

ЗАТВЕРДЖУЮ

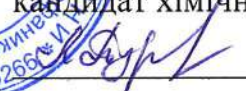


Перший проректор

Карпатського національного

університету імені Василя Стефаника,

кандидат хімічних наук, доцент

 Лілія ТУРОВСЬКА

“ 17 ” грудня 2025 р.

### ВИТЯГ

З протоколу № від 17 грудня 2025 р. фахового семінару кафедри прикладної фізики і матеріалознавства Карпатського національного університету імені Василя Стефаника.

#### ПРИСУТНІ:

Коцюбинський В. О. – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри прикладної фізики і матеріалознавства – голова семінару;

Рачій Б. І. – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри прикладної фізики і матеріалознавства – секретар семінару;

Ільницький Р. В. – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач аспірантури і докторантури, професор кафедри прикладної фізики і матеріалознавства ( за сумісництвом) – гарант даної ОНП, член семінару;

Будзуляк І. М. – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри матеріалознавства і новітніх технологій – член семінару;

Яремій І. П. – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри прикладної фізики і матеріалознавства – член семінару;

Гасюк І. М. – доктор фізико-математичних наук, професор, декан фізико-технічного факультету, професор кафедри прикладної фізики і матеріалознавства (за сумісництвом) – науковий керівник, член семінару;

Бойчук В. М. – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри прикладної фізики і матеріалознавства – член семінару;

Мокляк В. В. – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач спільної навчально-наукова лабораторія фізики магнітних плівок (23) Інституту металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України і Карпатського національного університету імені Василя Стефаника – член семінару;

Яблонь Л. С. – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри фізики та астрономії – член семінару;

Салій Я. П. – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри фізики та астрономії – член семінару;

Горічок І. В. – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри фізики та астрономії – член семінару;

Мандзюк В. І. – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки – член семінару;

Никируй Л. І. – кандидат фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри фізики та астрономії – член семінару;

Кайкан Л. С. – доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник спільної навчально-наукової лабораторії фізики магнітних плівок (23) Інституту металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України і Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника МОН України – член семінару.

З присутніх – 13 докторів наук – фахівці за профілем представленої дисертації.

Головуючий на фаховому семінарі – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри прикладної фізики та матеріалознавства Коцюбинський В.О.

## **СЛУХАЛИ:**

### **1. Інформацію про дисертацію та здобувача**

Приймак Тарас Володимирович, аспірант 3 року навчання денної (контрактної) форми навчання в аспірантурі за спеціальністю 105 Прикладна фізика і наноматеріали. Дисертація на тему «Трансформація імпедансних спектрів біологічних тканин під впливом деструктивних факторів», подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 105 Прикладна фізика і наноматеріали.

Тема дисертаційної роботи «Трансформація імпедансних спектрів під впливом деструктивних факторів» затверджена на засіданні Вченої ради ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника» (протокол № 2 від 16.09.2021 року).

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук, професор Гасюк Іван Михайлович.

## 2. Виступ здобувача Приймака Тараса Володимировича:

**Актуальність теми.** Дослідження процесів руйнування біологічних тканин та чинників, що їх зумовлюють, є надзвичайно важливими для контролю їх структурної цілісності у різних сферах науки та медицини. Особливої уваги заслуговує неінвазивний аналіз біологічних структур, що базується на їхніх електричних властивостях. Оцінка морфологічного стану тканин через вимірювання їхньої електропровідності дозволяє в режимі реального часу отримувати інформацію про функціональний стан зразків, оцінювати вплив зовнішніх факторів (наприклад, температури), виявляти залишкові злоякісні утворення та ранні ознаки дегенеративних змін або незворотних пошкоджень. Збереження структурної цілісності тканин є ключовим завданням у загальній медицині, а також у таких її галузях, як трансплантологія, діагностика та онкологія. Водночас ефективна інтерпретація отриманих даних є складним завданням через високу організаційну складність біологічних тканин.

Імпедансна спектроскопія (IC) є методом дослідження структури біологічного матеріалу на основі його електричних властивостей, що дозволяє отримувати інформацію про будову та функціональний стан тканин. Основні переваги IC у порівнянні з іншими діагностичними методами включають легкість у використанні, мобільність, можливість проведення вимірювань у режимі реального часу та неінвазивність. Крім того, метод придатний для досліджень безпосередньо на живих об'єктах. Попри широку сферу застосування, його використання обмежене відсутністю стандартизованих підходів до інтерпретації отриманих спектрів. Для оперативного аналізу змін у біологічних тканинах необхідно спростити складну внутрішню тканинну структуру до певної моделі з параметрами, що відображають її поточний стан. Будь-яка зміна цих параметрів або втрата структурних елементів свідчить про порушення внутрішнього середовища тканини, що може бути пов'язане з ушкодженнями.

Хоча повне зведення складної клітинної організації до моделі, що враховує лише електричні характеристики, є технічно неможливим, існує можливість опису загальної тканинної маси та навколишніх електролітичних розчинів через окремі параметри. Це дозволяє відстежувати будь-які види руйнувань, пов'язані з порушенням структурної цілісності. Інтерпретація таких змін у вигляді параметричних даних дає змогу прогнозувати дегенеративні процеси на ранніх етапах, що є важливим для їхньої профілактики. Це стосується впливів різної

природи: механічних, хімічних чи температурних. Одним із найбільш чутливих індикаторів є плазматична мембрана, яка завдяки своїм розмірам, конденсаторним властивостям та ліпідно-білковій структурі здатна точно реагувати на ступінь руйнувань.

Метою дисертаційного дослідження є визначення характеру комплексного опору тканин різної морфології та формування відповідних електричних схем, визначення особливостей зміни імпедансу експериментальних зразків під впливом агресивних чинників, демонстрація відповідних змін на електричних еквівалентних схем, опис та аналіз результатів змін імпедансу тканин органів під впливом додатніх температур за допомогою створення відповідних еквівалентних схем, пояснення змін їхніх параметрів та співставлення результатів з даними оптичної мікроскопії, визначення особливостей трансформації частотної дисперсії електричних параметрів тканин печінки в залежності від температури її зберігання та пояснення механізму трансформації параметрів спектру електричного імпедансу внаслідок кількарізних послідовних процедур отримання спектру біологічної тканини.

Об'єкт дослідження – біоелектричний імпеданс, як індикатор ступеня деструкції та інструмент для вивчення природи тканинних трансформацій біологічних тканин.

Предмет дослідження – трансформації біоімпедансних спектрів та відповідних електричних еквівалентних схем під впливом агресивних чинників, вплив різного ступеня деструкції на параметри схеми та дисперсій комплексних електричних параметрів.

Для проведення експериментів із інтактними зразками та термочасове дослідження використовували тканини печінки, які піддавались впливу різних температурних режимів та інших зовнішніх факторів ( $\gamma$ -випромінювання, зберігання у воді, використання хімічних реагентів тощо).

Як обладнання для досліджень було використано вимірювальну установку AUTOLAB PGStat 30 у діапазоні частот від 0,01 Гц до 100 кГц. Серед методів для отримання даних використовувались аналіз діаграм Найквіста, побудова електричних еквівалентних схем, вивчення поведінки параметрів, таких як тангенс кута втрат, провідність тощо. Об'єктом для вимірювання було вирішено обрати печінку свині, у зв'язку із доступністю матеріалу та відносною поширеністю його використання. Отримані, одразу після забиття тварини, зразки зберігали у термостаті при температурі - 2°C. Для проведення імпедансної спектроскопії із інвазивними

про відсутність суттєвих деструктивних процесів за короткочасної дії вказаних температур. Проте, при температурі вище  $50^{\circ}\text{C}$  очевидні руйнівні явища, ймовірно, пов'язані із флюїдизацією мембрани під впливом високих температур, що видно по різких зменшеннях значень параметрів схеми, навіть при невисоких температурах. Вони спричиняють трансформацію вигляду імпедансного спектру, а, отже, еквівалентної електричної схеми зразка. Такі зміни проявляються, зокрема, втратою ланки  $\text{CPE3} - \text{R3}$  активної компоненти (рис. 76), що супроводжується поступовим зменшенням значення опору  $\text{R3}$ , яке, при температурі  $45-50^{\circ}\text{C}$ , досягає нуля.  $\text{CPE1-R}$  для температури  $0^{\circ}\text{C}$  набуває значення для фізичної інтерпретації вище за 1.

При впливі 2 градусів не спостерігається суттєвих відмінностей між імпедансними кривими у зв'язку із низькою руйнівною дією вказаної температури. Хоча можна зауважити відмінність між кривими 2-ох, 8-ми та 14-ти градусів, що очевидно пов'язано із тривалістю впливу. У випадку 8-ми градусів можна зауважити вже помітно менший комплексний опір при 14-ти годинному впливі, що відображає зростання температури більш ніж у 4 рази. З цих же причин, у випадку 12-ти градусів, можна зауважити суттєво менший комплексний опір зразків при 14-ти годинному впливі та поступові зменшення комплексних опорів зразків при впливі 2 та 8 годин у порівнянні із іншими температурами.

При світлооптичному дослідженні, в усіх полях зору прослідковується чітке розмежування часточок завдяки добре розвиненій міжчасточковій сполучній тканині у якій ідентифікуються колагенові та еластичні волокна. На верхівках печінкових часточок, у порталних просторах, знаходяться тріади, куди належать міжчасточкові артерії, вени та жовчні протоки. У часточках візуалізуються впорядковані, розміщені у ряди, гепатоцити – печінкові пластинки, які радіально направлені до центральної вени. Завдяки такій специфіці архітекtonіки у печінковій часточці виділяється центральна, проміжна та периферична зони.

При 25 градусах помітна очевидна динаміка схожа з 12-ма, зокрема, при найтривалішому впливі комплексний опір найменший, помітне зменшення кривої при 8-ми годинному впливі.

Результати мікроскопії демонструють збережений часточковий принцип будови, однак, виявляються структурні зміни як у сполучнотканинному каркасі, так і у паренхіматозній складовій. У деяких ділянках помітні ущільнення міжчасточкової сполучної тканини, також, набряк, розволокнення та локальні руйнування. У

міжчасточкових венах спостерігаються стази крові, розширення та повнокровність синусоїдів.

У периферичних зонах виявляються порушення міжклітинних контактів, у результаті чого, є помітна дезорганізованість печінкових пластинок. Контури гепатоцитів розмиті, часто зустрічаються лімфо-плазмоцитарні інфільтрати. При 35 градусах найкраще виявляється відмінність у тривалості впливу, чітко помітно достатній руйнівний потенціал температури якщо порівняти із попередніми значеннями, що не дивно адже попереднє руйнування білків починається приблизно при 37-39 градусах. Тому біла обрана найбільша підпорогова температура, щоб зауважити первинні ознаки руйнування, але без повноцінного його прогресу.

Результати мікроскопії відповідних зразків, демонструють більш виражені набряково-дистрофічні зміни та дезорганізованість печінкових пластинок, ніж у попередніх випадках. У стромі помітні ущільнення та деформації, еластичні волокна стоншені (рис. 11a) та є помітні локуси з набряклими колагеновими волокнами та едематозні зміни у порталних просторах та у стінці складових тріади печінки. Варто звернути увагу на стази у синусоїдах проміжної зони часточки (рис. 13a), та втрату радіальної архітекτονіки. Також прослідковується слабка еозинофілія цитоплазми гепатоцитів та лімфо-плазмоцитарна інфільтрація.

Можна зауважити поступове збільшення провідності зі зростанням температури та частоти відповідно та різкий ріст провідності при 308K протягом 14-ти годинного витримування зі збереженням рівня провідності. Діапазон вибраних частот, у межах 0,01 Гц – 100 кГц, відповідає низькочастотним механізмам поляризації іонів у залежності від їхнього розміщення відносно плазматичної мембрани та проходженням струму через неї, що відповідає  $\alpha$ -дисперсії, яка відбувається у межах Гц – кГц.

Ми спостерігали цікаву тенденцію: провідність зразків зростала із підвищенням температури та збільшенням часового інтервалу, протягом якого вони витримувались. Це чітко видно на рис. 4a та 4b. Наприклад, при температурі 308 К у зразках почали проявлятися руйнівні процеси, які призвели до формування нерівноважного стану біологічної системи. Важливим моментом є наявність градієнту концентрації на межі розподілу, який викликав системну поляризацію. Це створило внутрішнє електричне поле, що блокувало проникнення зовнішнього поля. Однак, коли руйнувалась плазматична мембрана, цей градієнт вирівнювався.

Такий процес ініціював перехід системи із анізотропного стану в ізотропний. У результаті зростала провідність. Це пояснюється тим, що зі зникненням меж розподілу іони стали рухатись значно вільніше. Цей висновок також підтверджується нашими морфологічними дослідженнями, які ми провели у попередній роботі. Залежність тангенса кута втрат від частоти має екстремальний характер. Спостерігається, що мінімальне значення тангенса кута втрат зростає з часом. Це зумовлено формуванням великої кількості диполів певного розміру, що відбувається через значні руйнування в системі, що видно на рис відповідних рисунків.

Гістологічний аналіз зразків, підданих таким температурним впливам, показує, що відбуваються локальні руйнування тканин. Це виражається у розмитості контурів гепатоцитів у зразках печінки та збільшенні міжклітинних просторів. Ці зміни можуть свідчити про руйнування плазматичної мембрани, що в свою чергу веде до зменшення опору тканини та підвищення її проникності. Ці процеси також знаходять підтвердження у зміні структури еквівалентної електричної схеми. Замість шести-елементної схеми ми спостерігаємо перехід до п'яти- та чотирьох-елементних схем, зокрема при температурі 308 К.

Ми спостерігали чітку тенденцію до зниження резонансної частоти зі зменшенням температури, що відповідає утворенню диполів більшого розміру. Підвищення температури, крім руйнування мембрани, також призводить до збільшення тангенса кута втрат та резонансної частоти. Це пов'язано з утворенням диполів малого розміру, зокрема частинами мембранних компонентів та елементами органел. Зменшення параметрів  $CPE$  і  $R$  при температурах 298 К та 308 К підтверджує ці зміни у порівнянні з інтактними зразками.

При високій температурі, через руйнування мембрани, з'являється велика кількість джерел дипольної поляризації, що також сприяє збільшенню резонансної частоти. У загальному, процеси руйнування тканини, викликані температурою, ведуть до зменшення комплексного опору, як його реальної, так і уявної частини, що пов'язано з порушенням структури мембрани і підвищенням її проникності. Збільшення концентрації носіїв заряду в зонах руйнування тканини сприяє зростанню провідності на змінному струмі. Водночас, зникнення меж розподілу і збільшення рухливості іонів веде до підвищення провідності на постійному струмі. Руйнівні елементи мембрани та висока концентрація іонів призводять до утворення великої кількості маленьких диполів, що спостерігається під впливом змінного електричного поля.

Не спостерігається суттєвих відмінностей у характері поляризаційних віток між повторними вимірюваннями. Однак, можна помітити значні зміни у діаграмах, зокрема зниження дійсної та уявної частини комплексного імпедансу по всьому діапазону частот у результаті послідовних вимірювань.

Ці зміни можуть бути пов'язані з накопиченням ефектів, таких як зміна структури мембрани або вплив зовнішнього поля, що поступово змінює електричні характеристики тканини.

Було виявлено значні коливання опору при зміні розміру зразка, що не дозволяє визначити чіткої закономірності. Крім того, лише частина повторних вимірювань демонструє подібну динаміку змін. Окрім цього, Значення ємності CPE2-T показують різкий підйом при зменшенні розміру зразка до 1,5 см, а потім спад при 1 см. Для CPE1-T спостерігається загальна тенденція до незначного збільшення при зменшенні розміру зразка, особливо при 1,5 см. Для CPE-II спостерігаються різкі стрибки значень. Криві 2-го і 3-го повторів мають схожу динаміку, але протилежний напрямок змін. Для тангенса кута втрат спостерігається незначне зростання піків з підвищенням розміру зразка. Однак крива для зразка 0,5 см не відповідає очікуваній тенденції, а різниці між іншими кривими майже не спостерігаються. Не спостерігаються помітні відхилення від базової поведінки кривих тангенса кута втрат, що свідчить про відсутність значних змін у зразках. Немає чіткої залежності комплексного імпедансу від відстані між електродами, що може бути наслідком гетерогенності зразків та неоднорідного розподілу електричного поля. Не спостерігаються монотонні залежності від відстані між електродами для параметрів R1 та R3, хоча є схожість у формі кривих. Спектр залежності провідності показує зменшення параметра  $\sigma$  на низьких частотах. Це може свідчити про зміни у тканині органу через різні ділянки з колагеном чи фіброзом. Друга похідна провідності та тангенса кута втрат показала мінімальні зміни в залежності від відстані між електродами, що свідчить про вплив інших факторів, як внутрішня структура зразка. Піки в спектрі 1-100 Hz показують чутливість біоімпедансу до цього діапазону, що може бути пов'язано з електролітними властивостями або структурними деформаціями тканин. Піки у діапазоні низьких частот можуть бути викликані скупченням рідини або електролітного розчину, що підтверджує чутливість до цих змін. Зміщення піків при різних температурах вказує на деградацію тканини при високих температурах, що може бути пов'язано з впливом температури на мембранні компоненти та фізіологічний стан зразка.

### **В результаті дослідження зроблено наступні висновки:**

1. Вивчення імпедансу дозволяє оцінити фізичні та електричні властивості матеріалів, зокрема їх здатність до проведення струму та реакцію на змінні електричні поля.
2. Для багатьох досліджень, особливо в матеріалознавстві та фізиці твердих тіл, імпеданс виступає як ключовий інструмент для аналізу структури і властивостей матеріалів.
3. Імпедансна спектроскопія є потужним методом для вивчення динаміки процесів в електричних і магнітних матеріалах, включаючи вивчення мікроструктури та дефектів у матеріалах.
4. Застосування імпедансу в біоелектричних системах, таких як аналіз тканин або тканинних проб, дозволяє отримувати інформацію про фізіологічні процеси в організмі.
5. Експериментальні дослідження імпедансу дозволяють прогнозувати поведінку матеріалів та систем в умовах змінних електричних полів або при різних частотах струму.
6. Зміна імпедансу може бути індикатором таких характеристик, як наявність дефектів, аномалій або процесів деградації в матеріалах чи системах.

### **3. Запитання до здобувача по темі дисертації:**

1. Д. ф.-м. н., проф. **Яремій І. П.:**

*Що можна сказати про залежність ємності зразків від їхнього розміру?*

**Приймак Т.В.** Залежність ємності від розміру зразка має цікаву динаміку. Для СРЕ2-Т спостерігається різкий підйом ємності при зменшенні розміру зразка до 1,5 см, після чого значення зменшуються при зменшенні до 1 см. Для СРЕ1-Т ємність зростає, особливо при 1,5 см.

2. Д. ф.-м. н., проф. **Яремій І. П.:**

*Чи є певні закономірності у змінах тангенса кута втрат залежно від розміру зразка?*

**Приймак Т.В.** Тангенс кута втрат демонструє загальну тенденцію до незначного зростання при збільшенні розміру зразка. Проте крива для зразка 0,5 см не відповідає очікуваній тенденції, а різниці між іншими кривими майже непомітні.

3. Д. ф.-м. н., проф. **Мандзюк В. І.:**

*Чи є якась залежність комплексного імпедансу від відстані між електродами?*

**Приймак Т.В.** Не спостерігається чіткої залежності комплексного імпедансу від відстані між електродами. Це може бути наслідком гетерогенності зразків і неоднорідного розподілу електричного поля в тканинах.

4. Д. ф.-м. н., проф. **Мандзюк В. І.:**

*Як змінюється провідність зразків при різних частотах?*

**Приймак Т.В.** Спектр залежності провідності показує зменшення параметра  $\sigma$  на низьких частотах. Це може свідчити про зміни у тканині органу через різні ділянки з колагеном чи фіброзом.

5. Д. ф.-м. н., проф. **Ільницький Р.В.:**

*Що можуть означати піки в спектрі провідності в діапазоні низьких частот?*

**Приймак Т.В.** Піки в спектрі на низьких частотах можуть свідчити про чутливість біоімпедансу до змін у тканині, таких як скупчення рідини або електролітного розчину. Це підтверджує чутливість до змін у фізіологічному стані зразка.

6. Д. ф.-м. н., проф. **Ільницький Р.В.:**

*Як температура впливає на біоімпеданс?*

**Приймак Т.В.** Зміщення піків при різних температурах вказує на деградацію тканини при високих температурах. Це може бути пов'язано з впливом температури на мембранні компоненти та фізіологічний стан зразка, що може змінювати його електричні характеристики.

7. Д. ф.-м. н., проф. **Коцюбинський В.О.:**

*Що може пояснити незначні зміни в тангенсі кута втрат для зразків при різних розмірах?*

**Приймак Т.В.** Незначні зміни в тангенсі кута втрат на різних розмірах зразків можуть бути наслідком стабільності деяких електричних характеристик незалежно від розміру зразка. Цей параметр відображає здатність матеріалу до поглинання енергії, тому його мало зміщення вказує на те, що матеріал може бути однорідним за електричними властивостями на різних розмірах. Крім того, навіть зменшення розміру зразка не завжди призводить до змін у властивостях, які визначають тангенс кута втрат. Це може свідчити про низьку впливовість розміру зразка на ці властивості або про те, що ці властивості домінують в умовах певного діапазону розмірів.

8. Д. ф.-м. н., проф. **Будзуляк І.М.:**

*Які фактори можуть впливати на зміни провідності зразків при різних частотах?*

**Приймак Т.В.** Зміни провідності зразків при різних частотах можуть бути зумовлені кількома факторами. На низьких частотах провідність може зменшуватися через появу додаткових реакцій у матеріалі, таких як зміни в рухливості йонів, водних розчинів або полімерних компонентів. З іншого боку, на високих частотах можна спостерігати зростання провідності, якщо частота достатньо висока, щоб сприяти полегшеному руху зарядів. Такі зміни вказують на важливість вивчення спектра провідності для визначення фізичних і хімічних властивостей зразка та його здатності до провідності електричних сигналів на різних рівнях частот.

9. Д. ф.-м. н., проф. **Коцюбинський В. О.:**

*Як залежність ємності зразків від їхнього розміру може бути пов'язана з їх фізико-хімічними властивостями?*

**Приймак Т.В.** Залежність ємності зразків від їхнього розміру відображає специфічні фізико-хімічні властивості матеріалу. Наприклад, для зразків СРЕ2-Т спостерігається різкий підйом ємності при зменшенні розміру до 1,5 см. Це може бути пов'язано з підвищеною щільністю елементів на малих масштабах, що збільшує кількість заряджених частинок на одиницю об'єму. Водночас, для інших зразків, таких як СРЕ1-Т, зміни ємності можуть свідчити про більшу стабільність фізичних властивостей при зміні розміру. Тому такі зміни можуть бути результатом як механічних, так і електричних властивостей матеріалів, що можуть змінюватися із зміною геометрії зразка.

**4. Виступ наукового керівника** доктора фізико-математичних наук, професора кафедри прикладної фізики та матеріалознавства Гасюка І.М.

**Приймак Т.В.** вчасно виконував всі розділи індивідуального плану наукової роботи в установлені терміни. Своєчасність та повнота виконання індивідуального плану аспірантки підтверджена результатами піврічної проміжної, підсумкової (річної) та заключної атестацій.

Аспірант **Приймак Тарас** самостійно виконав значну частину експериментальних досліджень та опрацював великий об'єм наукової літератури. Основні результати, отримані в ході виконання роботи в повній мірі опубліковані в наукових фахових виданнях.

Вважаю, що дисертація **Приймака Тараса Володимировича** на тему «Трансформація імпедансних спектрів біологічних тканин під впливом деструктивних факторів» повністю відповідає вимогам Постанови Кабінету Міністрів

України «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.2022 № 44 (зі змінами) та Вимогам до оформлення дисертації, затвердженими наказом МОН України від 12.01.2017 № 40 (зі змінами), та може бути представлена захисту в разовій спеціалізованій вченій раді.

#### **5. Виступи присутніх членів семінару з оцінкою дисертації.**

**Д. ф.-м. н., проф. Мандзюк В.І.:**

Дисертація містить велику кількість експериментальних даних. Безумовно, робота є актуальною і завершеною, але слід показати взаємодоповнюваність методів дослідження, а також відкоригувати презентацію. Загалом робота повністю відповідає всім вимогам та підлягає допуску до захисту.

**Д. ф.-м. н., проф. Будзуляк І.М.:**

Дисертація містить велику кількість матеріалу, який отримано експериментально, а також велику кількість застосованих методів дослідження. Це дозволяє зробити глибокий аналіз, тому потрібно показати взаємодоповнюваність цих методів дослідження. Проте необхідно відредагувати презентацію. У цілому, дисертація відповідає всім вимогам і може бути допущена до захисту.

**Д. ф.-м. н., проф. Рачій Б.І.:**

Дисертаційна робота є цікавою та актуальною. Робота має як наукове, так і практичне значення, отримані висновки дослідження можна використовувати для подальших дослідження. Вважаю роботу комплексною та такою, що може бути допущена до розгляду в разовій спеціалізованій вченій раді.

**Д. ф.-м. н., проф. Коцюбинський В.О.:**

Робота Приймака Тараса Володимировича є комплексною, зроблена велика кількість досліджень та здійснено аналіз фізичних та хімічних характеристик. Робота виконана послідовно і логічно завершена, починаючи від синтезу і закінчуючи створенням пристроїв накопичення електричної енергії. Дисертанту слід прийняти до уваги зауваження і питання, які прозвучали на семінарі і відповідно скорегувати свій виступ.

Результати роботи опубліковані в наукових журналах, які входять до наукометричної бази Scopus, тому я вважаю, що дисертант заслуговує того, щоб представити свою роботу на захисті в разовій спеціалізованій вченій раді.

Під час обговорення позитивну оцінку дисертації Приймака Тараса висловили всі члени семінару.

Заслухавши публічну презентацію наукових результатів дисертації Приймака Тараса Володимировича та обговоривши її на фаховому семінарі кафедри матеріалознавства і новітніх технологій прийнято наступні висновки щодо дисертації: рекомендувати для подання до розгляду та захисту в разовій спеціалізованій вченій раді.

**6. Висновок про перевірку дисертацій та наукових публікацій здобувача на виявлення порушення академічної доброчесності з наданням (до витягу додається довідка за підписом проректора з наукової роботи університету).**

**УХВАЛИЛИ:**

**ПРИЙНЯТИ** такий **висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення** результатів дисертації:

**Висновок**

**наукового фахового семінару**

**кафедри прикладної фізики і матеріалознавства**

**фізико-технічного факультету**

**Карпатського національного університету імені Василя Стефаника**

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів**

**дисертації «Трансформація імпедансних спектрів біологічних тканин під впливом деструктивних факторів» здобувача ступеня доктора філософії**

**Приймака Тараса Володимировича**

**за спеціальністю 105 Прикладна фізика і наноматеріали**

**(галузь знань 10 Природничі науки)**

**1. Актуальність теми.** Тема є актуальною, як з наукової так і з практичної точок зору. Дослідження процесів руйнування біологічних тканин та чинників, які їх спричиняють, є важливими через необхідність підтримання структурної цілісності тканин у галузях, де це має значення. Для зменшення інвазивності запропоновано вивчати функціонування біологічних структур за їхніми властивостями, зокрема електричними. Аналіз морфології біологічних зразків можливий завдяки електричній провідності тканин, що дає змогу визначати їхній функціональний стан у реальному

часі, оцінювати вплив різних факторів, таких як температура, виявляти залишки злоякісних утворень, початкові ознаки руйнівних процесів та незворотних пошкоджень. Забезпечення цілісності біологічних тканин є критично важливим для загальної медицини, а також для таких її сфер, як трансплантологія, діагностика та онкологія.

## **2. Зв'язок з науковими програмами, планами, темами.**

Аспірантом Приймаком Тарасом Володимировичем дисертаційна робота виконана у наукових лабораторіях кафедри прикладної фізики і матеріалознавства Карпатського національного університету імені Василя Стефаника

**3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів.** Основні ідеї, наукові положення та теоретичні висновки дисертації сформовані автором особисто. Напрацювання, що належать співавторам (25 %, 40 %, 55 % і 40 %), у роботі не використовувалися.

**4. Теоретичне та практичне значення результатів дисертації** полягає в тому, що матеріали і висновки можуть бути використані у науково-дослідницькій роботі. Досліджений матеріал може слугувати для подальшого вивчення та пошуку нових методів отримання та використання ефективних електродних матеріалів.

**5. Ступінь новизни основних результатів дисертації** зумовлений поставленими завданнями та результатами їх розв'язання. У роботі:

- розроблена оптимізована методика для отримання імпедансних спектрів тканин у лабораторних умовах. Створено структуру вимірювальних комірок та визначено оптимальні розміри зразків для досягнення високоякісних імпедансних спектрів як для інтактних, так і для експериментальних зразків.

- встановлено структуру електричних еквівалентних схем зразків на основі отриманих діаграм Найквіста та проаналізовано їхні зміни під впливом деструктивних факторів. З'ясовано можливу відповідність елементів схем до тканинних компонентів. Показано, що зміни переважно відбуваються в R-елементах та CPE-T, що відповідають за зовнішні та внутрішньо-клітинні опори, а також мембранні ємнісні параметри.

- на основі отриманих даних показано результати змін імпедансу тканин органів під впливом підвищених температур протягом визначених часових інтервалів, використовуючи відповідні еквівалентні схеми. Пояснено зміни їх параметрів, співставлених з результатами оптичної мікроскопії. Виявлено, що значення дійсної та уявної частини комплексного опору зменшуються з підвищенням температури та часу

витримування, що призводить до зниження опорів та ємнісних показників. При досягненні температури, близької до денатурації, електрична схема втрачає CPE-R ланку через незворотні пошкодження.

- проаналізовано зміни частотної дисперсії комплексних електричних параметрів тканин печінки під впливом температури. Показано, що підвищення температури, окрім руйнування мембрани, викликає збільшення тангенса кута втрат та резонансної частоти через зростання кількості диполів, які можуть бути компонентами мембран чи внутрішньоклітинних органел. Встановлено, що руйнування плазматичної мембрани викликає вирівнювання градієнту концентрації, що ініціює перехід з анізотропного в ізотропний стан, що призводить до зростання провідності через збільшення рухливості іонів.

- встановлено, що повторне використання певного спектру частот, зокрема частот близьких до 100 kHz, може призвести до зміни будови та форми клітинної мембрани, що загрожує цілісності досліджуваної тканини. Подібний стрес, з однаковою інтенсивністю прояву (ізотропний), сприяє змінам форм клітин.

## **6. Використання (апробація) результатів роботи.**

1. Представлені в дисертаційній роботі матеріали оприлюднені на конференціях: VIII Міжнародна конференція "Медична фізика - сучасний стан, проблеми, шляхи розвитку. Новітні технології" (2019), IX Міжнародна конференція «Медична фізика – сучасний стан, проблеми, шляхи розвитку. Новітні технології» (2020), X Міжнародна конференція «Медична фізика – сучасний стан, проблеми, шляхи розвитку. Новітні технології» (2021), XI Міжнародна конференція «Медична фізика – сучасний стан, проблеми, шляхи розвитку. Новітні технології» (2024).

Окремі положення дослідження обговорювалися на щорічних звітних наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів і докторантів Карпатського національного університету імені Василя Стефаника (2021-2024 рр.).

**7. Особиста участь автора** – одержання наукових та практичних результатів, що викладені в дисертації.

Дисертація виконана на кафедрі матеріалознавства і новітніх технологій.

Робота є результатом самостійних досліджень Приймака Тараса Володимировича.

**8. Перелік публікацій за темою дисертації.** За результатами досліджень опубліковано 9 наукових праць, у тому числі:

– 4 статті у фахових наукових журналах, які індексуються наукометричною базою Scopus;

– 4 тези міжнародних конференцій;

1. Приймак Т. В., Гасюк І. М., Груб'як А. Б. Трансформація спектру електричного імпедансу біологічних тканин під впливом деструктивних факторів / *Наукові нотатки*. 2021. №71. С. 128 – 136.

ISSN: 24-15-39-66.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775.24153966.2021.71.18>.

URL: [https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/naukovi\\_notatky/article/view/582](https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/naukovi_notatky/article/view/582)

2. Pryimak, T., Chervinko, D., Voitkiv, H., & Hasyuk, I. Amplitude-Frequency Effect of Mixed Electric Field on Impedance Spectrum Parameters of Biological Tissue. / *Physics and Chemistry of Solid State*. 2024. 25(2), P. 269–277. ISSN: 1729-4428.

ISSN: 2309-8589.

DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.25.2.269-277>.

URL: [https://www.scopus.com/pages/publications/85201768119?origin=results\\_list](https://www.scopus.com/pages/publications/85201768119?origin=results_list)

3 T.V. Pryimak, I.M. Gasyuk, A.V. Grubyak, D.M. Chervinko, Transformation of the electrical impedance spectra of biological tissues under the influence of destructive factors, *Materials Today: Proceedings*, Volume 62, Part 9, 2022, P. 5796-5799.

ISSN: 2214-7853.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.654>.

URL: [https://www.scopus.com/pages/publications/85128869619?origin=results\\_list](https://www.scopus.com/pages/publications/85128869619?origin=results_list)

4. Bayliak, M.M., Mosiichuk, N.M., Sorochynska, O.M., ... Garaschuk, O., Lushchak, V.I. Middle aged turn point in parameters of oxidative stress and glucose catabolism in mouse cerebellum during lifespan: minor effects of every-other-day fasting / *BiogerontologyOpen source preview*. 2021. 22(3). pp. 315–328.

ISSN: 1573-6768.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s10522-021-09918-x>

URL:<https://www.scopus.com/pages/publications/85103390286?origin=results>  
list

5. Taras Pryimak, Oksana Popadynets, Ivan Gasiuk, & Taras Kotyk. Electrical impedance spectrum transformation of liver tissues under the influence of temperature. / *International Journal of Engineering Research and Applications*. 2021. 11(12), P. 1–11.

ISSN: 2248-9622

DOI: <https://doi.org/10.9790/9622-1112010111>.

URL: <https://www.ijera.com/papers/vol11no12/Ser-1/A1112010111.pdf>

### **9. Наукове значення виконаного дослідження.**

Наукове значення полягає в розробці нових методик і підходів для дослідження біологічних тканин за допомогою електричних характеристик, зокрема імпедансних спектрів. Це дозволяє отримувати реальні та точні дані про функціональний стан тканин, їхні зміни під впливом деструктивних факторів, таких як температурні коливання. Визначення зв'язку між електричними параметрами тканин і їх морфологічними змінами відкриває можливості для вдосконалення діагностики і моніторингу різних патологічних процесів у біологічних зразках, зокрема в онкології, трансплантології та інших галузях медицини. Розроблені еквівалентні схеми дозволяють глибше розуміти механізми руйнування тканин, що може сприяти створенню нових методів лікування та профілактики патологічних станів.

**2. Практична цінність** дослідження полягає в тому, що запропоновано новий метод отримання імпедансних спектрів із використанням розроблених комірок для вимірювання. Окрім цього, розроблені електричні еквівалентні схеми нової структури інтактних та експериментальних зразків, які відрізняються від загально використовуваних, значення параметрів яких якісно характеризують структурно-функціональний стан біологічних тканин. Основа для створення експресного методу неруйнуючого методу оцінки стану пошкодження біологічних тканин.

**3. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення.** Дисертація за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам МОН України.

### **За результатами фахового семінару зроблено висновки:**

1. Дисертація Приймака Тараса Володимировича на тему «Трансформація імпедансних спектрів під впливом деструктивних факторів» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано конкретне наукове завдання, а саме:

проаналізовано зміни частотної дисперсії комплексних електричних параметрів тканин печінки під впливом температури. Показано, що підвищення температури, що, окрім руйнування мембрани, відображається через збільшення тангенса кута втрат та резонансної частоти, що зумовлено збільшенням кількості диполів певного розміру, якими можуть бути частини мембранних компонентів та елементи внутрішньоклітинних органел. Також встановлено, що вирівнювання градієнту концентрації, в результаті руйнування плазматичної мембрани, ініціювало перехід системи із анізотропного в ізотропний стан, що зумовило зростання провідності як наслідок збільшення рухливості іонів через зникнення межі розподілу, що має важливе значення для галузі знань 10 Природничі науки.

2. За темою дисертації опубліковано 6 наукових публікацій, де в значній мірі відображені основні результати дисертації, з них 4 публікацій у журналах, які індексуються наукометричними базами Scopus, 4 тези міжнародних конференцій та 1 на всеукраїнській конференції.

3. Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12 січня 2017 р. (зі змінами) «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами)

4. Рекомендувати дисертацію «Трансформація імпедансних спектрів під впливом деструктивних факторів», подану Приймаком Тарасом Володимировичем на здобуття ступеня доктора філософії, для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді Карпатського національного університету імені Василя Стефаника.

5. Розглянувши заяви і документи голови, рецензентів і опонентів разової спеціалізованої вченої ради, та встановивши, що подані документи відповідають вимогам до членів спеціалізованої вченої ради згідно Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами), пропонувати вченій раді Університету призначити наступний склад разової ради:

**Голова разової спеціалізованої вченої ради:**

Коцюбинський Володимир Олегович – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри прикладної фізики і матеріалознавства Карпатського національного університету імені Василя Стефаника.

1. Mokhnatska, L., Kotsyubynsky, V., Boichuk, V., Mokhnatskyi, M., Bandura, K., Kachmar, A., Bachuk, V. (2020). Ultrafine beta-FeOOH and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> obtained by precipitation method: comparative study of electrical and electrochemical properties. *Physics and Chemistry of Solid State*, 21(4), 680–688.

DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.21.4.680-688>

URL: [https://www.scopus.com/pages/publications/85099635213?origin=results\\_list](https://www.scopus.com/pages/publications/85099635213?origin=results_list)

ISSN: 2190-5509

*Ключові слова:* iron oxides, super-linear dependence, electrode material, supercapacitor, **impedance**, **spectroscopy**, specific capacity, **electrical conductivity**, cyclic voltammetry.

2. Kolkovskyi, P., Rachiy, B., Yaremiy, I., Kolkovskyi, M., Kotsyubynsky, V., Bilous, A., Klymkovych, S. (2024). Manganese dioxide nanoparticles and nanocomposites with carbon black. Synthesis, physical-chemical and electrical properties. *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, 32(12), 1151–1161.

DOI: <https://doi.org/10.1080/1536383X.2024.2382275>

URL: [https://www.scopus.com/pages/publications/85200052567?origin=results\\_list](https://www.scopus.com/pages/publications/85200052567?origin=results_list)

ISSN: 1536-383X

*Ключові слова:* manganese dioxide, **electroconductivity**, **impedance spectroscopy**, activation energy, carbon black.

3. Hodlevska, M., Kotsyubynsky, V., Boychuk, V. *et al.* Hydrothermally synthesized NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/rGO composites: structure, morphology and electrical conductivity. *Appl Nanosci* **13**, 5199–5209 (2023).

DOI: <https://doi.org/10.1007/s13204-022-02741-x>

URL: [https://www.scopus.com/pages/publications/85146923229?origin=results\\_list](https://www.scopus.com/pages/publications/85146923229?origin=results_list)

ISSN: 2190-5509

*Ключові слова:* Nickel ferrite, rGO, XRD, Mossbauer, **Electrical conductivity**.

**Рецензенти:**

1. Рачій Богдан Іванович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри прикладної фізики і матеріалознавства Карпатського національного університету імені Василя Стефаника.

1. Mandzyuk, V., Mironyuk, I., Ivanichok, N., & Rachiy, B. (2021). Impedance spectroscopy of capacitor systems based on saccharide-derived porous carbon materials. *Physics and Chemistry of Solid State*, 22(4), 711–716.

DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.22.4.711-716>

URL: [https://www.scopus.com/pages/publications/85128360426?origin=results\\_list](https://www.scopus.com/pages/publications/85128360426?origin=results_list)

ISSN: 1729-4428

*Ключові слова:* porous carbon material, **impedance spectroscopy**, supercapacitor, specific surface area, **equivalent electric circuit**

2. Kolkovskiy, Pavlo & Rachiy, B. & Yaremiy, Ivan & Kolkovskiy, Mykhailo & Kotsyubynsky, V. & Bilous, Anatoli & Ivanichok, Natalia & Poveda, Tetiana & Klymkovych, Semen. (2024). Manganese dioxide nanoparticles and nanocomposites with carbon black. Synthesis, physical-chemical and electrical properties. Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures. 32. 1-11.

DOI: <https://doi.org/10.1080/1536383X.2024.2382275>.

URL: [https://www.scopus.com/pages/publications/85200052567?origin=results\\_list](https://www.scopus.com/pages/publications/85200052567?origin=results_list)

ISSN: 1536-383X

*Ключові слова:* Manganese dioxide, **electro conductivity**, **impedance spectroscopy**, activation energy, carbon black.

3. Rachiy, B. & Ivanichok, N.Ya & Mokliak, Volodymyr & Kolkovskiy, P.I. & Bulbuk, Oleksandr & Soltys, A.M. & Borchuk, D.S. & Khrushch, L.Z.. (2024). Effect of thermochemical activation temperature on electrical conductivity and concentration of charge carriers in the obtained porous carbon materials. *Physics and Chemistry of Solid State*. 25. 853-862.

DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.25.4.853-862>.

URL: <https://www.scopus.com/pages/publications/85213245080?origin=results>

list

ISSN: 1729-4428

**2. Яблонь Любов Степанівна** - доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри фізики та астрономії Карпатського національного університету імені Василя Стефаника.

1. Budzuliak, I., Yablon, L., Kotsyubynsky, V., Rachii, B., Budzuliak, I., Boychuk, V., ... Kryvulych, R. (2024). Interaction of electrolyte molecules with the surface of porous carbon: NMR study. *Physics and Chemistry of Solid State*, 25(1), 212–216.

DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.25.1.212-216>

URL: <https://www.scopus.com/pages/publications/85189000941?origin=results>

list

ISSN: 2309-8589

Ключові слова: porous carbon, NMR, chemical shift, **electrolyte**.

2. Popovych, O., Budzulyak, I., Khemii, M., Ilnytskyi, R., Yablon, L., Popovych, D., & Panko, I. (2023). Laser-modified nanocrystalline NiMoO<sub>4</sub> as an electrode material in hybrid supercapacitors. *Physics and Chemistry of Solid State*, 24(1), 190–196.

DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.24.1.190-196>

URL: <https://www.scopus.com/pages/publications/85154057689?origin=results>

list

ISSN: 1729-4428

Ключові слова: hybrid supercapacitor, laser irradiation, nickel molybdate, **electrical conductivity**, specific capacitance.

3. Ivanichok, N., Kolkovskiy, P., Soltys, A., Boychuk, V., Mandzyuk, V., Yablon, L., & Rachiy, B. (2023). The effect of orthophosphoric acid on energy-intensive parameters of porous carbon electrode materials. *Physics and Chemistry of Solid State*, 24(1), 34–45.

DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.24.1.34-45>

URL:<https://www.scopus.com/pages/publications/85153965973?origin=results>

list

ISSN: 1729-4428

*Ключові слова:* porous carbon material, activating agent, specific surface area, pore size distribution, **specific capacity**, electrochemical capacitor.

**Опоненти:**

1. Іващишин Федір Олегович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної фізики і наноматеріалознавства Національного університету «Львівська політехніка».

1. Ivashchyshyn F. Multivoltaic GaSe<SmCl<sub>3</sub>> clathrate as new hybrid functional nanostructure / F. Ivashchyshyn, A. Pidluzhna, D Calus, O. Hryhorchak, P. Chabecki, O. Makarchuk // Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences. – 2021. – Vol. 69(2). – P. e136726-1-5.

DOI: <https://doi.org/10.24425/bpasts.2021.136726>

URL:<https://www.scopus.com/pages/publications/85105492801?origin=results>

list

ISSN: 2300-1917

*Ключові слова:* fuel cell, **impedance analysis**, GaSe; multiferroic, thermogalvanic effect, negative capacity.

2. Maksymych V. The Accumulation of Electrical Energy Due to the Quantum-Dimensional Effects and Quantum Amplification of Sensor Sensitivity in a Nanoporous SiO<sub>2</sub> Matrix Filled with Synthetic Fulvic Acid / V. Maksymych, D. Calus, B. Seredyuk, G. Baryshnikov, R. Galagan, V. Litvin, S. Bujnowski, P. Domanowski, P. Chabecki, F. Ivashchyshyn // Sensors. – 2023. – Vol. 23(8). – P. 4161-1-13.

DOI: <https://doi.org/10.3390/s23084161>.

URL:<https://www.scopus.com/pages/publications/85153784645?origin=results>

list

ISSN: 1424-8220

*Ключові слова:* encapsulate, silicon dioxide matrix; synthetic fulvic acid,

impedance spectroscopy, photo- and magneto-resistive and capacitive effects, quantum battery.

3. Maksymych V. Hierarchical heterostructure built on the basis of SiO<sub>2</sub> dielectric matrix and supramolecular complex  $\beta$ -cyclodextrin-ferrocene: fabrication, physical properties and applications / V. Maksymych, M. Klapchuk, A. Borysiuk, Yu. Kulyk, V. Stadnyk, I. Bordun, Z. Kohut, F. Ivashchyshyn // Materials Research Bulletin. – 2023. – Vol. 163. – P. 112220(1-9).

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2023.112220>

URL: <https://www.scopus.com/pages/publications/85149442048?origin=resultslist>

ISSN: 0025-5408

*Ключові слова:* SiO<sub>2</sub> matrix, **impedance spectroscopy**, Coulomb blockade, Spin EMF, Thermogalvanic effect.

2. Худецький Ігор Юліанович – доктор медичних наук, професор, завідувач кафедри біобезпеки та здоров'я людини Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” .

1. Худецький, Ігор & Антонова-Рафі, Юлія & Мельник, Ганна & Римар, Сергій. (2024). *НАПРЯМКИ ЗАСТОСУВАННЯ БІОІМПЕДАНСОМЕТРІЇ В МЕДИЦИНІ*. Біомедична інженерія і технологія. 13-22. 10.20535/2617-8974.2024.13.299300.

DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-8974.2024.13.299300>

URL: <http://biomedtech.kpi.ua/article/view/299300>

ISSN: 2707-8434.

*Ключові слова:* **біологічні тканини**, імпедансометрія, **імпеданс біологічних тканин**, **біоімпеданс**, діагностика, оцінка складу тіла, імпедансна кардіографія, трансторакальна імпедансна пневмографія, електроімпедансна томографія.

2. Худецький, І. Сучасні підходи до визначення життєздатності живих тканин / Худецький Ігор Юліанович, Сніцар Євген Вікторович // Біомедична інженерія і технологія. – 2023. – № 11. – С. 62-68. – Бібліогр.: 12 назв.

DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-8974.2023.11.290209>

URL: <https://ela.kpi.ua/items/c99bfb3-b7de-4277-9c4b-61e7ddf946d8>

ISSN: 2707-8434

**Ключові слова:** електричний струм, вплив на живу тканину, діагностика, імпеданс, височастотний електричний струм, жива тканина, електрозварювання, електротермічний вплив, вимірювання імпедансу біологічних тканин.

3. Худецький І. Ю., Сніцар Є. В. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БІОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН В ПРОЦЕСІ ЇХ ЗВАРЮВАННЯ. *Біомедична інженерія і технологія*. 2023. Т. 12, № 4.

DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-8974.2023.12.294926>

URL: <http://biomedtech.kpi.ua/article/view/294926>

ISSN: 2707-8434

*Ключові слова:* термоелектрохірургія, діагностика, безкровні технології, хірургія, оперативне втручання, електрозварювання, **імпеданс**, імітатор живих тканин.

Голова фахового семінару

доктор фізико-математичних наук,

завідувач кафедри

прикладної фізики і

матеріалознавства



Володимир КОЦЮБІНСЬКИЙ

Секретар фахового семінару

доктор фізико-математичних наук,

професор, професор кафедри

прикладної фізики і матеріалознавства



Богдан РАЧІЙ

17 грудня 2025 р.