович

Комп'ютерна верстка:

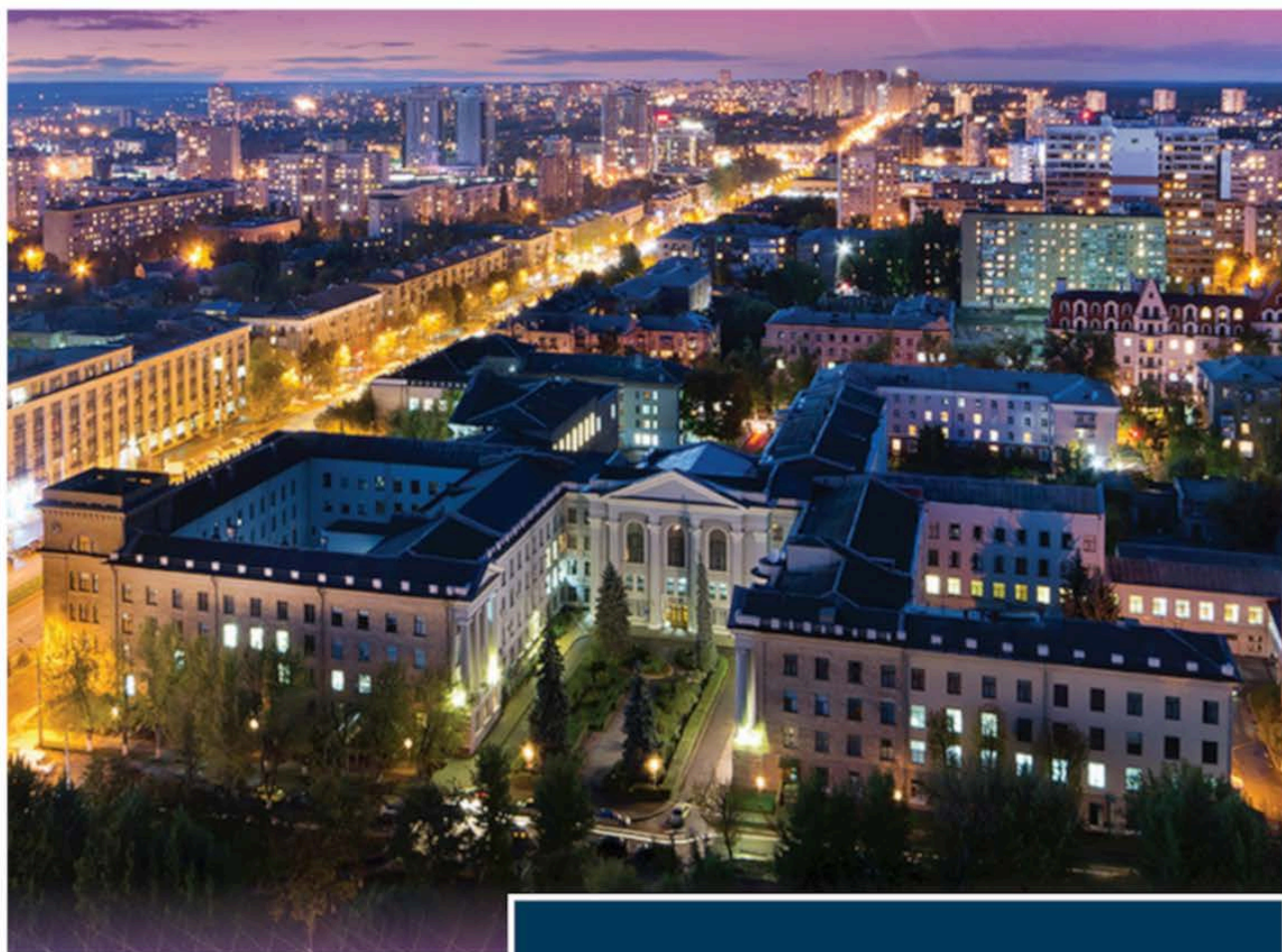
О.О. Кравчук

Матеріали збірника публікуються в авторському варіанті
без редагування



NURE

Харківський національний
університет радіоелектроніки



XXVII Міжнародний
молодіжний форум

"Радіоелектроніка та
молодь у XXI столітті"