



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"**

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**I НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
МАГІСТРАНТІВ ФМФ
(за результатами дисертаційних досліджень
магістрантів)**

Збірник матеріалів конференції

27 ЛИСТОПАДА 2025

Київ 2025

Збірник наукових праць «І науково-практична конференція магістрантів ФМФ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів» 27 листопада 2025 р. ФМФ КПІ ім. Ігоря Сікорського – Київ: ФМФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025, 47 стор.

У збірнику представлено статті молодих фахівців з актуальних проблем фізики, математики та методики викладання природничих дисциплін на І науково-практичній конференції магістрантів ФМФ. До збірника включено статті за такими напрямками: моделювання фізичних процесів, магнетизм конденсованого стану, спінтроніка, наноматеріали, тепловізійні технології, нові матеріали, фінансова математика та методика викладання природничих дисциплін

Друкується за рішенням організаційного комітету науково-практичної конференції «І науково-практична конференція магістрантів ФМФ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів»

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова комітету – Савченко Д.В., д.ф.-м.н., доц., завідувач кафедри загальної фізики та моделювання фізичних процесів.

Заступник голови – Штофель О.О., к.т.н., заст. декана ФМФ з наукової роботи.

Члени оргкомітету:

Самар Г.В. – ст. викл. кафедри загальної фізики.

Авдєєва Т.В. – ст. викл. кафедри математичної фізики та диференціальних рівнянь.

Бовсуновська В.В. – ст. викл. кафедри математичного аналізу та теорії ймовірностей.

НАУКОВИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Віталій КОТОВСЬКИЙ професор, декан ФМФ КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Дарія САВЧЕНКО доцент, завідувач кафедри загальної фізики та моделювання фізичних процесів ФМФ КПІ ім. Ігоря Сікорського

Сергій РЕШЕТНЯК професор, завідувач кафедри загальної фізики ФМФ КПІ ім. Ігоря Сікорського

Олег КЛЕСОВ професор, в.о. завідувача кафедри математичного аналізу та теорії ймовірностей ФМФ КПІ ім. Ігоря Сікорського

Володимир ГОРБАЧУК професор, в.о. завідувача кафедри математичної фізики та диференціальних рівнянь ФМФ КПІ ім. Ігоря Сікорського

Олександр ІВАНОВ професор, професор кафедри математичного аналізу та теорії ймовірностей ФМФ КПІ ім. Ігоря Сікорського

Віктор КАЛИТА професор, професор кафедри загальної фізики ФМФ КПІ ім. Ігоря Сікорського

Оксана ГОРОБЕЦЬ професор, професор кафедри загальної фізики та моделювання фізичних процесів ФМФ КПІ ім. Ігоря Сікорського

Віктор ГЕРАСИМЧУК професор, професор кафедри математичної фізики та диференціальних рівнянь ФМФ КПІ ім. Ігоря Сікорського

Ольга ВАСИЛИК професор, професор кафедри математичного аналізу та теорії ймовірностей ФМФ КПІ ім. Ігоря Сікорського

Ірина АЛЕКСЄЄВА доцент, доцент кафедри математичного аналізу та теорії ймовірностей ФМФ КПІ ім. Ігоря Сікорського

Адреса організаційного комітету:

Україна, Київ, 03056, просп. Берестейський, 37, корпус № 7. Фізико-математичний факультет

Укладання збірника наукових праць: Савченко Д.В., Штофель О.О.

Матеріали подані у авторській редакції.

Відповідальність за зміст і достовірність даних несуть автори тез.

© Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2025

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1. ФІЗИКА.....5

ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛІВОК ОКСИДУ ГРАФЕНУ, ОСАДЖЕНОГО НА СТРУКТУРУ $\text{SiO}_2\text{-Si}$ І ВІДНОВЛЕНОГО ЛАЗЕРНИМ ВИПРОМІНЕННЯМ

Наконечний І.А., Назаров О.М......6

ПОШУК ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ ФРАКТАЛЬНОЇ РОЗМІРНОСТІ І МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Марковська С.Д., Штофель О.О......12

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ РАДІОЧАСТОТНОГО ДІАПАЗОНУ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ

Цутевич П.А., Котовський В.Й......17

ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ДИНАМІКУ КОЛИВАННЯ ВНУТРІШНЬОКЛІТИННОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ ІОНІВ Ca^{2+}

Свердліченко Д.Ю., Горобець О.Ю......22

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ ТЕПЛОВІДВОДУ ПРИСТРОЇВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

Чирка Ю.В., Майкут С.О......28

СЕКЦІЯ 2. МАТЕМАТИКА.....32

ОЦІНКА АРБІТРАЖНОЇ МОЖЛИВОСТІ НА ВАЛЮТНОМУ РИНКУ

Малєєва О.В., Крошко Н.В......33

СЕКЦІЯ 3. МЕТОДИКА ВИКЛАДАННЯ ПРИРОДНИЧИХ ДИСЦИПЛІН.....36

ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ПЕРЕБУДОВИ КРИСТАЛІЧНОЇ СТРУКТУРИ АЛМАЗНОГО ПОРОШКУ В РАМКАХ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ З ОСВІТНЬОГО КОМПОНЕНТУ "ФІЗИКА ТВЕРДОГО ТІЛА"

Рудик А.А., Решетняк С.О......37

ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МАЙБУТНЬОГО
ВЧИТЕЛЯ ФІЗИКИ

Нор О.І., Печерська К.Ю......40

ФОРМУВАННЯ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ В ПРОЦЕСІ ВИКЛАДАННЯ
ФІЗИКИ

Нор О.І., Печерська К.Ю......43

АКТИВІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ НАВЧАННЯ ФЗИКИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ
ТЕНІЧНОГО ВНЗ

Нор О.І., Печерська К.Ю......46

СЕКЦІЯ 1. ФІЗИКА

Наконечний І.А., магістрант,
науковий керівник: д.ф-м.н., проф., **Назаров О.М.**
кафедра загальної фізики та моделювання фізичних процесів
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛІВОК ОКСИДУ ГРАФЕНУ, ОСАДЖЕНОГО НА СТРУКТУРУ $\text{SiO}_2\text{-Si}$ І ВІДНОВЛЕНОГО ЛАЗЕРНИМ ВИПРОМІНЕННЯМ

Анотація. У роботі досліджено вплив лазерного відпалу на структурні, морфологічні та електричні властивості оксиду графену (GO), нанесеного на підкладку $\text{SiO}_2\text{-Si}$. Вивчено три режими: лазерна редукція при кімнатній температурі (LA 8%), при нагріванні до $100\text{ }^\circ\text{C}$ (LA & 100C 3.5%) та термічний відпал (TA). За допомогою раманівської спектроскопії проведено деконволюцію смуг D^* , D , D'' , G , D' і визначено співвідношення інтенсивностей I_D/I_G , $I_{D'}/I_D$, $I_D/(I_D+I_G)$, I_{D^*}/I_G . Встановлено, що лазерна обробка з підігрівом забезпечує найнижчий рівень дефектності вже при потужностях $\sim 140\text{ мВт}$, тоді як без підігріву потрібні вищі значення ($\sim 800\text{ мВт}$). Термічний відпал дає меншу впорядкованість sp^2 -мережі, що підтверджено підвищеним рівнем смуг D^* та D'' .

Abstract. This study investigates the effects of laser annealing on the structural, morphological, and electrical properties of graphene oxide (GO) deposited on $\text{SiO}_2\text{-Si}$ substrates. Three modes were analyzed: laser reduction at room temperature (LA 8%), laser treatment with preheating to $100\text{ }^\circ\text{C}$ (LA & 100C 3.5%), and thermal annealing (TA). Raman spectroscopy was used to deconvolute D^* , D , D'' , G , and D' bands and quantify the intensity ratios I_D/I_G , $I_{D'}/I_D$, $I_D/(I_D+I_G)$, I_{D^*}/I_G . The lowest defectiveness was achieved under preheated laser conditions at $\sim 140\text{ mW}$, compared to $\sim 800\text{ mW}$ for non-heated samples. Thermal annealing led to poorer sp^2 -network ordering, evidenced by elevated D^* and D'' contributions.

Ключові слова: GO, лазерна редукція, раман спектроскопія, термічний відпал, кремнієва підкладка, $\text{SiO}_2\text{-Si}$

Вступ. Оксид графену (GO) є перспективним матеріалом для створення гнучкої електроніки, сенсорів та енергетичних пристроїв завдяки наявності функціональних груп, які забезпечують його хімічну активність, проте значно знижують електропровідність. Одним із найефективніших методів відновлення провідних властивостей GO є лазерна редукція, яка дозволяє локально і безконтактно впливати на структуру матеріалу. У той час як класична термічна редукція GO потребує високих температур ($500\text{-}1000\text{ }^\circ\text{C}$ [3, 6]), лазерний відпал забезпечує схожі ефекти при набагато нижчому локальному нагріванні та дає змогу формувати провідні шаблони на чутливих підкладках, зокрема таких як $\text{SiO}_2\text{-Si}$.

Низка досліджень виявила, що ефективність редукції GO залежить не лише від потужності та довжини хвилі лазерного випромінювання, а й від навколишнього середовища: атмосфери азоту, повітря або вакууму. Особливу увагу приділяють змінам раманівських характеристик, таких як інтенсивність смуг D , G , D' , D'' , D^* , які відображають еволюцію типів дефектів і ступінь рекристалізації решітки. У той же час залишається відкритим питання про зіставлення ефектів лазерного відпалу з традиційними методами, зокрема термічною обробкою, а також про оцінку ролі підкладки $\text{SiO}_2\text{-Si}$ у процесах тепловідведення та допування [5].

Мета та завдання дослідження.

Метою цієї роботи є встановлення впливу режимів лазерного опромінення (з підігрівом та без) на ступінь редукції GO та його структурну трансформацію, з порівнянням з термічним відпалом, з урахуванням морфологічних і спектроскопічних показників.

Для досягнення цієї мети поставлено такі завдання:

1. Здійснити лазерну обробку GO на підкладці SiO₂-Si при різних потужностях лазерного випромінювання (у повітрі за умов підігріву до 100 °C).
2. Провести термічний відпал зразків GO при температурі 250 °C (для референсу).
3. Проаналізувати зміни раманівських параметрів (інтенсивність, площа та положення смуг D*, D, D'', G, D'), що відображають ступінь редукції та тип дефектів.
4. Визначити залежність співвідношень інтенсивностей I_D/I_G, I_D/I_D, I_D/(I_D+I_G) від режимів обробки.
5. Оцінити вплив лазерного й термічного відпалу на електропровідність зразків та виявити найефективніший режим для формування провідних структур на основі GO.

Матеріал та результати дослідження.

Спектроскопічний аналіз. Раман спектроскопія є основним методом дослідження будови GO, оскільки різні смуги в спектрі відповідають певним типам коливань та дефектів у решітці.

G-смуга (~1580 см⁻¹) відповідає колективному коливанню C – C зв'язків у впорядкованій sp²-структурі; її положення змінюється під дією напружень і допування.

D-смуга (~1350 см⁻¹) є дефектною, активується тільки в присутності порушень симетрії; її інтенсивність прямо пропорційна концентрації дефектів, а співвідношення I_D/I_G використовується для оцінки розміру sp²-доменів. [1 - 2]

D'-смуга (~1620 см⁻¹) походить від внутрішньо-долинного розсіяння і дозволяє розрізняти типи дефектів (вакансії, sp³-центри, межі зерен).

D-смуга (~1150 см⁻¹)* пов'язана зі sp³-вузлами; її інтенсивність зменшується зі зниженням вмісту кисню. [4]

D''-смуга (~1500–1530 см⁻¹) є широкою і відповідає аморфним або сильно дефектним фазам вуглецю; її інтенсивність зменшується із зростанням кристалічності.

2D або G'-смуга (~2700 см⁻¹) – обертон D-моди, що не потребує дефектів; її посилення після редукції свідчить про формування впорядкованих sp²-доменів.

Комбінаційні моди D+D' та 2D' (~2930 см⁻¹ і ~3190 см⁻¹) виникають від сумарних коливань і корелюють із зростанням концентрації sp²-карбону та провідності редукованого GO. [1 - 2]

Важливим є немонотонний характер зміни I_D/I_G при редукції: на ранніх стадіях утворення дрібних sp²-кластерів може збільшити дефектність, але подальше укрупнення кристалітів призводить до зменшення I_D/I_G. Тому максимальна упорядкованість спостерігається лише в певному діапазоні потужностей (температур відпалу [3, 6]).

Опис експериментів

GO наносили на підкладки SiO₂-Si методом крапельного осадження. Лазерну редукцію проводили безперервним лазером 455 нм. Калібрування встановило лінійну залежність між відсотком класифікованих потужностей (X) і вихідною потужністю P: P (мВт) = 291,43 + 106,857·X; робочий діапазон 60–300 мВт відповідав поглиненій дозі 2,4-12 Дж/см².

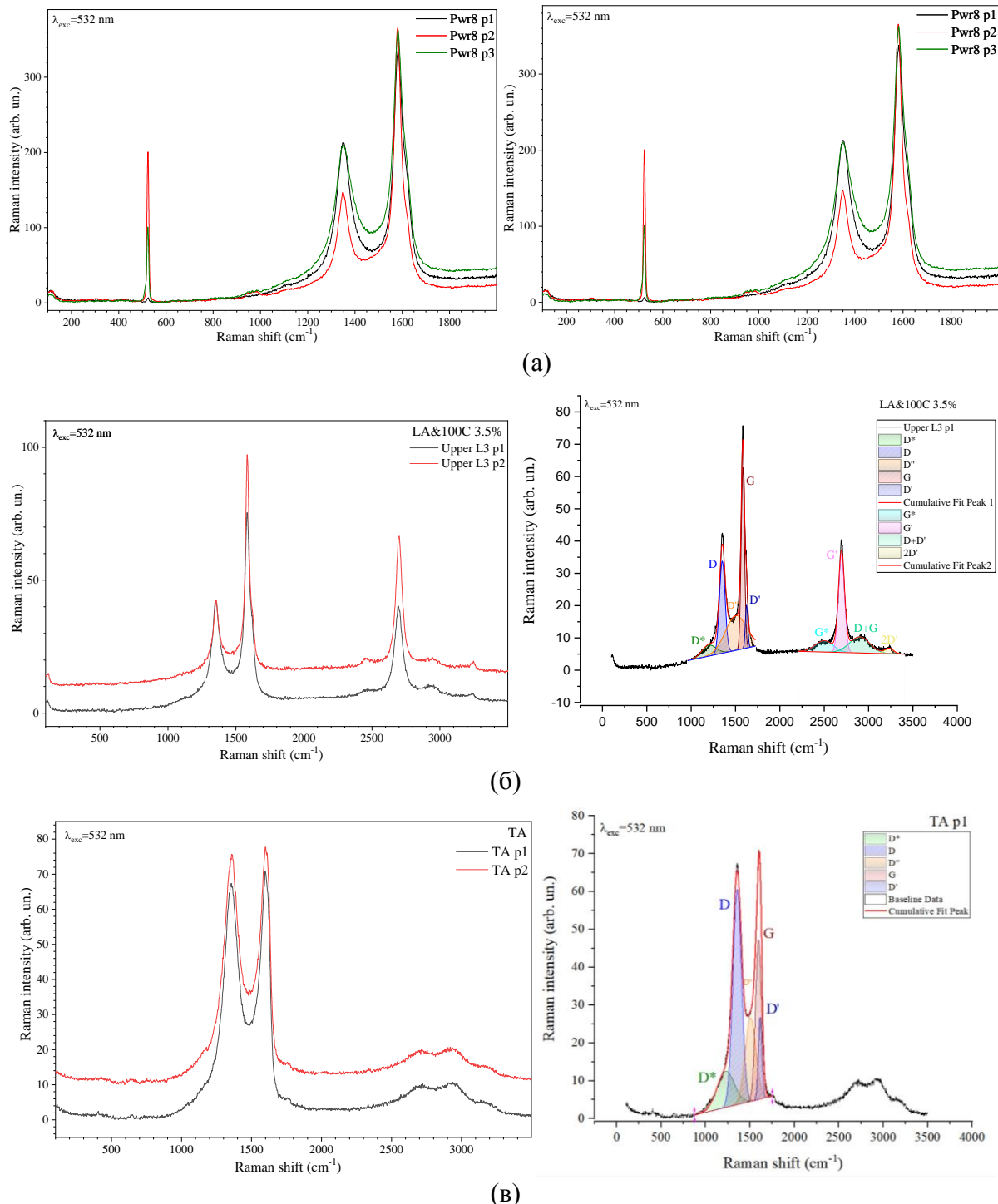


Рисунок 1 – Порівняння Раман спектрів GO після різних режимів обробки:
 а) LA {8%} – лазерний відпал без підігріву;
 б) LA & 100 °C {3,5%} – лазерний відпал з підігрівом підкладки до 100 °C;
 в) TA – термічний відпал при 250 °C. Справа – деконволюції спектрів із виділенням смуг D*, D, D', G та D'.

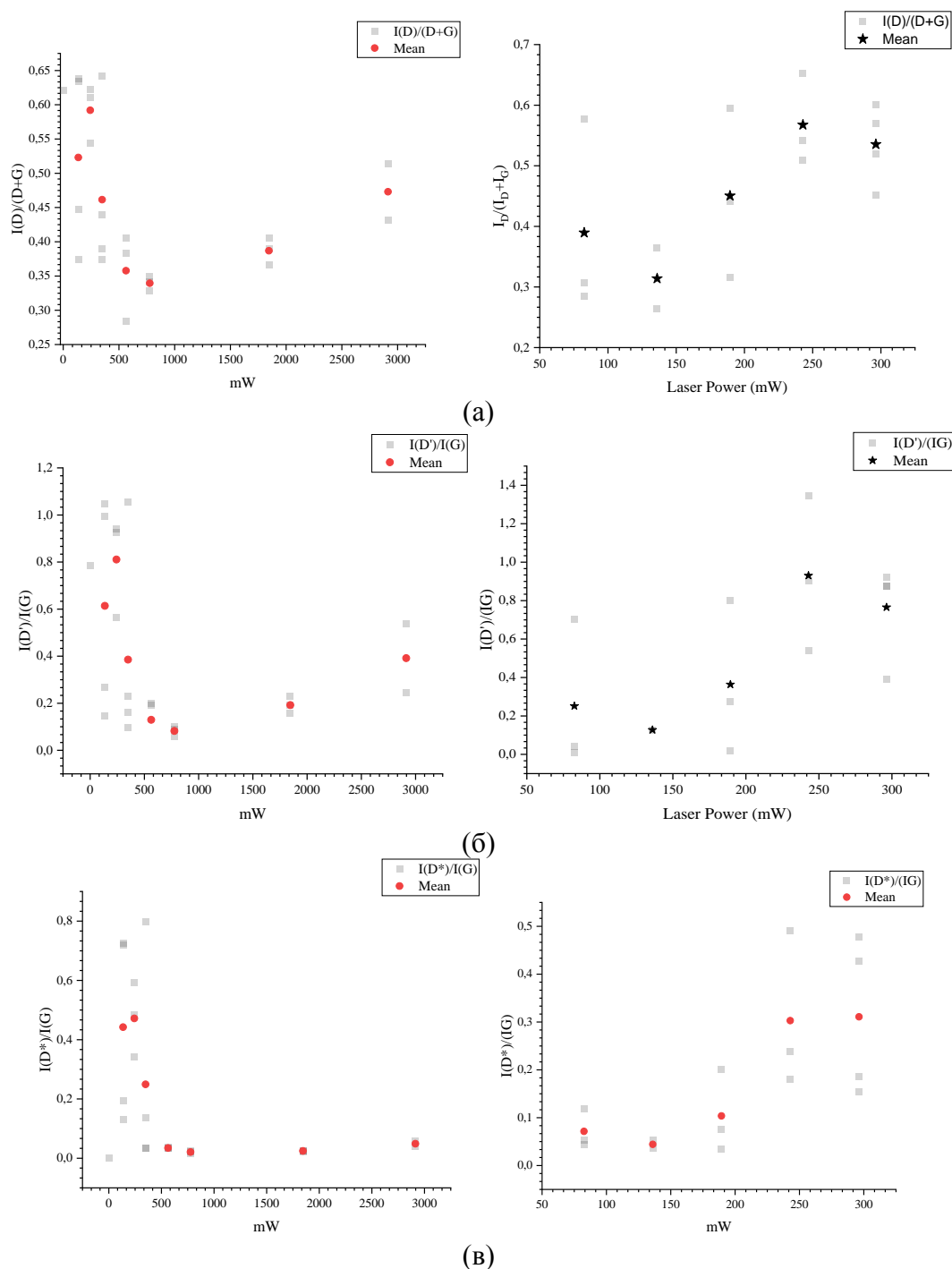


Рисунок 2 – Залежність співвідношень інтенсивностей раманівських параметрів оксиду графену від потужності лазерного випромінювання: а) залежність частки дефектної D-компоненти $I_D/(I_D+I_G)$; б) відношення I_D/I_D , чутливе до типу дефектів; в) відношення I_{D^*}/I_G , яке відображає внесок sp^3 -пов'язаних центрів у спектр. Зліва – результати для лазерного відпалу GO без підігріву підкладки (режим LA в повітрі), справа – для відпалу з підігрівом SiO_2-Si до $100\text{ }^\circ\text{C}$ (режим LA & $100\text{ }^\circ\text{C}$). Сірі маркери відповідають окремим вимірюванням у різних точках плівки, кольорові маркери – усередненим значенням для кожної потужності.

Підігрів дозволяє досягти нижчого співвідношення I_D/I_G за меншої потужності, у той час як термічний відпал демонструє вищу інтенсивність дефектних мод. Дані свідчать про найефективніше відновлення sp^2 -структури при лазерному відпалі з підігрівом.

Параметр $I_D/(I_D+I_G)$ є інтегральною мірою дефектності sp^2 -решітки: зі зменшенням цього відношення зменшується відносна частка дефектних областей і зростає внесок упорядкованих доменів. На графіках видно, що при малих потужностях значення $I_D/(I_D+I_G)$ є високим, але із зростанням потужності воно спадає до мінімуму в області оптимального відпалу (близько 8 % без підігріву та 3,5 – 4 % з підігрівом). Подальше збільшення потужності призводить до повторного зростання цього параметра, що інтерпретується як поява нових структурних пошкоджень і часткова абляція плівки.

Відношення I_D/I_D відображає зміну характеру дефектів. D' -мода збуджується переважно на межах зерен і при м'яких порушеннях структури, тоді як D -мода чутлива і до грубіших дефектів (вакансії, sp^3 -центри). Зменшення I_D/I_D у діапазоні оптимальних потужностей свідчить про те, що в процесі редукції частина м'яких дефектів усувається, а домінуючим стає внесок більш розтягнутих sp^2 -доменів. При надвисоких потужностях зростання I_D/I_D вказує на повторну фрагментацію решітки.

Параметр I_{D^*}/I_G є маркером sp^3 -фази та кисневмісних груп. На графіках видно, що для обох режимів цей показник різко зменшується в області оптимальної потужності, практично зникаючи для зразків, відпалених з підігрівом. Це означає ефективне видалення sp^3 -пов'язаних центрів і відновлення кон'югованої sp^2 -мережі. При подальшому збільшенні потужності I_{D^*}/I_G знову зростає, що узгоджується з утворенням нових sp^3 -дефектів унаслідок перегріву й вигорання каркасу.

У сукупності ці три параметри показують, що лазерний відпал з підігрівом забезпечує потрібний рівень редукції за суттєво нижчих потужностей, формуючи більш упорядковану sp^2 -структуру з мінімальною кількістю sp^3 - і дефектних центрів, тоді як при відпалі без підігріву та тим більше при надмірних потужностях дефектність знову зростає.

Висновки. Лазерна редукція GO на підкладках SiO_2-Si забезпечує ефективне видалення кисневмісних груп при оптимальних потужностях лазера (~8 – 14% без підігріву, ~3,5 – 4% з підігрівом). При таких умовах досягається максимальне відновлення sp^2 -мережі графену, що підтверджується зниженням дефектності та покращенням електропровідності. Підігрів підкладки до 100 °C знижує енергетичний поріг для редукції GO, що дозволяє досягти схожих результатів при меншій потужності лазера. Традиційний термічний відпал GO при 250 °C також знижує вміст кисневмісних груп і частково відновлює структуру, проте цей метод дає меншу ступінь впорядкованості графенової решітки, зберігаючи вищий рівень дефектності. Відсутність значного зміщення 2D-смуги підтверджує слабку рекристалізацію графенових областей. Лазерний відпал, особливо з підігрівом підкладки, виявляється більш ефективним методом редукції, оскільки дозволяє досягти більш впорядкованої sp^2 -структури з мінімальною дефектністю при меншій потужності лазера, порівняно з термічним відпалом. Цей метод має переваги для створення провідних структур та сенсорів на основі GO. Необхідно продовжити дослідження впливу товщини плівки GO на фізичні та електричні властивості матеріалу. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на оптимізацію лазерного відпалу для зменшення енергетичних витрат при збереженні високої провідності матеріалів. Крім того, варто дослідити вплив різних атмосферних середовищ (азот, інертні гази) на процеси редукції. Також дослідити можливість створення лазерних патернів для формування провідних смуг у графеновому оксиді.

Список використаних джерел:

1. Evolution of the Raman Spectrum with the Chemical Composition of Graphene Oxide / D. López-Díaz et al. *The Journal of Physical Chemistry C*. 2017. Vol. 121, no. 37. P. 20489–20497. URL: <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.7b06236>
2. Ferrari A. C., Basko D. M. Raman spectroscopy as a versatile tool for studying the properties of graphene. *Nature Nanotechnology*. 2013. Vol. 8, no. 4. P. 235–246. URL: <https://doi.org/10.1038/nnano.2013.46>
3. Low-Temperature Reduction of Graphene Oxide: Electrical Conductance and Scanning Kelvin Probe Force Microscopy / O. M. Slobodian et al. *Nanoscale Research Letters*. 2018. Vol. 13, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s11671-018-2536-z>
4. Raman spectroscopy of graphene-based materials and its applications in related devices / J.-B. Wu et al. *Chemical Society Reviews*. 2018. Vol. 47, no. 5. P. 1822–1873. URL: <https://doi.org/10.1039/c6cs00915h>
5. Raman spectroscopy of graphene-based materials and its applications in related devices / J.-B. Wu et al. *Chemical Society Reviews*. 2018. Vol. 47, no. 5. P. 1822–1873. URL: <https://doi.org/10.1039/c6cs00915h>
6. Singh S. B., Dastgheib S. A. Physicochemical Transformation of Graphene Oxide During Heat Treatment at 110-200°C. *Carbon Trends*. 2023. P. 100251. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cartre.2023.100251>

УДК 620.18·086:620.17:621.791

Марковська С.Д., магістрантка,
науковий керівник: к.т.н. Штофель О.О.
кафедра загальної фізики та моделювання фізичних процесів фізико-математичного
факультету
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПОШУК ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ ФРАКТАЛЬНОЇ РОЗМІРНОСТІ І МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Анотація. В роботі розглядалась металічна структура зварного з'єднання для пошуку кореляції між структурними та механічними властивостями. Для металографічних та фрактальних досліджень було представлено серію із 5 зварних зразків. Зразки були виконанні зі сталі 09Г2С, зварені порошковим дротом Fluxcord 35.22 з різними наповнювачами із наночасточок: 1 - MgO, 2 - ZrO₂, 3 - CaSiO₃, 4- Al₂O₃, 5 - SiC. Металографічні дослідження проводились на мікроскопі NEOPHOT-32 зі збільшенням x500 на відстані 2...3 мм від верхньої кромки. Фотографії отримували за допомогою цифрової фотокамери OLYMPUS. Фотографії зразків досліджували методом фрактального аналізу. В якості однієї з досліджуваних механічних характеристик була твердість. Твердість вимірювали на мікротвердомірі ПМТ-3 з навантаженням 100 г. Дані отримані за методом фрактального аналізу спів ставляли із механічною характеристикою твердість.

Abstract. The work considered the metallic structure of the welded joint to find a correlation between structural and mechanical properties. A series of 5 welded samples was presented for metallographic and fractal studies. The samples were made of 09G2S steel, welded with Fluxcord 35.22 flux cored wire with various fillers from nanoparticles: 1 - MgO, 2 - ZrO₂, 3 - CaSiO₃, 4- Al₂O₃, 5 - SiC. Metallographic studies were carried out on a NEOPHOT-32 microscope with a magnification of x500 at a distance of 2...3 mm from the upper edge. Photographs were obtained using an OLYMPUS digital camera. Photographs of the samples were examined by fractal analysis. One of the mechanical characteristics studied was hardness. Hardness was measured on a PMT-3 microhardness tester with a load of 100 g. The data obtained by the fractal analysis method were compared with the mechanical characteristic of hardness.

Ключові слова: фрактал, структура, метал, зварне з'єднання, металографічне дослідження, твердість

Вступ. Станом на сьогоднішній день існує потреба у швидкій діагностиці стану і характеристик матеріалів. Одним із сучасних методів може бути метод фрактального аналізу, який ідентифікує структурні складові, такі як границі зерен, зерна та їх складові, включення, дефекти тощо. В даній роботі відбувається пошук зв'язку фрактальної розмірності границь зерен і твердості у відповідній зоні зварного з'єднання. Твердість в свою чергу характеризує зносостійкість та стійкість до деформації. Твердість є ключовим показником, який опосередковано вказує на: міцність (особливо межу міцності при розтягу), а також хімічний склад та термічну обробку. Відомо, що чим твердіша сталь, тим

вона міцніша, але при цьому може бути менш пластичною та більш крихкою. Значення твердості відображає особливості внутрішньої структури сталі, яку можна аналізувати фрактальним методом. Необхідно звернути увагу, що в різних зонах зварного з'єднання можуть виникати різні дефекти, структури і відповідно характеристики. Задача даної роботи полягає в пошуку кореляцій між структурним (фрактальною розмірністю) і механічним (твердістю) параметром різних зон зварного з'єднання.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є пошук кореляцій між структурним і механічним параметром різних зон зварного з'єднання, що супроводжувалось виконанням наступних завдань: підготувати зразки, отримати структури, дослідити металографічним і фрактальними методами, визначити твердість та знайти кореляції між характеристиками.

Матеріал та результати дослідження. Досліджувалось зварний зразок із сталі 09Г2С (рис.1).



Рисунок 1 – Зварний зразок із сталі 09Г2С.

В даній роботі досліджувалась структура металу шва зі сталі 09Г2С (рис.2). Сталь 09Г2С — це низьколегована конструкційна сталь, яка відрізняється підвищеною міцністю, хорошою зварюваністю і стійкістю до низьких температур [1]. Її назва розшифровується як: «09» — вміст вуглецю близько 0,09%, «Г2» — марганець до 2%, «С» — кремній до 1%. Ця марка широко використовується в будівництві, машинобудуванні та енергетиці для виготовлення зварних конструкцій, труб, листів і профілів. В табл.1 зазначено хімічний склад зразків зварного шва.

Таблиця 1. — Хімічний склад зразків металу шва.

Зразок	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo	Ti	Al
1	0,061	0,42	1,50	0,014	0,012	0,41	0,060	0,12	0,11	<0,01	0,010
2	0,061	0,42	1,53	0,017	0,014	0,40	0,05	0,10	0,10	<0,01	0,007
3	0,060	0,33	1,46	0,012	0,013	0,42	0,05	0,10	0,09	<0,01	0,006
4	0,060	0,27	1,43	0,014	0,012	0,35	0,03	0,10			
5	0,053	0,34	1,46	0,012	0,13	0,37	0,03	0,10			

Зварне з'єднання складається з різних зон, мінімальна кількість зон представлена на схемі (рис. 2): основний метал, зона термічного впливу та зварний шов. Видно, що структура в кожній зоні відрізняється, а відповідно має різні механічні властивості.

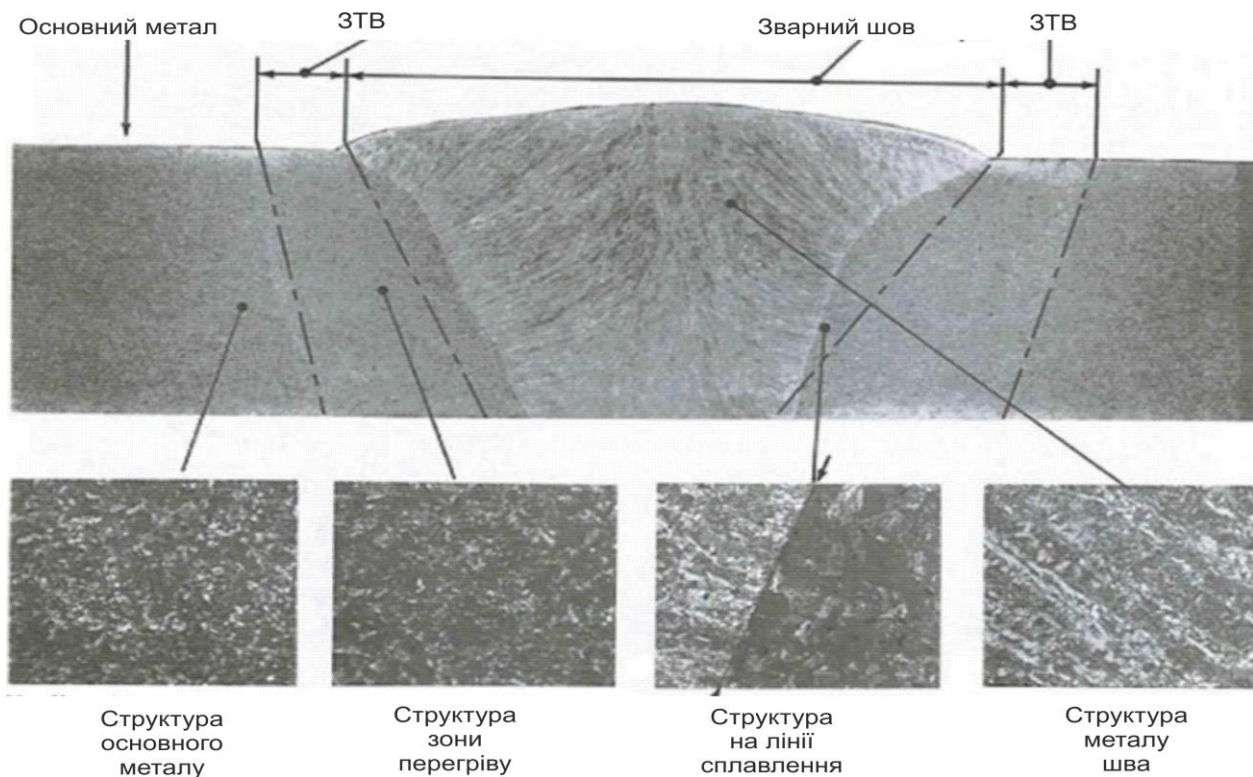


Рисунок 2 — Схема зварного з'єднання по зонах.

В роботі досліджувалась мікроструктура зварного шва (рис.3): Зразок 1 - являє собою литу структуру, що в основному складається з класичного голчастого фериту в тілі литих кристалітів, тонких виділень полігонального фериту по межах первинних аустенітних зерен, а також з більш-менш рівноосних великих зерен (50...60 мкм) полігонального фериту, розташованих в основному по межах литих кристалітів і більш дрібних (до 5...10 мкм) рідко в тілі литих кристалітів; зразок 2 - мікроструктура подібна до мікроструктури зразка 1, відрізняються лише розміром (шириною) литих кристалітів (у зразку 2 вони помітно вужчі і не перевищують 5 мкм); зразок 3 – мікроструктура відрізняється від мікроструктури попередніх зразків зварних з'єднань (1 і 2), а саме ширина первинних кристалітів збільшилася, проте ширина виділень полігонального фериту по їх межах стала помітно вужчою, у тілі кристалітів утворюється дрібно-голчастий ферит, по межах литих кристалітів полігональний ферит; зразок 4 - відмінною особливістю цієї мікроструктури є вузькі литі кристаліти і велика кількість полігонального і великі ділянки поліедричного феритів; зразок 5 - мікроструктура складається з дрібного голчастого фериту.

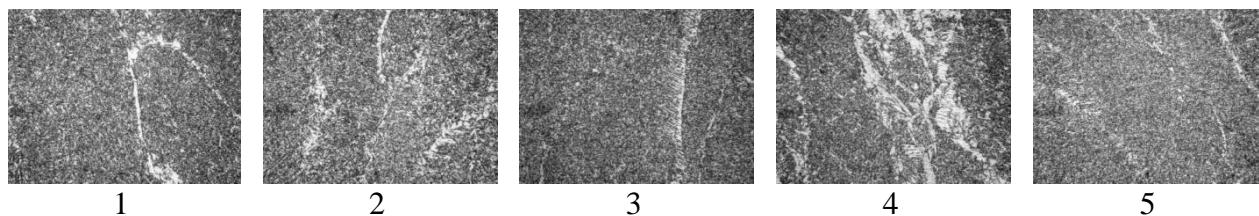


Рисунок 3 — Мікроструктура зразка зварного з'єднання із сталі 09Г2С.

Для мікроструктур зразків було обраховано фрактальну розмірність за (box-counting method) методом Мінковського [2,3] для структурної складової структури – границь зерен, і отримано усереднене значення фрактальної розмірності приведені в табл.2.

Таблиця 2. — Фрактальна розмірність структури металу шва.

Зразок	1	2	3	<u>4</u>	5
Фрактальна розмірність D_0	1,898	1,894	1,906	<u>1,892</u>	1,898

Твердість визначалась за методом Віккерса [4]. Твердість за методом Віккерса — це метод визначення твердості матеріалу шляхом вдавлення в його поверхню алмазної піраміди з кутом між протилежними гранями 136° під дією навантаження, відбиток пірамідки показано на рис.4. Твердість розраховується як відношення прикладеного навантаження (в експерименті застосовувалось навантаження 100г) до площі поверхні отриманого відбитка, а значення позначається як HV, розраховані дані представлені в таблиці 3.

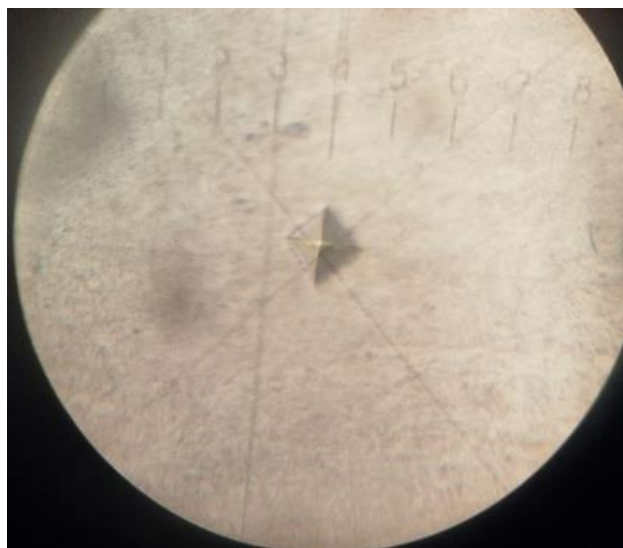


Рисунок 4 — Визначення твердості на твердомірі ПМТ- 3, вигляд відбитка пірамідки на зразку.

Таблиця 3 — Твердість в зоні металу шва.

Зразок	1	2	3	<u>4</u>	5
Твердість HV, кгс/мм ²	206,7	220,7	219,3	<u>192</u>	219,4

В мікроструктурі зразка 4, представленого на рис.3, в тілі литих кристалітів спостерігаються ділянки зниженої твердості – це ділянки ферито-перлітної структури, що призводить до зниження інтегральної твердості всього зразка, що відображається у табл. 3.

Отримано кореляційні залежності між усередненими даними фрактальної розмірності для зони зварного шва та твердістю в цій зоні, представлено на рис.5.

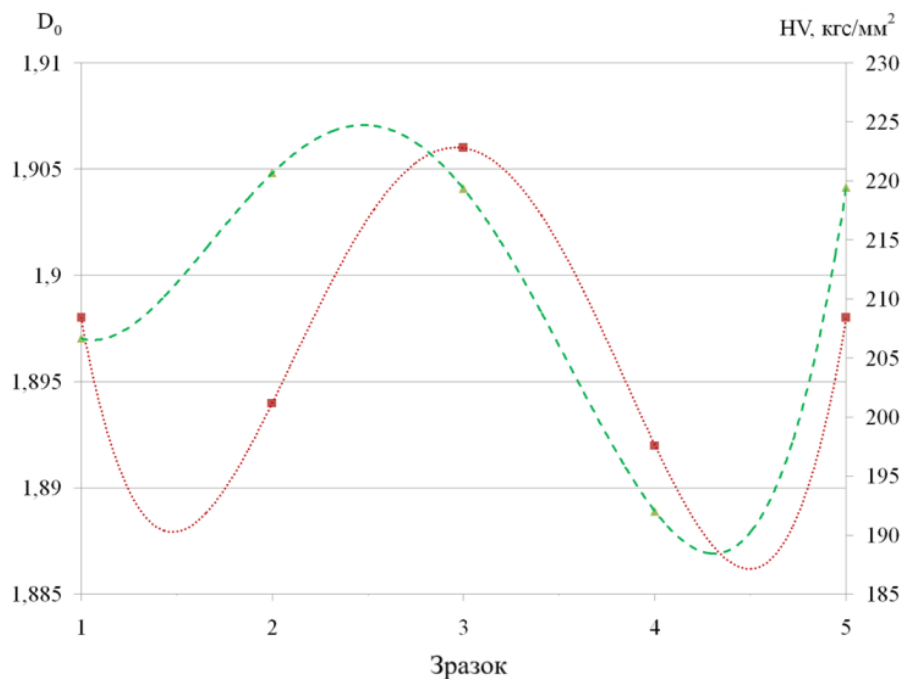


Рисунок 5 — Кореляції фрактальної розмірності та твердості за Віккерсом.

Висновки. Зварне з'єднання складається з різних зон, які можуть бути охарактеризовані фрактальною розмірністю, так як наочно видно структурну різницю. Для зони зварного шва отримано кореляцію між фрактальним параметром структурних складових (границь зерен) і твердістю за Віккерсом.

Список використаних джерел:

- 09Г2С — Електронний ресурс: <https://uk.wikipedia.org/wiki/09%D0%932%D0%A1>
- Головко В.В., Штофель О.О. Фрактальна розмірність і мультифрактальний аналіз структури металу зварних швів, Metalozn. obrobka met., 2022, vol. 28, 51-59 — Електронний ресурс: <https://doi.org/10.15407/mom2022.03.051>
- Головко В. В., Штофель О. О., Костін В. А. Фрактальна оцінка розгалуженості границь зерен у структурі металу зварних швів низьколегованих сталей. Автоматичне зварювання. 2023. № 6. С. 3-7. — Електронний ресурс: <http://jnas.nbuu.gov.ua/article/UJRN-0001416090>
- Випробування на твердість за Віккерсом — Електронний ресурс: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B1%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%D0%BD%D0%B0%D1%82%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%B4%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C%D0%B7%D0%B0%D0%92%D1%96%D0%BA%D0%BA%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%BE%D0%BC>

УДК 616-006.07

Цутевич П.А., магістрант,
науковий керівник: д.т.н., проф., Котовський В.Й.
кафедра загальної фізики та моделювання фізичних процесів
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ

Анотація. Проведено узагальнення експериментального дослідження впливу радіочастотної (РЧ) індуктивної помірної гіпертермії на біологічний об'єкт (БО) з дистанційним інфрачервоним (ІЧ) моніторингом. Показано, що поєднання установки «Магнітерм» та ІЧ-термографії забезпечує кероване локальне підвищення температури враженої тканини на 2-4°C із накопиченням енергії порядку 17 Дж/см³ за курс опроміненнь, що узгоджується з SAR-оцінками для ядра порядку 21 Дж/см³. ІЧ-метрики розглянуто як неінвазивні біомаркери ефективності режимів РЧ-впливу та основу для персоналізації параметрів лікування.

Abstract. A synthesis of the experimental study on the effect of radio-frequency (RF) inductive mild hyperthermia on a biological object (BO) with remote infrared (IR) monitoring is presented. It is shown that combining the “Magnetterm” setup with IR thermography enables controlled local heating of the affected tissue by 2–4 °C, with energy accumulation on the order of 17 J/cm³ over the treatment course, which is consistent with SAR estimates for the core of about 21 J/cm³. IR-based metrics are considered noninvasive biomarkers of the effectiveness of RF exposure regimens and a basis for personalizing treatment parameters.

Ключові слова: магнітотермія; радіочастотне випромінювання; інфрачервона термографія; «Магнітерм»; пухлина Герена; локальна гіпертермія.

Вступ. Електромагнітне випромінювання (ЕМВ) радіочастотного діапазону (3 кГц – 300 ГГц) посідає особливе місце в сучасній біомедицині завдяки здатності проникати в біологічні тканини. Воно індукує вихрові струми у тканинах, які перетворюються у теплову енергію, що зумовлює контрольовану локальну гіпертермію (37–42 °C) і посилює проникність мембран клітин для фармацевтичних препаратів, підвищуючи ефективність хіміотерапії та знижуючи резистентність злоякісних клітин [3, 4, 6, 7].

Одним із сучасних методів неінвазивного впливу на БО, зокрема для лікування онкологічних захворювань, є короткохвильова магнітотермія. Апарат «Магнітерм» використовується для локального опромінення ділянок тіла, уражених процесами запального та пухлинного характеру. Неінвазивний моніторинг температурних полів реалізується засобами інфрачервоної термографії (ІЧТ), за допомогою яких реєструється власне ІЧ-випромінювання поверхні шкірного покриву та забезпечує візуалізацію теплових патернів у реальному часі. Для дослідження й оцінки розподілу температурних патернів, було використано термограф ThermaCAM E300 FLIR SYSTEM (США) з охолоджувальною матрицею хром-ванадієвих мікроболометрів розміром з 320x240 пікселів. Температурна роздільна здатність матриці складає 0,1°C у діапазоні 8-14 мкм (Рис. 1, а). Також було використано термограф виробництва Інституту фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова НАН України з охолоджувальною матрицею

320x280 елементів на базі діодів Шотткі, який мав температурну чутливість не гірше 0.07 °С в спектральному діапазоні 3-5 мкм(рис. 1, б) [5].

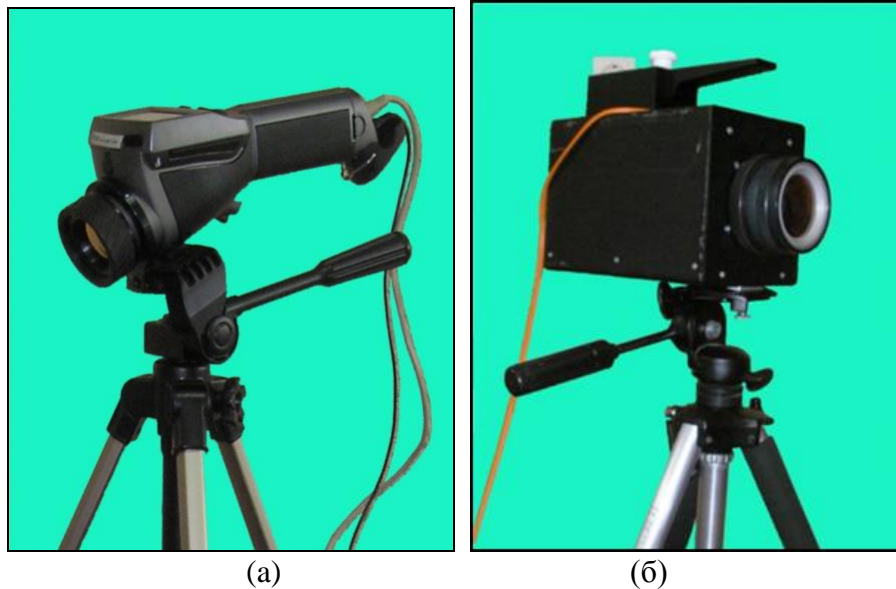


Рисунок 1 – Термограф: а – без охолодження; б – з охолодженням.

Матеріал та результати дослідження. Експеримент виконували у два етапи: 1 - модельні зразки (свиняче сало, м'язова тканина корови) для валідації ІЧ-системи. 2 - in vivo на щурах із привитою пухлиною Герена під локальним РЧ-впливом. Термографія проводилася при стабільних умовах (22-24 °С, вологість 40-60%, час сеансу 15 хв). Матеріальні константи для пухлини брали з довідкових даних для водонасичених м'яких тканин ($\rho = 1050 \text{ кг/м}^3$, $c = 3.6 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$), для стандартизації розрахунків геометрію пухлини було апроксимовано кубом зі стороною 1 см ($V = 1 \text{ см}^3$)).

На першому етапі дослідження методом ІЧ-термографії фіксували різну кінетику нагріву жирової та м'язової тканин. Зразки сала, через низьку теплопровідність ($\approx 0.21 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$) та теплоємність ($2.1 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$) характеризувалися поверхневим нагрівом. На противагу цьому, зразки м'язової тканини, з високим вмістом води, демонстрували більш рівномірний розподіл температури, що обумовлено їх вищою теплопровідністю ($\approx 0.45 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$) та теплоємністю ($3.6 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$). Отримані термограми підтвердили достовірність реєстрації температурних полів. За оцінками температуропровідності $a = \lambda/(c\rho)$ отримані порядки величин узгоджені з дослідженнями авторів [1].

Локальне опромінення пухлини проводили апаратом "Магнітерм" ("Радмір", Україна) з максимальною індукцією постійного поля 0,4 Тл на відстані 8 мм і радіочастотою ЕМП 42 МГц, впродовж 15 хв. Термограф реєстрував зміни температури у зоні пухлини. Для кількісного аналізу використовувалися два підходи: метод обробки результатів термографічних досліджень за даними термографічних візуалізацій з вимірюванням температури в зоні пухлини ($Q = m \cdot c \cdot \Delta T$). Для 1 см^3 пухлини Герена $Q \approx 3.78 \cdot \Delta T$ (Дж), та SAR-підхід ($E = SAR \cdot m \cdot t$, де використано значення SAR - 4.5 Вт/кг (ядро), $t = 900 \text{ с}$ (1 сеанс), курс - п'ять сеансів).

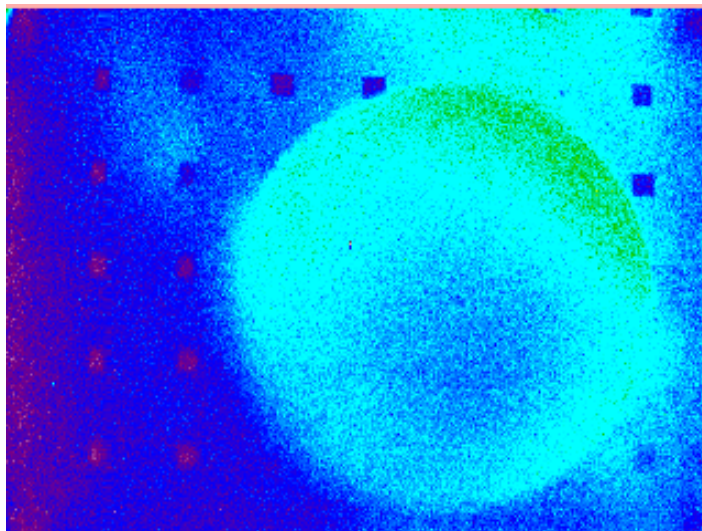


Рисунок 2 – Термограма м'яса корови.

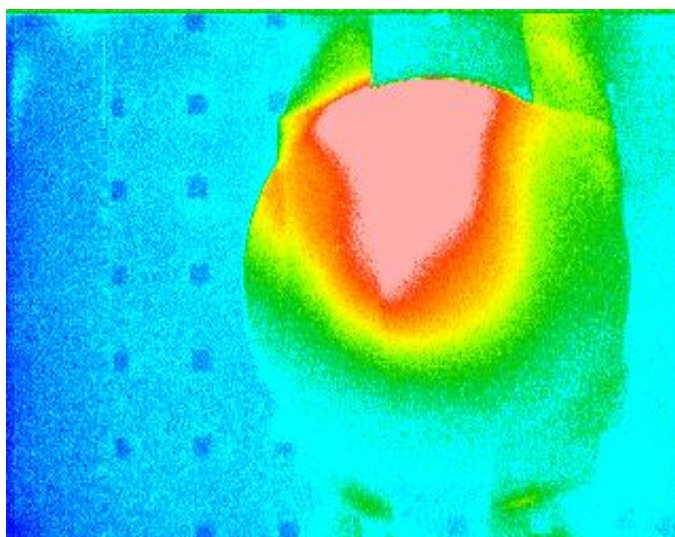


Рисунок 3 – Термограма свинячого сала після 5 хвилин нагрівання.

За SAR-підходом, енергія, поглинена ядром пухлини, склала 4.25 Дж за один сеанс, 21.26 Дж за курс. Ці значення добре корелюють з даними, отриманими шляхом обробки результатів термографічних досліджень за даними термографічних візуалізацій з вимірюванням температури в зоні пухлини: після 5 сеансу вона зросла до 17 Дж на 1 см³ ($\Delta T = 4.5$ °C). Така динаміка підтверджує накопичувальний ефект магнітотермії, з кожним наступним сеансом пухлина акумулює більше теплової енергії.

У контрольній групі значення градієнту температури ΔT становило 1.9 ± 0.4 °C; в опроміненій групі - зростає до 2.6 ± 0.4 °C після першого сеансу, і до 4.5 ± 0.6 °C наприкінці курсу. Статистично підтверджено пряму залежність між інтенсивністю нагріву та терапевтичним ефектом. У тварин із більшим значенням ΔT реєструвалося пришвидшене зменшення об'єму пухлини - в середньому на 15-25% протягом 7-10 діб після завершення курсу, що корелює з даними літератури щодо зв'язку гіпертермії та інгібування росту пухлини [1, 2].

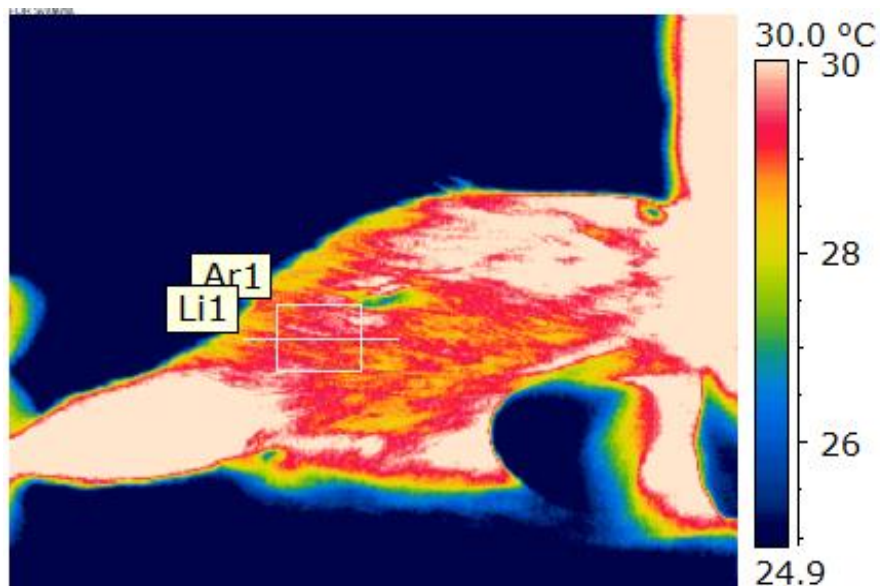


Рисунок 4 – 06.09, кадр 31(2387). Пухлина після першого сеансу опромінення, початковий етап нагріву.

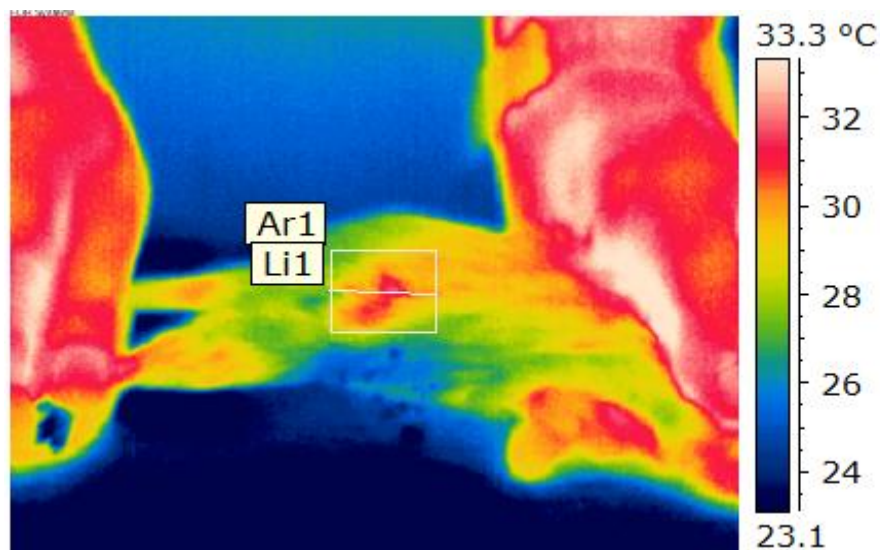


Рисунок 5 – 01.10, кадр 29(2470). Після завершення курсу опромінення.

Висновки. Отримані результати підтверджують фізичну модель: індуктивний РЧ-вплив створює неоднорідне поле потужності в межах пухлини, що веде до формування «теплого ядра». Помірна гіпертермія (37–42 °С) поліпшує мікроциркуляцію й доставку препаратів, знижує хіміорезистентність і може підсилювати комбіноване лікування [2, 4, 6, 7]. РЧ-моніторинг у реальному часі дозволяє адаптивно керувати підведенням потужності, слугує неінвазивним біомаркером ефективності режимів РЧ-впливу. Поєднання РЧ-магнітотермії з РЧ-моніторингом дає можливість індивідуалізувати потужність/тривалість впливу, досягаючи заданих теплових цілей за критеріями ΔT і Q [5].

Список використаних джерел

1. Орел В.Е., Ніколов М.О., Дзятковська Н.М., Романов А.В., Мельник Ю.Г., Дунаєвський В.І., Дзятковська І.І. Вплив зміни просторової неоднорідності електромагнітного поля на трансформацію радіохвиль та теплові характеристики фантомів і карциноми легені Льюїс // *Physics of Alive*. — 2008. — Т. 16, № 2. — С. 92–98.
2. Орел В. Є., Орел В. Б., Дасюкевич О. Й., Рихальський О. Ю., Дедков А. Г., Венгер В. Ф., Дунаєвський В. І., Котовський В. Й., Назарчук С. С., Кузь О. П., Просветова А. Б. Порівняння термограм тварин з двобічними карциносаркомама Уокер-256 та магнітними наночастинками в одній пухлині при опроміненні радіочастотним і постійним магнітним полем // *Приладобудування: стан і перспективи: матеріали XXII Міжнародної науково-технічної конференції (16–17 травня 2023 р., Київ)*. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. — С. 184.
3. Орел В.Е., Смоланка И.И., Коровін А.Ю. та ін. (2005) Електромагнітне поле радіохвиль в онкології. Книга плюс: Київ.
4. Смоланка І.І., Скляр С.Ю. (2007) Шляхи підвищення ефективності комплексного лікування хворих на рак грудної залози. Київ, 191 с.
5. Котовський В.Й., Джежеря Ю.І. *Неінвазивні технології у біомедичних дослідженнях*. — Київ: НТУУ «КПІ», 2014. — 119 с.
6. Song C.W., Park H.J., Lee C.K., Griffin R. (2005) Implications of increased tumor flow and oxygenation caused by mild temperature hyperthermia in tumor treatment. *Int. J. of Hyperthermia*, 21(8): 761–767.
7. Erbes T. Hyperthermia-driven aberrations of secreted microRNAs in breast cancer in vitro / T. Erbes, M. Hirschfeld, S. Waldeck. // *Int. J. Hyperthermia*. – 2016. – С. P. 630–642.

УДК 537.6, 576

Свердліченко Д.Ю., магістрант,
науковий керівник: д.ф.-м.н., проф. Горобець О.Ю.
кафедра загальної фізики та моделювання фізичних процесів
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ДИНАМІКУ КОЛИВАННЯ ВНУТРІШНЬОКЛІТИННОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ ІОНІВ Ca^{2+}

Анотація. Динаміка коливань внутрішньоклітинної концентрації іонів кальцію впливає на перебіг фізіологічних процесів від скорочення м'язів до апоптозу. Неінвазивний метод точного контролю над динамікою коливань надає би можливість розробки новітніх терапевтичних та регуляторних підходів у галузях медицини та клітинної біології. Створити подібні методи можна поєднавши вже існуючі емпіричні моделі динаміки коливань внутрішньоклітинної концентрації кальцію із впровадженням модифікації, яка відповідала б за вплив магнітного поля. На меті цієї роботи є дослідження впливу магнітного поля на зміну динаміки коливання кальцію в ендотеліальних клітинах шляхом моделювання, для якого застосовується одна з найбільш доповнених моделей динаміки внутрішньоклітинної концентрації Ca^{2+} та одна з найсучасніших запропонованих модифікацій впливу магнітного поля до цієї моделі. В процесі моделювання знайдено нелінійні резонанси.

Abstract. The dynamics of change in intracellular calcium ion concentration affect the course of physiological processes from muscle contraction to apoptosis. A non-invasive method of precise control over the dynamics of this change would provide an opportunity to develop new therapeutic and regulatory approaches in the fields of medicine and cell biology. Such methods can be created through combination of existing empirical models for the dynamics of change in intracellular calcium concentration with the introduction of a modification that would account for the influence of the magnetic field. The aim of this work is to study the influence of the magnetic field on the change in the dynamics of calcium fluctuations in endothelial cells by modeling, for which one of the most currently complete models of the dynamics of intracellular Ca^{2+} concentration dynamics and one of the most modern proposed modifications to this model for the influence of the magnetic field are used. Nonlinear resonances were found in the modeling process.

Ключові слова: магнітні наночастинки; сигнальні шляхи; неінвазивні методи; внутрішньоклітинна концентрація; клітинна сигналізація; іони кальцію

Вступ. Іони кальцію, як сигнальні молекули, впливають на широкий перелік фізіологічних процесів, серед яких: скорочення м'язів [1, 2], нейромедіація [3], секреція гормонів [4], ріст [5, 6] і диференціація клітин [7], регуляція іонних каналів [8-10], експресія генів [11-14] та апоптоз [15-17].

Всі ці механізми мають практичне застосування в терапії або діагностиці. Зокрема, апоптоз вже використовується у терапії раку [18]. Також динаміка кальцієвої сигналізації у пухлинних клітинах відрізняється від здорових [19], що відкриває потенційні терапевтичні стратегії [20, 21].

Вплив кальцію на всі перелічені фізіологічні процеси є можливим через залежність активації сигнальних шляхів від таких параметрів коливання внутрішньоклітинної концентрації, як частота, амплітуда та робочий цикл [22]. На динаміку коливання мають безпосередній вплив іонні канали, насоси та зв'язувальні білки, регуляція активності яких може надати можливість контролю над внутрішньоклітинною концентрацією Ca^{2+} і, відповідно, на зазначені фізіологічні процеси (рис.1) [23, 24]. Такий вплив може бути забезпечений низкою методів, серед яких: фармакологічні втручання [25], механічні навантаження, опромінення, а також застосування магнітного поля [26-29].

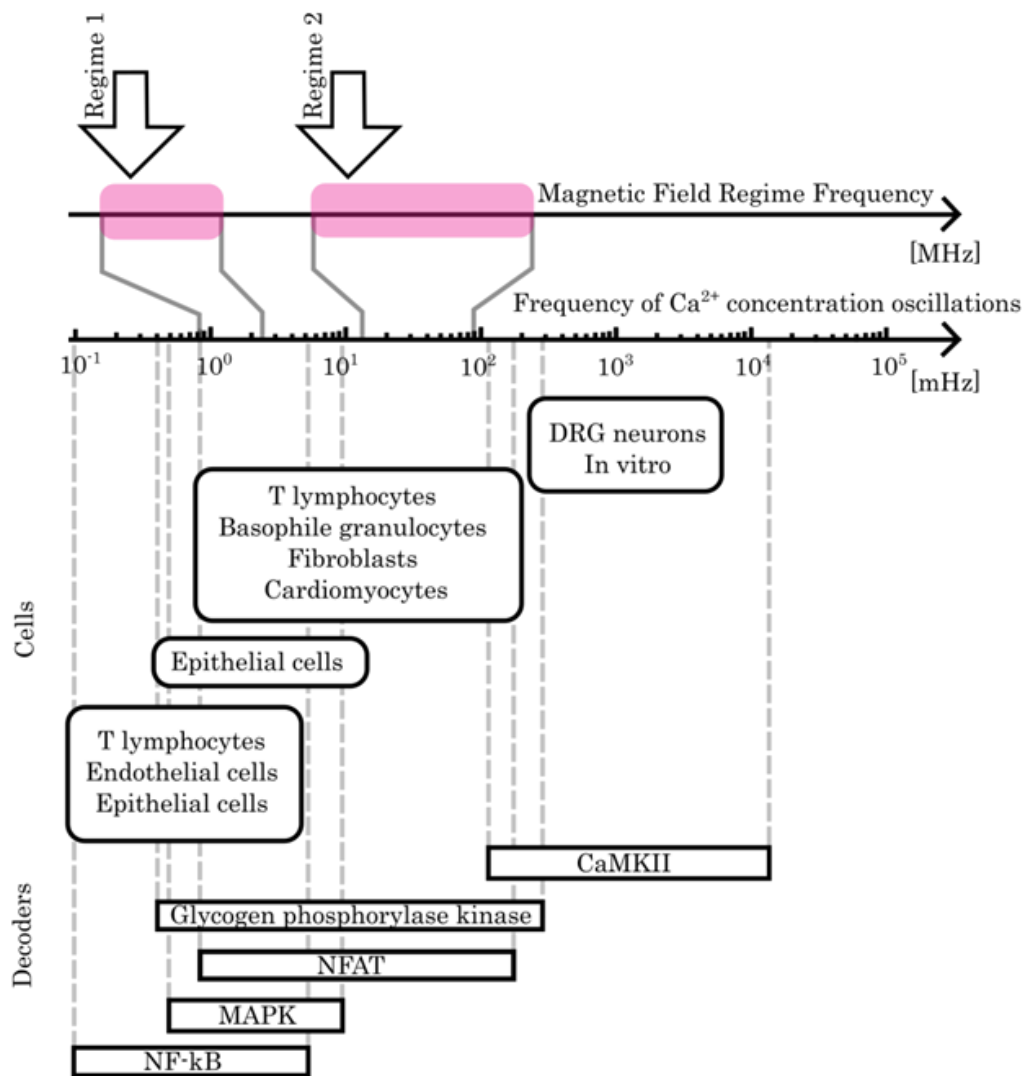


Рисунок 1 – Ілюстрація потенційного шляху магнітного впливу на Ca^{2+} -залежні канали [22].

Для прогнозування відгуку динаміки коливання внутрішньоклітинної концентрації кальцію на зовнішнє збурення необхідна достатньо точна модель, яка враховує всі елементи системи, що зумовлюють експериментально спостережувані коливання.

Наразі вже існують моделі, що дуже добре узгоджуються з експериментом, як наприклад емпірична модель Планка [30] для ендотеліальних клітин. У нещодавно опублікованих роботах за цим напрямком було запропоновано модифікацію (формула 1) [29] до загального доданку напруження зсуву, що в системі звичайних диференціальних рівнянь моделі Планка:

$$\tau = \tau_h + \tau_{magn}, \quad (1)$$

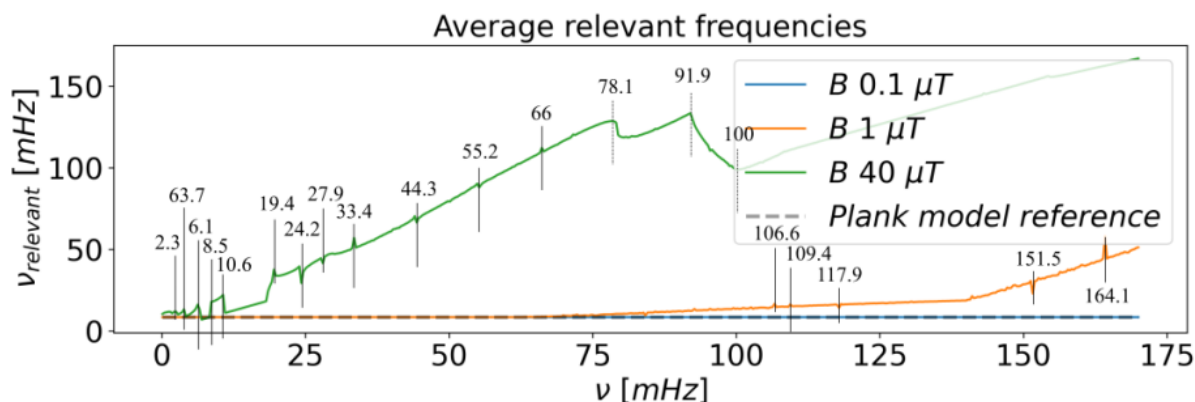
Мета та завдання дослідження. Метою даної роботи є дослідження впливу магнітного поля на внутрішньоклітинну концентрацію кальцію шляхом моделювання. Для цього обрано модель Планка, модифіковану доданком, що відповідає за вплив магнітного поля.

Матеріал та результати дослідження. Кальцієву динаміку було змодельовано на широкому діапазоні частот (0-175 мГц) за трьох значень магнітного поля (гіромагнітні 0.1, 1 мкТл та геомагнітне 40 мкТл), що найчастіше можуть зустрічатись у природніх умовах. Для більш доступного подання інформації для залежності від часу функції концентрації кальцію в цитозолі було обраховано характерні значення (такі як середня та максимальна концентрація, середня частота, робочий цикл та ін..)

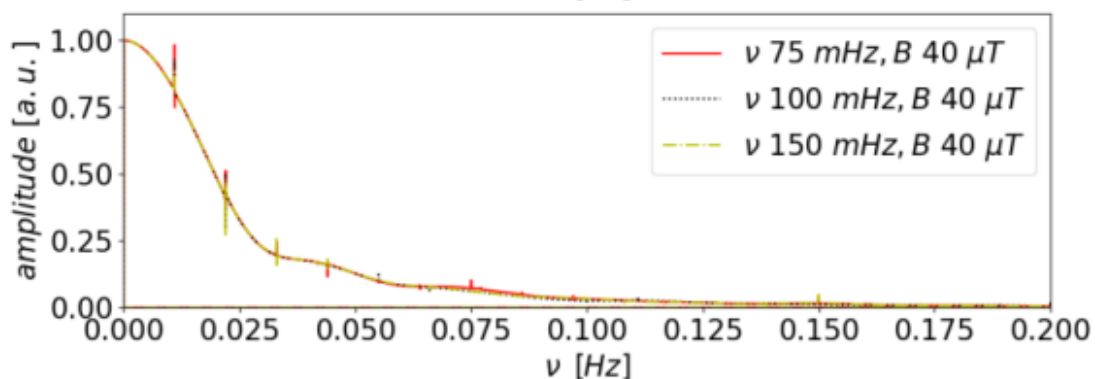
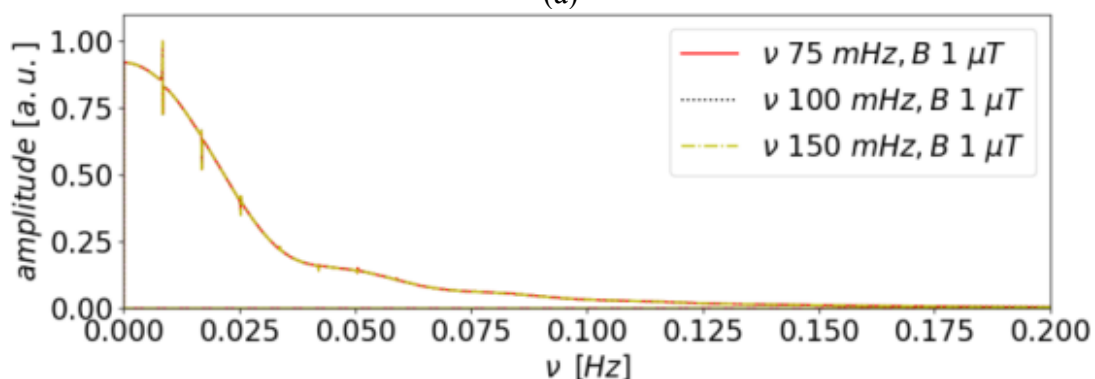
Для режимів із геомагнітними амплітудами індукції магнітного поля кальцій зазнав суттєві збільшення концентрації на частотах близько 15 мГц в порівнянні з рівнями концентрації у моделі Планка без впливу магнітного поля. Гіпомагнітні поля зумовили значно менше підвищення концентрації.

За дослідженими величинами спостерігались нелінійні резонанси (рис.2) на частотах, близьких до гармонік моделі Планка та супер(суб)гармонік її модифікації.

Висновки. В результаті моделювання окрім якісних результатів було встановлено піки резонансного характеру за всіма досліджуваними величинами, що характеризують концентрацію кальцію. Резонанси відбувалися близько супер(суб)гармонік модифікованої моделі та близько гармонік незміненої моделі Планка. Такі результати можуть бути притаманними системі через її нелінійність. За експериментального підтвердження їхнє подальше дослідження може допомогти сформувати необхідні режими впливу магнітного поля для досягнення бажаних значень частот та амплітуди коливань концентрації Ca^{2+} .



(а)



(б)

Рисунок 2 – Графік середніх частот динаміки коливань концентрації кальцію у модифікованій моделі Планка (а), на якому чітко видно резонансні піки та (б) відповідні Фур'є спектри залежної від часу функції концентрації внутрішньоклітинного кальцію.

Список використаних джерел:

- 1 Dong, M., A. D. Maturana. Effects of aging on calcium channels in skeletal muscle. *Frontiers in Molecular Biosciences*. 2025. Vol. 12. URL: <https://doi:10.3389/fmolb.2025.1558456>
- 2 Shivahare, S., B. P. S. Jadon. RYR2 and Calcium Signalling: A Review. *International Journal For Multidisciplinary Research*. 2025. Vol. 7, no. 1. URL: <https://doi:10.36948/ijfmr.2025.v07i01.34512>
- 3 Rupert, J., D. Milovanovic. At the crossroads of calcium signaling, protein synthesis and neuropeptide release. *eLife*. 2025. Vol. 14. URL: <https://doi:10.7554/eLife.106553>

- 4 Islam, M. S. Ryanodine Receptors in Islet Cell Function: Calcium Signaling, Hormone Secretion, and Diabetes. *Cells*. 2025. Vol. 14, no. 10. P. 690. URL: <https://doi:10.3390/cells14100690>
- 5 Díaz-Piña, D. A., N. Rivera-Ramírez, G. García-López, N. F. Díaz, A. Molina-Hernández. Calcium and Neural Stem Cell Proliferation. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024. Vol. 25, no. 7. P. 4073. URL: <https://doi:10.3390/ijms25074073>
- 6 Pinto, M. C. X. *et al.* Calcium signaling and cell proliferation. *Cellular Signalling*. 2015. Vol. 27, no. 11. PP. 2139–2149. URL: <https://doi:10.1016/j.cellsig.2015.08.006>
- 7 Tonelli, F. M. P. *et al.* Stem Cells and Calcium Signaling, in *Calcium Signaling*, 2012, PP. 891–916. URL: https://doi:10.1007/978-94-007-2888-2_40
- 8 Armstrong, C. M., G. Cota. Calcium ion as a cofactor in Na channel gating. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1991. Vol. 88, no. 15. PP. 6528–6531. URL: <https://doi:10.1073/pnas.88.15.6528>
- 9 Freitas, M. M., E. Gouaux. BPS2025 - Structural basis for calcium-dependent gating of the bile acid-sensitive ion channel. *Biophysical Journal*. 2025. Vol. 124, no. 3. P. 199a. URL: <https://doi:10.1016/j.bpj.2024.11.1112>
- 10 Ma, Z., U. Paudel, M. Wang, J. K. Foskett. A mechanism of CALHM1 ion channel gating. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*. 2025. Vol. 328, no. 4. PP. C1109–C1124. URL: <https://doi:10.1152/ajpcell.00925.2024>
- 11 West, A. E. *et al.* Calcium regulation of neuronal gene expression. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2001. Vol. 98, no. 20. PP. 11024–11031. URL: <https://doi:10.1073/pnas.191352298>
- 12 Campos, F. G. *et al.* Roles of Calcium Signaling in Gene Expression and Photosynthetic Acclimatization of Solanum lycopersicum Micro-Tom (MT) after Mechanical Damage. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. Vol. 23, no. 21. P. 13571. URL: <https://doi:10.3390/ijms232113571>
- 13 Duarte-Delgado, D., I. Vogt, S. Dadshani, J. León, A. Ballvora. Expression interplay of genes coding for calcium-binding proteins and transcription factors during the osmotic phase provides insights on salt stress response mechanisms in bread wheat. *Plant Molecular Biology*. 2024. Vol. 114, no. 6. P. 119. URL: <https://doi:10.1007/s11103-024-01523-z>
- 14 Zablotskii, V., O. Gorobets, S. Gorobets, T. Polyakova. Effects of Static and Low - Frequency Magnetic Fields on Gene Expression. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2025. URL: <https://doi:10.1002/jmri.29726>
- 15 Moon, D.-O. Calcium's Role in Orchestrating Cancer Apoptosis: Mitochondrial-Centric Perspective. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. Vol. 24, no. 10. P. 8982. URL: <https://doi:10.3390/ijms24108982>
- 16 Garbincius, J. F., J. W. Elrod. Mitochondrial calcium exchange in physiology and disease. *Physiological Reviews*. 2022. Vol. 102, no. 2. PP. 893–992. URL: <https://doi:10.1152/physrev.00041.2020>
- 17 Danese, A. *et al.* Cell death as a result of calcium signaling modulation: A cancer-centric prospective. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Cell Research*. 2021. Vol. 1868, no. 8. P. 119061. URL: <https://doi:10.1016/j.bbamcr.2021.119061>
- 18 Romito, O. *et al.* Calcium signaling: A therapeutic target to overcome resistance to therapies in cancer. *Cell Calcium*. 2022. Vol. 108. P. 102673. URL: <https://doi:10.1016/j.ceca.2022.102673>

- 19 Zheng, S., X. Wang, D. Zhao, H. Liu, Y. Hu. Calcium homeostasis and cancer: insights from endoplasmic reticulum-centered organelle communications. *Trends in Cell Biology*. 2023. Vol. 33, no. 4. PP. 312–323. URL: <https://doi:10.1016/j.tcb.2022.07.004>
- 20 Robitaille, M., G. R. Monteith. Cancer Progression and the Calcium Signaling Toolkit: Expanding Dimensions and Perspectives. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. 2025. P. a041767. URL: <https://doi:10.1101/cshperspect.a041767>
- 21 Liu, X. *et al.* Calcium channels as pharmacological targets for cancer therapy. *Clinical and Experimental Medicine*. 2025. Vol. 25, no. 1. P. 94. URL: <https://doi:10.1007/s10238-025-01632-z>
- 22 Smedler, E., P. Uhlén. Frequency decoding of calcium oscillations. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects*. 2014. Vol. 1840, no. 3. PP. 964–969. URL: <https://doi:10.1016/j.bbagen.2013.11.015>
- 23 Piseddu, I., C. Weidinger, J. Mayerle. Fine tuning calcium dynamics by inhibition of Store-operated Calcium Entry as a novel therapeutic approach for the treatment of chronic pancreatitis. *Cell Calcium*. 2023. Vol. 116. P. 102802. URL: <https://doi:10.1016/j.ceca.2023.102802>
- 24 Baracaldo-Santamaría, D. *et al.* Role of Calcium Modulation in the Pathophysiology and Treatment of Alzheimer’s Disease. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. Vol. 24, no. 10. P. 9067. URL: <https://doi:10.3390/ijms24109067>
- 25 Rodríguez, L. R. *et al.* Therapeutic Strategies Targeting Mitochondrial Calcium Signaling: A New Hope for Neurological Diseases? *Antioxidants*. 2022. Vol. 11, no. 1. P. 165. URL: <https://doi:10.3390/antiox11010165>
- 26 Mackey, C. *et al.* Mechanical Modulation, Physiological Roles, and Imaging Innovations of Intercellular Calcium Waves in Living Systems. *Cancers*. 2025. Vol. 17, no. 11. P. 1851. URL: <https://doi:10.3390/cancers17111851>
- 27 Cho, J. *et al.* Optogenetic calcium modulation in astrocytes enhances post-stroke recovery in chronic capsular infarct. *Science Advances*. 2025. Vol. 11, no. 5. URL: <https://doi:10.1126/sciadv.adn7577>
- 28 Gorobets, S. V., O. Y. Gorobets, K. O. Rachek, A. M. Ryazanova. Effect of magnetic field and magnetic nanoparticles on endothelial cells phenotype selection. *Innovative Biosystems and Bioengineering*. 2024. Vol. 8, no. 3. PP. 12–21. URL: <https://doi:10.20535/ibb.2024.8.3.292667>
- 29 Gorobets, O., S. Gorobets, T. Polyakova, V. Zablotskii. Modulation of calcium signaling and metabolic pathways in endothelial cells with magnetic fields. *Nanoscale Advances*. 2024. Vol. 6, no. 4. PP. 1163–1182. URL: <https://doi:10.1039/D3NA01065A>
- 30 Plank, M. J., D. J. N. Wall, T. David. Atherosclerosis and calcium signalling in endothelial cells. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*. 2006. Vol. 91, no. 3. PP. 287–313. URL: <https://doi:10.1016/j.pbiomolbio.2005.07.005>

УДК 536.2

Чирка Ю.В., магістрант
науковий керівник: доктор філософії **Майкут С.О.**
кафедра загальної фізики та моделювання фізичних процесів
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ ТЕПЛОВІДВОДУ ПРИСТРОЇВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

Анотація. У роботі досліджено проблему тепловідводу в компактних пристроях інформаційної електроніки на прикладі бездротового маршрутизатора. Показано, що мініатюризація компонентів та зростання теплових навантажень призводять до локальних перегрівів, які знижують продуктивність, прискорюють деградацію елементів і скорочують термін служби обладнання. Проведено аналіз конструкції роутера, визначено основні джерела тепла та проблемні зони тепловідведення. Виконано моделювання у середовищі COMSOL Multiphysics з урахуванням теплопровідності, конвекції та теплового випромінювання. Розроблено та порівняно кілька варіантів оптимізації охолодження, включаючи застосування пасивних радіаторів, термопрокладок та конструктивні зміни корпусу. Запропоноване оптимізоване рішення забезпечує зниження температури ключових компонентів на 10–18 % без збільшення енергоспоживання. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні нових моделей маршрутизаторів та модернізації існуючих пристроїв.

Abstract. This paper presents a study of heat dissipation issues in compact information electronics devices using a wireless router as an example. Due to component miniaturization and increasing thermal loads, local overheating becomes a significant problem, reducing performance, accelerating component degradation, and shortening device lifespan. The router's internal structure was analyzed to identify major heat sources and critical thermal zones. A multiphysics simulation was performed in COMSOL Multiphysics considering conduction, convection, and thermal radiation. Several cooling optimization approaches were developed and compared, including passive heatsinks, thermal interface materials, and design modifications to improve airflow. The proposed optimized solution reduces the temperature of critical components by 10–18% without increasing power consumption. The results can be applied in the development of new router models and the modernization of existing network devices.

Ключові слова: тепловідвід, роутер, COMSOL Multiphysics, теплопровідність, конвекція, перегрів, пасивне охолодження.

Вступ. Проблема забезпечення ефективного тепловідведення у пристроях інформаційної електроніки є однією з ключових у сучасному приладобудуванні. Зростання продуктивності мікросхем, збільшення щільності монтажу та зменшення габаритів електронних систем призводять до підвищення теплових навантажень, що, у свою чергу, викликає локальні перегріви та погіршення надійності обладнання. Особливо актуально це для компактних мережевих пристроїв, таких як бездротові маршрутизатори, які працюють цілодобово та часто в умовах обмеженої вентиляції.[2]

Аналіз останніх досліджень свідчить про значний науковий інтерес до методів теплопередачі та оптимізації систем охолодження в електроніці. У роботах провідних

дослідників розглядаються питання теплопровідності матеріалів, моделювання конвективних потоків та підвищення ефективності радіаторів і теплових трубок. Однак більшість досліджень зосереджені на високопродуктивній комп'ютерній техніці й серверному обладнанні, тоді як малогабаритні маршрутизатори, які мають свої конструктивні особливості та працюють у складних умовах теплового режиму, залишаються недостатньо вивченими.

Нерозв'язаною залишається проблема комплексного підходу до аналізу теплових процесів у маршрутизаторах із застосуванням сучасних інструментів моделювання, що враховують теплопровідність, природну конвекцію та теплове випромінювання. Саме цим питанням присвячено дане дослідження.

Мета та завдання дослідження. Мета роботи – підвищення ефективності тепловідведення в пристроях інформаційної електроніки шляхом моделювання, аналізу та оптимізації температурних режимів роботи бездротового маршрутизатора на основі чисельних методів у середовищі COMSOL Multiphysics.[3]

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі завдання дослідження:

1. Проаналізувати конструкцію обраного маршрутизатора, його теплові характеристики та основні джерела тепловиділення.
2. Визначити проблемні зони тепловідведення та оцінити їхній вплив на загальний тепловий режим пристрою.
3. Розробити базову 3D-модель роутера в COMSOL Multiphysics із урахуванням теплопровідності, конвекції та теплового випромінювання.
4. Провести чисельне моделювання теплових процесів і виконати аналіз отриманого температурного поля.
5. Розробити та промодельовати декілька варіантів удосконалення системи охолодження, включаючи конструктивні та матеріальні рішення.
6. Порівняти ефективність запропонованих варіантів охолодження та визначити оптимальний підхід.
7. Надати практичні рекомендації щодо впровадження оптимізованої системи тепловідведення в мережевих пристроях.

Матеріал та результати дослідження. Матеріалом дослідження є бездротовий маршрутизатор середнього класу, вибраний як типовий приклад компактного пристрою інформаційної електроніки з високою щільністю розміщення компонентів. Було проведено аналіз його конструкції, що включав вивчення топології друкованої плати, розташування мікросхем та силових елементів, типу корпусу та вентиляційних отворів. Визначено основні джерела тепловиділення: системна мікросхема (SoC), радіомодулі Wi-Fi, оперативна пам'ять, комутатор Ethernet та силові DC/DC-перетворювачі [4].

Для оцінки теплової поведінки пристрою виконано експериментальні вимірювання температури ключових вузлів у штатному режимі роботи при температурі навколишнього середовища 25 °C. Отримані дані показали наявність локальних «гарячих точок» із максимальними температурами: 78–85 °C для SoC, 72–78 °C для радіомодуля 5 ГГц та 85–92 °C для DC/DC-перетворювача. Це підтвердило недостатню ефективність штатної пасивної вентиляції корпусу та актуальність подальшого моделювання [1].

Для кількісного аналізу було побудовано тривимірну модель роутера у COMSOL Multiphysics із урахуванням основних механізмів теплопередачі: теплопровідності, природної конвекції та теплового випромінювання. У модель включено матеріали корпусу (пластик), друкованої плати (FR4), мікросхем (кремній, компаунд) та джерела тепла, відповідні реальним потужностям компонентів. Моделювання базового стану підтвердило

експериментальні дані: температура SoC досягала 84–86 °C, а зони навколо силових компонентів формували ізотермічні області з висхідними потоками нагрітого повітря, що погіршували тепловідведення.

Для оптимізації теплового режиму було розглянуто кілька варіантів конструктивних змін:

1. Встановлення пасивного алюмінієвого радіатора на SoC.

Моделювання показало зниження максимальної температури мікросхеми на 12–14 % завдяки збільшенню площі теплообміну.

2. Додавання теплопровідної термопрокладки між радіомодулем і верхньою кришкою корпусу.

Це зменшить температуру радіомодуля на 6–8 °C за рахунок створення додаткового теплового шляху.

3. Оптимізація вентиляційних отворів корпусу.

Розширення та зміна геометрії прорізів забезпечили покращення природної конвекції, що дало зниження температури всередині корпусу на 3–5 °C.

4. Комбіноване рішення: радіатор + термопрокладка + оптимізовані отвори.

Це дало найбільш ефективний результат: температура SoC знизилася до 68–72 °C, а силових компонентів — до 74–79 °C.

Порівняльний аналіз моделей показав, що внесення конструктивних змін зменшує тепловий опір системи на 18–22 %, значно підвищуючи стабільність роботи пристрою та продовжуючи його термін служби. Оптимізоване рішення практично не збільшує габарити та не потребує додаткової енергії, що робить його придатним для масового застосування в компактних мережевих пристроях.

Висновки. У результаті проведеного дослідження було встановлено, що проблема ефективного тепловідведення в компактних пристроях інформаційної електроніки є критично важливою для забезпечення їхньої надійності, стабільності роботи та довговічності. Аналіз конструкції маршрутизатора показав наявність локальних зон перегріву, зумовлених високою щільністю компонентів, недостатньою теплопровідністю матеріалів корпусу та обмеженою природною конвекцією.

Експериментальні вимірювання підтвердили, що температура ключових вузлів — SoC, радіомодулів та силових перетворювачів — наближається до верхніх меж допустимого діапазону, що створює ризик теплового тротлінгу, деградації компонентів і скорочення ресурсу пристрою. Базове моделювання в COMSOL Multiphysics продемонструвало відповідність експериментальних даних та дозволило детально оцінити структуру температурних полів усередині корпусу.

Запропоновані та промодельовані варіанти оптимізації показали суттєве підвищення ефективності тепловідведення. Найбільш результативним виявилось комбіноване рішення, що включає встановлення пасивного радіатора на SoC, застосування теплопровідної термопрокладки та модифікацію вентиляційних отворів. Це дозволило знизити температуру ключових компонентів на 10–18 % та зменшити тепловий опір системи на 18–22 %.

Отримані результати підтверджують, що відносно прості та маловитратні конструктивні вдосконалення можуть забезпечити значне покращення температурного режиму мережевих пристроїв без зміни їхньої енергетичної структури та без збільшення габаритів. Запропонована методика моделювання теплових процесів може бути використана для проектування нових моделей маршрутизаторів, а також для модернізації наявного обладнання.

Перспективою подальших досліджень є розширення моделі для аналізу поведінки пристрою при змінних зовнішніх температурах, дослідження впливу примусової конвекції та застосування сучасних теплопровідних матеріалів, таких як графенові інтерфейси або композитні теплові шини.

Список використаних джерел

1. Савчук І. М., Петренко В. П. Оптимізація пасивних радіаторів для систем-на-кристалі в компактних пристроях // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. 2023. № 4. С. 34–40.
2. Чирка Ю. В., Майкут С. О. Експериментальне дослідження та моделювання теплових режимів бездротових маршрутизаторів // Матеріали V Міжнар. наук.-техн. конф. «Сучасні проблеми радіоелектроніки та телекомунікацій» (м. Київ, 10–12 квітня 2025 р.). Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2025. С. 112–115.
3. COMSOL Multiphysics User's Guide / COMSOL AB. Стокгольм : COMSOL AB, 2023. 1250 p.
4. Keenetic Giga KN-1011. Технічний опис та керівництво користувача [Електронний ресурс] / Keenetic Limited. 2023. URL: <https://keenetic.ua/>.

СЕКЦІЯ 2. МАТЕМАТИКА

УДК 519.8

Малєєва О. В., магістрант,
науковий керівник: к.ф.-м.н., доцент **Крошко Н. В.**
кафедра математичного аналізу та теорії ймовірностей
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОЦІНКА АРБІТРАЖНОЇ МОЖЛИВОСТІ НА ВАЛЮТНОМУ РИНКУ

Анотація. У роботі досліджено можливість виникнення валютного арбітражу на українському ринку на основі порівняння банківських та позабанківських котирувань. Проаналізувавши дані ПриватБанку, не було виявлено арбітражних відхилень, тоді як усереднені курси обмінників виявили потенційну можливість отримання арбітражного прибутку. Усі результати отримано шляхом розв'язання задач лінійного програмування в середовищі Microsoft Excel. Розв'язки демонструють нерівномірний рівень ефективності різних сегментів валютного ринку та окреслюють потенціал для подальших досліджень його цінових неузгодженостей.

Abstract. The article investigates the possibility of currency arbitrage in the Ukrainian market based on the analysis of bank and non-bank quotes. Analyzing the data of PrivatBank, no arbitrage deviations were detected, while the average exchange rates revealed the potential for arbitrage profits. All results were obtained by solving linear programming problems in Microsoft Excel. The solutions demonstrate the uneven level of efficiency of different segments of the foreign exchange market and outline the potential for further research into its price discrepancies.

Ключові слова: валютний арбітраж, валютні котирування, ефективність ринку, валютний ринок.

Вступ. Валютний ринок України характеризується високою волатильністю, що є наслідком економічної нестабільності та невизначеності під час війни. Дослідження арбітражних можливостей дозволяє зрозуміти стан ринку, тобто оцінити ефективність його функціонування. Дана тема є актуальною сьогодні, оскільки відображає особливості сучасного українського валютного ринку та дає змогу виявити наявність арбітражу.

Мета та завдання дослідження. Виявлення арбітражних можливостей на українському валютному ринку.

Валютний ринок України – це сукупність відносин у сфері торгівлі валютними цінностями в Україні між суб'єктами валютного ринку України (далі – суб'єкти ринку), між суб'єктами ринку та їх клієнтами (уключаючи банки-нерезиденти), між суб'єктами ринку і Національним банком України (далі – Національний банк), а також між Національним банком і його клієнтами [1].

Встановлення вартості однієї валюти в одиницях іншої валюти називають валютним котируванням.

Валютний арбітраж – особливий вид валютних угод, основною метою проведення якого є отримання прибутку і уникнення можливих валютних втрат шляхом використання сприятливої кон'юнктури валютних ринків [2]. Тобто, головною ціллю є придбати за нижчою ціною, а продати за вищою.

За кількістю валюти арбітраж поділяється на простий та складний. Простий арбітраж передбачає використання двох валют, а складний — трьох і більше. Якщо в обміні беруть участь три різні грошові одиниці, то такий арбітраж має назву трикутний.

Валютний ринок вважають ефективним, якщо курси формуються швидко та вірно узгоджені між собою. Тоді існування арбітражної можливості свідчить про нерівноважність системи.

Перейдемо до розгляду практичної частини дослідження. Для аналізу було прийнято початковий капітал у розмірі 10000 гривень. Для дослідження було обрано п'ять валют: гривню, євро, долар США, чеську крону, польський злотий. На підставі офіційних курсів ПриватБанку за 24.10.2025 було побудовано модель.

Нехай x_{ij} є кількістю валюти i , що конвертується у валюту j , а f_k — остаточна чиста кількість валюти. Отже, наша мета це максимізацію прибутку, розрахованого в гривнях.

За таких умов математична постановка задачі валютного арбітражу у форматі лінійного програмування набуває такого вигляду:

$$\begin{aligned} f_1 &= 41.39x_{21} + 47.9x_{31} + 1.6x_{41} + 10.7x_{51} - (x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15}) \rightarrow \max \\ 41.39x_{21} + 47.9x_{31} + 1.6x_{41} + 10.7x_{51} - (x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15}) &\geq 10000 \\ 0.02x_{12} + 1.14x_{32} + 0.04x_{42} + 0.25x_{52} - (x_{21} + x_{23} + x_{24} + x_{25}) &= 0 \\ 0.02x_{13} + 0.85x_{23} + 0.03x_{43} + 0.22x_{53} - (x_{31} + x_{32} + x_{34} + x_{35}) &= 0 \\ 0.5x_{14} + 20.89x_{24} + 24.18x_{34} + 5.4x_{54} - (x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{45}) &= 0 \\ 0.5x_{15} + 20.89x_{25} + 24.18x_{35} + 5.4x_{45} - (x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54}) &= 0 \\ x_{ij} &\geq 0, \text{ де } i = \overline{1,5}, j = \overline{1,5}. \end{aligned}$$

Для розв'язання задачі оптимізації було використано надбудову **Solver** у *Microsoft Excel*, яка реалізує симплекс-метод. Але розв'язки не були знайдені, це свідчить про відсутність арбітражної можливості. Результати показують, що курси ПриватБанку перебувають у рівновазі та не допускають виникнення арбітражних відхилень. Для клієнтів банку це означає, що вони отримують прозорий та обґрунтований курс. Відсутність неточностей підвищує довіру до даної фінансової установи.

На наступному етапі дослідження було сформовано інший набір валют з метою пошуку потенційної арбітражної можливості. До нього увійшли гривня, польський злотий, чеська крона, турецька ліра та японська єна. Турецька ліра та єна не представлені в українських банках для обміну. Тому для цих валют було використано усереднені курси, оприлюднені обмінними пунктами, значення було отримано з ресурсу «Мінфін».

Нова поставлена задача має такий вигляд:

$$\begin{aligned} f_1 &= 11.47x_{21} + 2x_{31} + x_{41} + 0.27x_{51} - (x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15}) \rightarrow \max \\ 11.47x_{21} + 2x_{31} + x_{41} + 0.27x_{51} - (x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15}) &\geq 10000 \\ 0.09x_{12} + 0.17x_{32} + 0.09x_{42} + 0.02x_{52} - (x_{21} + x_{23} + x_{24} + x_{25}) &= 0 \\ 0.5x_{13} + 5.47x_{23} + 0.5x_{43} + 0.14x_{53} - (x_{31} + x_{32} + x_{34} + x_{35}) &= 0 \\ 0.88x_{14} + 11.49x_{24} + 2x_{34} + 0.27x_{54} - (x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{45}) &= 0 \\ 3.64x_{15} + 41.78x_{25} + 7.28x_{35} + 3.64x_{45} - (x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54}) &= 0 \\ x_{ij} &\geq 0, \text{ де } i = \overline{1,5}, j = \overline{1,5}. \end{aligned}$$

Розрахунки показали, що отримано арбітражний прибуток у розмірі 341 гривні. Це свідчить про неузгодженість курсів. Причини виникнення цієї проблеми можуть бути різноманітними, але основні з них це різниця у часі та ринкові обмеження.

Побудуємо відповідний граф (Рис. 1). У ньому вузли відповідають окремим валютам, а дуги відображають можливі операції обміну між ними.

З побудованого графа видно, що реалізується трикутний арбітраж. Обмін відбувається за схемою: гривня → злотий → ліра → гривня.

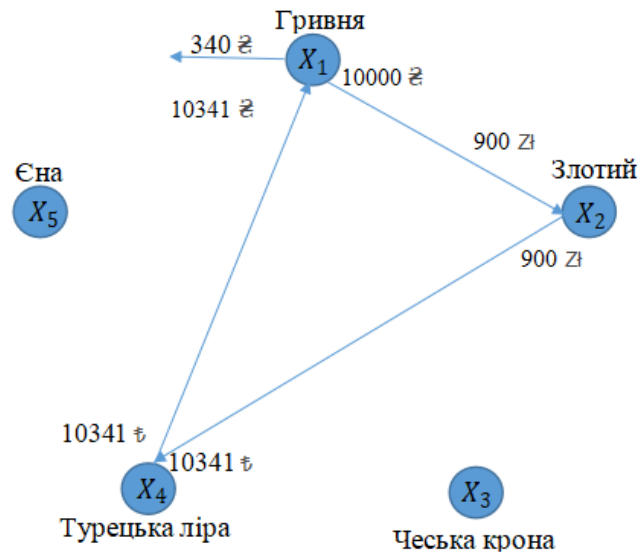


Рисунок 1—Граф валютного арбітражу.

Висновки. Проведене дослідження дозволило оцінити наявність арбітражних можливостей у різних сегментах валютного ринку України. Результати аналізу демонструють різну ступінь їхньої ефективності. Курси валют, які легко можна обміняти в українських банках, є добре узгодженими на момент проведення дослідження. Відсутність арбітражу свідчить про стабільне та ефективне ціноутворення. Проте валюти, що менш доступні на українському ринку, мають більшу схильність до виявлення короткострокових неузгодженостей. Ці проблеми зумовлені несвоєчасним оновленням або неточним котируванням курсів. Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні набору валют, аналізі динаміки арбітражних можливостей у часі та застосуванні інших методів оптимізації для глибшого вивчення ринкової рівноваги.

Список використаних джерел:

1. Про затвердження Положення про структуру валютного ринку України, умови та порядок торгівлі іноземною валютою та банківськими металами на валютному ринку України : Постанова Нац. банку України від 02.01.2019 № 1.
2. Івасів Б. С., Прийдун Л. М., Рудан В. Я. Міжнародні розрахунки та валютні операції : навч. посіб. Тернопіль : Вектор, 2013. 572 с.
3. Cornuejols G., Tütüncü R. Optimization Methods in Finance. Pittsburgh: Carnegie Mellon University, 2006. 284 p.

**СЕКЦІЯ 3. МЕТОДИКА ВИКЛАДАННЯ
ПРИРОДНИЧИХ ДИСЦИПЛІН**

УДК 539.2; 548.4; 548.7; 620.18; 372.853

Рудик А.А., магістрант
кафедра загальної фізики та моделювання фізичних процесів
науковий керівник: д.ф.-м.н., проф. **Решетняк С.О.**
кафедра загальної фізики
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ПЕРЕБУДОВИ КРИСТАЛІЧНОЇ СТРУКТУРИ АЛМАЗНОГО ПОРОШКУ В РАМКАХ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ З ОСВІТНЬОГО КОМПОНЕНТУ "ФІЗИКА ТВЕРДОГО ТІЛА"

Анотація. У роботі подано результати експериментального вивчення структурних змін синтетичного алмазного порошку під дією електронного опромінення та подальшого високотемпературного відпалу. Дослідження виконано в межах лабораторного практикуму з використанням скануючої електронної мікроскопії та рентгенівської дифрактометрії. Проаналізовано морфологічну еволюцію частинок, уточнено характер зміни міжплощинних відстаней, розмірів областей когерентного розсіяння та мікродеформацій. Встановлено узгоджені тенденції переструктурування кристалічної решітки, що проявляються через дефектно-індуковане розширення піків, зміни текстурних параметрів і часткове відновлення упорядкування після термообробки. Результати можуть слугувати основою для подальших навчальних і прикладних досліджень з модифікації властивостей алмазних абразивів.

Abstract. The paper presents the results of an experimental study of structural changes in synthetic diamond powder under the influence of electron irradiation and subsequent high-temperature annealing. The study was carried out within the framework of a laboratory workshop using scanning electron microscopy and X-ray diffractometry. The morphological evolution of particles was analyzed, the nature of the change in interplanar distances, the sizes of coherent scattering regions, and microdeformations was clarified. Consistent trends in the restructuring of the crystal lattice were established, which are manifested through defect-induced peak broadening, changes in texture parameters, and partial restoration of ordering after heat treatment. The results can serve as the basis for further educational and applied research on the modification of the properties of diamond abrasives.

Ключові слова: алмазний порошок, електронне опромінення, рентгенівська дифрактометрія, СЕМ, кристалічна структура, дефекти кристалічної решітки

Вступ Синтетичні алмазні абразиви активно застосовуються у матеріалообробці, тому контроль їхньої структурної стабільності має як наукове, так і технологічне значення. Моделювання радіаційно-індукованих дефектів дозволяє зрозуміти межі працездатності алмазних матеріалів і оцінити можливість керованої модифікації їхніх властивостей. Попередні дослідження демонструють, що електронне опромінення та термообробка здатні змінювати мікродеформації й параметри ґратки, проте для дрібнодисперсних порошків питання характеру цих змін залишається недостатньо деталізованим [1-3]. У межах лабораторного практикуму було проведено комплексне дослідження, спрямоване на уточнення поведінки кристалічної решітки синтетичного алмазу в умовах зовнішнього впливу.

Мета та завдання дослідження Метою є аналіз закономірностей структурної перебудови синтетичного алмазного порошку після електронного опромінення та наступного високотемпературного відпалу.

Завдання дослідження:

- охарактеризувати вихідну морфологію частинок та ступінь поверхневої дефектності;
- за дифракційними даними визначити параметри ґратки, розміри областей когерентного розсіяння та мікродеформації до й після опромінення;
- дослідити вплив термообробки на релаксацію дефектної підсистеми;
- встановити зв'язок між морфологічними та рентгеноструктурними змінами, що виникають під дією зовнішніх факторів.

Матеріал та результати дослідження

1. Морфологічні зміни за даними СЕМ

Первинний порошок характеризується добре вираженою гранною морфологією частинок розміром кілька десятків мікрометрів. На поверхні спостерігаються борозни та сколи, що є наслідком механічної класифікації. Після електронного опромінення інтенсивністю кілька Мрад виявлено появу дрібних поверхневих пор, локальних зон матування, а також збільшення кількості дрібних тріщин. Це свідчить про нерівномірне накопичення радіаційно-індукованих напружень у межах окремих зерен.

Відпал при температурі понад 700–800 °С зменшує контраст поверхневих дефектів, що узгоджується з частковою релаксацією надлишкових міжвузлових атомів та вакансій, які формують комплекси, відомі з літератури як центри типу V, H3 тощо.

2. Рентгеноструктурний аналіз (XRD)

Вихідні дифрактограми демонструють чіткі піки площин (111), (220) та (311) алмазної ґратки. При аналізі ширини за рівнем половинної інтенсивності FWHM виявлено, що після опромінення спостерігається:

- розширення піків — наслідок збільшення мікродеформацій та зменшення ОКР;
- незначні зміщення максимумів у бік більших кутів 2θ — що відповідає зменшенню параметра ґратки, типового для алмазу з високою концентрацією точкових дефектів;
- збільшення асиметрії піків — індикатор нерівномірного розподілу внутрішніх напружень.

Після відпалу піки звужуються, а їх положення зміщується ближче до значень вихідного зразка. Це підтверджує часткову рекомбінацію дефектів та відновлення більш упорядкованого стану кристалічної решітки. Проте повної релаксації не відбувається, що характерно для порошоків з високим питомим дефектним об'ємом.

3. Інтерпретація результатів

Порівняння морфологічних та рентгеноструктурних даних показує, що електронне опромінення формує дефектну підсистему двох типів: поверхневу та об'ємну. Поверхневі зміни проявляються у збільшенні кількості тріщин і точкових пошкоджень, тоді як об'ємні зміни зумовлюють мікродеформації, що реєструються методом XRD.

Відпал дозволяє частково відновити параметр ґратки, збільшити розміри ОКР та зменшити розкидання мікродеформацій. Це узгоджується з моделями рекомбінації вакансій та міжвузлових атомів, описаних у класичних роботах Еванса, Бурштейна та др.

Узагальнено, порошок демонструє ті ж тенденції, що й монокристали алмазу, але з вищою нерівномірністю процесів, зумовленою малим розміром частинок і значною часткою поверхні.

Висновки У результаті експериментального дослідження встановлено, що електронне опромінення суттєво впливає на кристалічну структуру синтетичного алмазного порошку. Основні зміни проявляються у зростанні мікродеформацій, зменшенні областей когерентного розсіяння та розширенні дифракційних піків. Морфологічні дані підтверджують накопичення поверхневих дефектів і нерівномірний розподіл напружень, що формуються всередині дрібнодисперсних частинок.

Високотемпературний відпал спричиняє часткове повернення структури до більш рівноважного стану: зменшується ширина дифракційних максимумів, частково відновлюється параметр ґратки та знижується розкид мікродеформацій. Зіставлення результатів XRD та СЕМ дозволяє стверджувати, що система демонструє послідовну релаксаційну поведінку, яка узгоджується з відомими моделями рекомбінації вакансій і міжвузлових атомів.

Окремо слід відзначити, що матеріали й методики, розроблені в межах цього дослідження, було інтегровано до лабораторного практикуму для бакалаврів спеціальності Е5 освітньої програми «Моделювання фізичних процесів». Лабораторні роботи, присвячені аналізу структурних змін у кристалах методами СЕМ та XRD, дозволяють студентам працювати з реальними експериментальними даними, оволодівати сучасними методами дослідження твердого тіла та отримувати практичні навички інтерпретації результатів у контексті фізичної моделі процесів. Впровадження таких завдань підсилює прикладну складову освітньої програми та розширює можливості формування компетентностей у галузі експериментального матеріалознавства.

Список використаних джерел

1. Field, J. E. (Ed.) *The Properties of Natural and Synthetic Diamond*. Academic Press, 1992.
2. Zaitsev, A. M. *Optical Properties of Diamond: A Data Handbook*. Springer, 2001.
3. Will, G. *Powder Diffraction: The Rietveld Method and the Two-Stage Method*. Springer, 2006.
3. Collins, A. T. "The Characterization of Point Defects in Diamond." *Diamond and Related Materials*, 2001, 10(3–7), pp. 1350–1360.

Нор О.І., магістрант,
науковий керівник: к.ф.-м.н. **Печерська К.Ю.**
кафедра загальної фізики та моделювання фізичних процесів
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МАЙБУТЬОГО ВЧИТЕЛЯ ФІЗИКИ

Анотація *В роботі розглянуто, що таке професійна компетентність, з яких вона складається компонентів, які засади її формування. Однією з умов її формування є забезпечення цілісності процесу організації різноманітної діяльності, в ході якої вчитель включається в активні суспільні відносини, які, стимулюють становлення і розвиток суспільно-цінних і професійно-етичних якостей, що сприяють розвитку умінь і навичок успішної організації і пізнавальної діяльності школярів, у тому числі і експериментальних умінь і навичок у процесі пізнання оточуючого світу, правильного використання знань для пояснення природних явищ і процесів та наукового світогляду. Використання інформаційних технологій під час вивчення фізики відкриває широкі можливості для підвищення ефективності навчального процесу, що безпосередньо пов'язано з компетентністю вчителя, а саме практичною її складовою. Але проблемним питанням залишається ефективна організація навчання фізики для майбутніх учителів природничих наук так, щоб вона не лише забезпечувала знання, але і формувало професійні компетентності, здатність до логічного і критичного мислення та наукового аналізу природних явищ.*

Abstract *The work examines what professional competence is, what components it consists of, and the principles of its formation. One of the conditions for its formation is to ensure the integrity of the process of organizing various activities, during which the teacher is included in active social relations, which stimulate the formation and development of socially valuable and professional and ethical qualities that contribute to the development of skills and abilities for the successful organization and cognitive activity of schoolchildren, including experimental skills and abilities in the process of knowing the world around them, the correct use of knowledge to explain natural phenomena and processes, and a scientific worldview. The use of information technologies in the study of physics opens up wide opportunities for increasing the effectiveness of the educational process, which is directly related to the teacher's competence, namely its practical component. But the problematic issue remains the effective organization of physics teaching for future science teachers so that it not only provides knowledge, but also forms professional competencies, the ability for logical and critical thinking, and scientific analysis of natural phenomena.*

Ключові слова: компетентність, вчитель фізики, освіта

Професійна компетентність – це інтегральна професійноособиста характеристика, що визначає готовність і здатність виконувати педагогічні функції відповідно до прийнятих в соціумі в конкретно-історичний момент нормами педагогічної етики, стандартами, вимогами, стилю мислення, соціальних функцій педагога. У багатьох авторів виділені чотири структурні компоненти професійної компетентності, а саме: особистісно-

гуманітарна орієнтація, системне сприйняття педагогічної реальності, орієнтація в предметній області, володіння педагогічними технологіями, які в сучасній педагогічній освітній ситуації постійно розвиваються і доповнюються. Всі ці складові тісно переплітаються, утворюючи складну структуру.

Виходячи з цього, найважливішою умовою формування професійної компетентності майбутнього вчителя фізики є забезпечення цілісності процесу організації різноманітної діяльності, в ході якої він включається в активні суспільні відносини, які, детермінуючи поведінку, стимулюють становлення і розвиток суспільно-цінних і професійно-етичних якостей, що постійно сприяють розвитку умінь і навичок успішної організації і пізнавальної діяльності школярів, у тому числі і експериментальних умінь і навичок у процесі пізнання оточуючого світу, правильного використання знань для пояснення природних явищ і процесів та наукового світогляду. При цьому важливим є суспільний сенс і мета діяльності, її призначення і соціальна спрямованість. Відтак сама організація навчально-виховної роботи у педагогічному ВНЗ робить певний вплив на формування професійної компетентності майбутнього вчителя фізики.

На думку Н.О. Цодікової [3] рівень компетентності випускників спеціальності «Фізика» першочергово залежить від володіння уміннями та навичками з використання сучасної комп'ютерної техніки у майбутній професійній діяльності.

Саме використання НІТ під час вивчення фізики відкриває широкі можливості для підвищення ефективності навчального процесу, що безпосередньо пов'язано з компетентністю вчителя, а саме практичною її складовою. Посилення професійної спрямованості у підготовці майбутнього учителя фізики має передбачати як обов'язковий елемент наявність практикуму, який сприяє підвищенню рівня загальної професійної компетентності та практичної її складової через використання ПК на уроках фізики різних видів.

Використання ПК дозволяє раціонально розподілити час, відведений на вивчення конкретної теми з фізики, сприяє підвищенню емоційного сприйняття теоретичного матеріалу, підвищенню його інформативності, доступності та наочності. Аналіз змісту методики навчання фізики показує, що абсолютно всі компоненти наукових знань пов'язані з експериментом з фізики. Навчальний експеримент є одним з основних методів навчання та засобом наочності.

Проблемним питанням є, як ефективно організувати навчання фізики для майбутніх учителів природничих наук так, щоб воно не лише забезпечувало знання, але і формувало професійні компетентності, здатність до логічного і критичного мислення та наукового аналізу природних явищ. Незважаючи на значну кількість робіт, присвячених різним аспектам методичної підготовки майбутнього вчителя фізики, хімії, біології, географії, слід зазначити, що дуже мало робіт, які вивчають особливості викладання фізики для майбутніх учителів природничих наук.

Новітні освітні цілі вимагають пошук сучасних рішень. Наукові дослідження, мають на меті надати студенту базові знання з методів навчання, підготувати студентів до практичної педагогічної роботи, забезпечити здобуття психолого-педагогічних знань, допомогти майбутнім вчителям у їхньому професійному розвитку та опанувати перші кроки у сфері методики викладання ще за період навчання в університеті. Формування природничих знань, в основному, відбувається при вивченні предметів природничого циклу: фізики, хімії, біології, географії, астрономії. Фізика серед них займає одне з провідних місць, будучи фундаментом наукового світорозуміння. Майбутнім вчителям природничих наук потрібно бути готовими до формування світогляду, розвитку

здібностей та навичок учнів, до вирішення комплексу завдань, удосконалення методичних підходів, що служать навчанню та вихованню. Кожна педагогічна ситуація унікальна, не існує універсального методу, який би забезпечував найкраще рішення проблем. Згідно очікувань, майбутній вчитель природничих наук оволодівши знаннями з декількох предметів, матиме ширший спектр знань, умінь і навичок та використовуватиме різні методи навчання та виховання.

Список використаних джерел

1. Цодікова Н.О. Система навчальних дисциплін, спрямованих на підготовку майбутнього вчителя фізики до використання інформаційних технологій у професійній діяльності / Н.О. Цодікова // Зб. наук. праць. Наукові записки. – Вип. 90. – Серія: Педагогічні науки. - Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка. – 2010. – 350 с., С. 311 - 315.
2. Величко С.П. Підготовка сучасного вчителя до ефективного викладання ШКФ в умовах комп'ютерного навчання / С.П. Величко // Зб. наук. праць. Наукові записки. – Вип. 54. – серія: Педагогічні науки. - Кіровоград: РВВ КДПУ. – 2004. – 220 с. (С. 190 - 192).
3. Голубенок С.В. Інтеграційний аспект навчання фізики в класах фізико-математичного та економічного профілів як засіб формування ключових компетентностей ліцеїстів / С.В. Голубенок // Фізика в школах України. – 2008. – №9. – С. 9.

Нор О.І., магістрант,
науковий керівник: к.ф.-м.н. **Печерська К.Ю.**
кафедра загальної фізики та моделювання фізичних процесів
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ФОРМУВАННЯ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ В ПРОЦЕСІ ВИКЛАДАННЯ ФІЗИКИ

Анотація В даній роботі висвітлено основні аспекти мислення, важливість критичного мислення в сучасному суспільстві. Обговорено, що динамізм прогресивних змін суспільства створює ситуацію невизначеності, та необхідності об'єктивної оцінки тієї чи іншої ситуації або задачі, тому важливим є виховання у особистості критичного мислення, що при навчанні в школі. Фізика, як наука в цьому сенсі, є ідеальним підґрунтям для формування компетентностних наскрізних знань та вмінь, про оточуюче середовище, та реальний світ в цілому. Як слідство, пояснення важливості вивчення фізики у школі: не для того щоб набути готову базу знань і запам'ятати її на все життя, не для того, щоб стати видатними вченими, а для того, щоб навчитися думати, мислити, знаходити компроміси, аналізувати та приймати рішення, співставляти, робити висновки, тощо.

Abstract This work highlights the main aspects of thinking, the importance of critical thinking in modern society. It is discussed that the dynamism of progressive changes in society creates a situation of uncertainty and the need for an objective assessment of a particular situation or task, therefore it is important to educate critical thinking in the individual, which is what happens when studying at school. Physics, as a science in this sense, is an ideal basis for the formation of competent, comprehensive knowledge and skills about the environment and the real world as a whole. As a consequence, the importance of studying physics at school is explained: not in order to acquire a ready-made knowledge base and remember it for life, not in order to become outstanding scientists, but in order to learn to think, reason, find compromises, analyze and make decisions, compare, draw conclusions, etc.

Ключові слова: критичне мислення, викладання, проблемне викладання

Актуальність даної теми зумовлена ситуацією надлишкового доступу людини до різнополярної інформації, що з'являється об'єктивної необхідності в її адекватній оцінці, прийнятті рішення в ситуації невизначеності і полягає в випереджальній підготовці учнів до самостійного життя та діяльності в інформаційному суспільстві як громадянина, професіонала, критично мислячої особи.

Як у теоретичному, і у методичному плані педагогічна проблема розвитку критичного мислення є маловивченою. Аналіз досліджень з цієї проблеми показав, що проблема критичного мислення досліджувалася зарубіжними психологами вже досить давно (Д. Дьюї, Р. Пол, Д. Халперн та ін.). Але у сучасному світі проблема критичного мислення стає все більш актуальною.

Розвиток суспільства, динамізм прогресивних змін зумовили появу ситуації невизначеності, необхідність оцінки та прийняття рішень, значною мірою підвищили роль особистості як суб'єкта соціальної еволюції, його здатність до адекватної оцінки існуючої

ситуації на основі її критичного аналізу та побудови на його основі проекту успішного вирішення заданої проблеми.

Успішність вирішення проблеми адаптації особистості в постійно мінливому середовищі самостійного життя та діяльності полягає, у тому числі й, у розвитку критичного мислення вже на етапі навчання у школі. Що у свою чергу, детермінує теоретичне та науково-методичне обґрунтування та вироблення наукових рекомендацій щодо вирішення проблем розвитку критичного мислення в освітньому процесі в цілому та при вивченні конкретних предметів.

Проблема мислення є однією з найважливіших. Але аналіз психолого-педагогічної, філософської та методичної літератури показав, що кількість робіт з цієї проблеми недостатньо і в них розглядаються лише деякі сторони мислення, а також шляхи формування основних прийомів мисленнєвої діяльності.

Розглянемо, як співвідносяться ці види мислення між собою:

Логічне мислення є послідовно проведене, що складається з окремих етапів міркування, при якому кожне наступне висновок ґрунтується на раніше зроблених суворо доведених висновках. Це понятійне мислення, що дає можливість пізнати закономірності, передбачати перебіг подій, пояснити суть явищ, процесів тощо.

Під творчим мають на увазі мислення, результатом якого є відкриття принципово нового чи вдосконаленого вирішення того чи іншого завдання. Творче мислення відрізняється оригінальністю, гнучкістю, образністю. В основі такого мислення лежить синтез логічного мислення та уяви. Ці процеси не виключають, а доповнюють одне одного. На різних етапах творчості їхня роль неоднакова.

Критичне мислення є перевіркою запропонованих рішень з метою визначення сфери їх можливого застосування. Творче мислення спрямоване створення нових ідей, а критичне - виявляє їх недоліки і дефекти. Критичне мислення відрізняється контрольованістю, обґрунтованістю та цілеспрямованістю. Критичне мислення тісно пов'язане з логічним, оскільки передбачає побудову логічних висновків, створення узгоджених між собою логічних моделей та прийняття обґрунтованих рішень.

Критичне мислення передбачає оцінку, яка може бути конструктивним виразом і позитивного, і негативного ставлення. Думаючи критично, людина не лише результат (наскільки правильно прийняте рішення чи наскільки вдало виконане поставлене завдання), а й сам розумовий процес (хід міркувань, які привели до висновків, або тих факторів, які були враховані під час прийняття рішення). Критичне мислення націлене на отримання бажаного результату, тому його іноді називають ще й спрямованим мисленням.

Фізика – унікальна в цьому сенсі наука. По перше, це одна з наук, що найбільше пов'язана з навколишнім світом і реальним життям. По друге, фізика дає чудові можливості саме для розвитку учня, для формування наскрізних в усіх ключових компетентностях умінь. Тому вивчати фізику слід не для того, щоб набути готову базу знань і запам'ятати її на все життя, не для того, щоб стати видатними вченими, а для того, щоб навчитися думати, мислити, знаходити компроміси, аналізувати та приймати рішення, співставляти, робити висновки, не боятися висловлювати власні думки, не боятися помилитися, уміти відстоювати свої інтереси тощо.

Одним зі шляхів формування критичного мислення є проблемне викладання фізики, зокрема командне змагання школярів або студентів, у можливості вирішити складні наукові проблеми, або більш прикладні, життєві задачі, переконливо доводити свої розв'язки, сперечатися у наукових дискусіях.

Список використаних джерел

1. Мостова Н.В. «Проблемне навчання фізиці як ефективний засіб розвитку творчої активності учнів», Методична розробка. Миколаїв: НМЦ, 2011
2. http://uzingimnazium.at.ua/avatar/dokumentu/2014-15/metodichna_rozrobka_problemne_navchannja_jak_zasid.doc
3. Сіденко О.М. Застосування сучасних ІКТ під час проведення фізичного практикуму. Використання прикладного програмного забезпечення на уроках фізики з метою підвищення рівня навчання. //Фізика в школах України. – Основа, 2008, №4, 32ст.

Нор О.І., магістрант,
науковий керівник: к.ф.-м.н. **Печерська К.Ю.**
кафедра загальної фізики та моделювання фізичних процесів
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ОБІЗНАНОСТІ ВИКЛАДАЧА ФІЗИКИ ШЛЯХОМ РОЗРОБОК ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Анотація В роботі висвітлено, що сучасні освітні цілі потребують нових підходів до викладання фізики. Згідно очікувань, майбутній вчитель природничих наук, завдяки своїй підготовці, має володіти широким спектром знань, умінь і навичок. Особливе місце у формуванні природничого світогляду посідає фізика. Тому дуже важливим є питання, як ефективно організувати навчання фізики для майбутніх учителів природничих наук так, щоб воно не лише забезпечувало знання, але і формувало професійні компетентності, здатність до логічного і критичного мислення та наукового аналізу природних явищ. В роботі запропоновано, що підвищити інформаційну обізнаність викладача фізики можна через розробку лабораторних робіт, зосередившись на сучасних технологіях, цифрових інструментах та інноваційних методиках викладання, що дозволить інтегрувати їх у практичні заняття, оновити зміст курсу та покращити навички роботи з даними.

Abstract The work highlights that modern educational goals require new approaches to teaching physics. According to expectations, a future science teacher, due to his training, should possess a wide range of knowledge, skills and abilities. Physics occupies a special place in the formation of a natural worldview. Therefore, the question of how to effectively organize physics teaching for future science teachers so that it not only provides knowledge, but also forms professional competencies, the ability to logical and critical thinking and scientific analysis of natural phenomena is very important. The work suggests that increasing the information awareness of a physics teacher can be achieved through the development of laboratory work, focusing on modern technologies, digital tools and innovative teaching methods, which will allow them to be integrated into practical classes, update the course content and improve data skills.

Ключові слова: лабораторна робота, інформаційна обізнаність, викладання фізики

На сьогоднішній день в Україні швидкими темпами зростає об'єм навчальної інформації, що призводить до більш динамічного навчання фізики. У зв'язку із цим до системи фізичних задач, що пропонуються учням ставляться нові вимоги: умова задачі або процес її розв'язання має включати в себе засоби наочності для кращого розуміння школярами процесів, що відбуваються у навколишньому світі. Наочність має стати одним із дієвих елементів системи засобів впливу учителя на хід думок учня під час розв'язання та пошуку вірної відповіді.

Сучасні освітні цілі потребують нових підходів до підготовки майбутніх учителів. Виявлено, що через надмірне навантаження на молоде покоління погіршилися показники їхнього навчання, інтеграція природничих наук постала ефективною можливістю змінити таку ситуацію. Дана трансформація об'єднала фізику, хімію, біологію та географію у єдину природничу науку, з метою виховання всебічно розвиненої особистості. Згідно очікувань,

майбутній вчитель природничих наук, завдяки своїй підготовці, матиме широкий спектр знань, умінь і навичок. З'ясовано, що майбутні вчителі природничих наук отримують глибокі знання одночасно з декількох предметів, та успішно формують цілісне уявлення про природні явища, розвивають міждисциплінарне мислення та здобувають ширший спектр професійних компетентностей, необхідних для ефективного викладання та реалізації сучасних освітніх підходів. Особливе місце у формуванні природничого світогляду посідає фізика, яка слугує основою для розуміння багатьох явищ природи та технічних розробок. Встановлено, що фізичні задачі та досліди є ефективним інструментом для привернення уваги студентів, адже саме зацікавленість сприяє, формуванню мотивації до самостійного пізнання та активній участі в навчальному процесі, глибшому розумінню матеріалу і може підвищувати інтерес до природничих наук.

Ще одним, проблемним питанням є, як ефективно організувати навчання фізики для майбутніх учителів природничих наук так, щоб воно не лише забезпечувало знання, але і формувало професійні компетентності, здатність до логічного і критичного мислення та наукового аналізу природних явищ. Незважаючи на значну кількість робіт, присвячених різним аспектам методичної підготовки майбутнього вчителя фізики, хімії, біології, географії, слід зазначити, що дуже мало робіт, які вивчають особливості викладання фізики для майбутніх учителів природничих наук.

Підвищити інформаційну обізнаність викладача фізики через розробку лабораторних робіт можна, зосередившись на сучасних технологіях, цифрових інструментах та інноваційних методиках викладання, що дозволить інтегрувати їх у практичні заняття, оновити зміст курсу та покращити навички роботи з даними. Важливо також поглиблювати знання з сучасних фізичних напрямків та методів візуалізації даних.

Ключові аспекти розробки лабораторних робіт, включають в себе аналіз її актуальності, залучення наявного обладнання, аналіз теоретичного матеріалу, який вона має демонструвати, складання покрокового ходу роботи, передбачення труднощів, які можуть виникнути у учнів, та можливості їх усунення, формування розрахункової і графічної частини лабораторної роботи, та чітких вимог, щодо виконання та оформлення, створення системи перевірки отриманих знань. Також важливим аспектом для створення нових лабораторних робіт є використання цифрових інструментів, таких як:

- Системи збору даних: Інтегрувати в лабораторні роботи комп'ютерні системи збору даних (за допомогою датчиків, анонімних камер, веб-камер), які дозволять викладачу модернізувати процес збору та аналізу даних.
- Симуляції та віртуальні лабораторії: Застосовувати сучасне програмне забезпечення (наприклад, PhET Interactive Simulations, COMSOL Multiphysics) для візуалізації фізичних процесів, які важко або неможливо спостерігати в реальності.
- Програмне забезпечення для аналізу даних: Навчити викладача користуватися інструментами для обробки та аналізу даних (наприклад, Python з бібліотеками NumPy та Matplotlib, Origin) для глибшого розуміння результатів експериментів.

Список використаних джерел

1. Карпова Л.Б. Використання персонального комп'ютера на уроках фізики. // Фізика в школах України. – Основа, 2008, №17, 32ст
2. Рябенко Ж.В. Використання комп'ютера під час проведення уроків досліджень. // Фізика в школах України. – Основа, 2010, №11-12, 88ст.
3. Савгира С.М. Використання ІКТ на уроках фізики. // Фізика в школах України. – Основа, 2010, №18, 40ст.