

## В І Д Г У К

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Стоянова Юрія Миколайовича** на тему:

**«Удосконалення обчислювальних методів оптимального синтезу ректени для бездротового заряджання акумулятора в імплантанті»,**

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

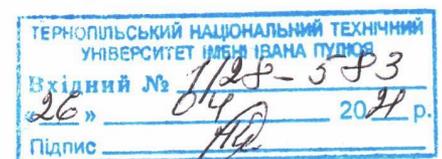
за спеціальністю

01.05.02- математичне моделювання та обчислювальні методи (технічні науки)

### **Актуальність обраної теми.**

В медицині для підтримання життєдіяльності у біологічних системах використовують імплантовані медичні прилади (IMD): біологічні давачі, нейростимулятори та кардіостимулятори, з вмонтованими джерелами живлення. IMD споживають від джерела живлення потужність від декількох мікроват до декількох ват, яка у процесі їх функціонування витрачається. Отже, після повного використання запасів енергії в джерелі живлення IMD є потреба інвазійного втручання для заряджання чи заміни джерела живлення, що спричиняє стрес від болю та небезпеку інфікування пацієнта, що може спричинити погіршення його стану.

Інноваційний розвиток технологій виробництва акумуляторів та ефективності бездротового трансферу енергії в близькій зоні електромагнітного поля (використанням ємнісних, індукційних, або резонансних властивостей електромагнітних процесів) створюють умови заряджання акумулятора IMD і, відповідно, тривалого забезпечення живлення без інвазійного втручання. Інформаційний та літературний аналіз тенденцій бездротового трансферу енергії з використанням індуктивного каналу, в якому співвісні котушки індуктивності є ректенами вказує на значні втрати енергії, для компенсації яких треба збільшувати потужність на передаючій ректені. Проте, за таких умов, підвищуються вимоги до біосумісності та прогнозування і оцінювання негативного впливу бездротового трансферу енергії на біосередовище, а також його вплив на втрати потужності при трансфері.



Отже, виникає потреба вироблення рішень щодо оптимізації такого трансферу, наприклад, шляхом оптимального синтезу ректени, але таке наукове завдання синтезу оптимальних конструктивних параметрів ректени та апаратно - програмні засоби для забезпечення необхідної потужності заряду акумулятора є невирішене. Зважаючи на це, актуальним є удосконалення обчислювальних методів оптимального синтезу ректени для бездротового заряджання акумулятора в імплантанті, є актуальними.

Висновок щодо актуальності роботи підтверджується її зв'язком з тематикою наукових досліджень, які виконувалися за тематичними планами в Тернопільському національному технічному університеті імені І. Пулюя, зокрема, за темою “Дослідження та розроблення методів побудови програмно технічних засобів експертних систем для діагностики стану серцево-судинної системи”, номер держреєстрації 0112U002206 (2012-2013 рр.).

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі**

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи Стоянова Ю. М. ґрунтуються на проведених дослідженнях та виконаному всебічному аналізі отриманих результатів з використанням теорії поширення електромагнітних полів і практики побудови ректен для реалізації бездротового трансферу енергії.

За результатами огляду теоретичних та експериментальних робіт з дослідження процесів безпроводного трансферу електроенергії через біосередовище та його реалізації для заряджання акумулятора імплантату з врахуванням соціальних, технічних та наукових аспектів трансферу, автором обґрунтовано актуальність і доцільність роботи щодо удосконалення обчислювальних методів оптимального синтезу ректени, бездротового трансферу електромагнітної енергії для заряджання акумулятора імплантату кардіостимулятора-дефібрилятора, а також завдання, вирішення яких забезпечить досягнення поставленої мети.

Для розв'язання поставлених завдань, автором на відомих закономірностях електродинаміки обґрунтовано подання коректним математичним об'єктом з розмірністями та подібністями властивими процесу безпроводного трансферу електромагнітної енергії через біосередовище до імплантату, що дало змогу виконати математичне моделювання трансферу електромагнітної енергії через біосередовище, та обґрунтувати обчислювані методи синтезу оптимальної структури ректени для цього трансферу.

При проведенні аналізу загальних висновків, які розкриті у розділах дисертації, необхідно відзначити, що автором обґрунтовано та еспериментально перевірено спільну теоретичну основу для побудови методів представлення, відбору параметрів, та рівня енергії після проходження через шари біосередовища, чим створена можливість поєднання автоматизованих та інтерактивних режимів його параметрів й адаптивних режимів нормуванням інтенсивності потоку енергії, її відбору та використання. При цьому, автор глибоко та різнобічно врахував умови та джерела, щодо забезпечення принципу неінвазивності трансферу електроенергії бездротовим способом, з дотриманням вимог медичних стандартів з потрібними обмеженнями по діапазону частот і по потужності.

### **Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій**

Достовірність отриманих наукових результатів забезпечується коректністю, повнотою та адекватністю фізичних припущень в постановці завдань, з урахуванням відповідних (медичних) обмежень і використанням математичних методів, відповідністю пропонованих математичних моделей фізичній суті процесів в досліджуваних об'єктах і зроблених на їх основі висновків. Достовірність результатів та висновків, які отримані у дисертації, підтверджуються: адекватним застосуванням удосконаленого методу параметричної ідентифікації представленої обчислювальної моделі й отримання результатів бездротової трансформації енергії на підставі верифікації шляхом комп'ютерного моделювання контрольованого трансферу електроенергії через біосередовище і порівняння його з неконтрольованим трансфером з

неоптимізованою та оптимізованою ректеною, застосуванням сучасних засобів вимірювального комплексу, а також методів обробки експериментальних даних та підтверджується задовільною відповідністю при зіставленні результатів розрахунків з отриманими експериментальними даними, а також апробацією отриманих результатів, виступах на наукових конференціях. Розроблений метод синтезу випромінювальної ректени, забезпечує підбір оптимальних параметрів випромінювання з урахуванням особливостей будови та складу й неоднорідності біотканин конкретного пацієнта.

Усе вище сказане свідчить про те, що розроблені у дисертаційній роботі концепція, моделі, методи удосконалюють обчислювальні методи оптимального синтезу ректени для бездротового трансферу енергії.

Обґрунтований бездротовий трансфер енергії через біосередовище з оптимізованою ректеною не викликає сумніву, проте недостатньо визначеними залишається питання заряду акумулятора в імпланті та контролю цього процесу.

### **Наукова новизна дисертаційної роботи**

1. Вперше обґрунтовано використання ейконального представлення електромагнітного випромінювання при оптимізації безпроводного трансферу енергії через біосередовище для заряджання акумулятора імплантату кардіостимулятора-дефібрилятора.

2. Вперше визначено хвилеву функцію трансферу електромагнітної енергії через шарувате біосередовище та запропоновано математичну модель трансферу, та метод оптимізації зарядження акумулятора.

3. Запропоновано використати генетичний алгоритм для параметричного синтезу оптимальної форми ректени, параметри форми якої взаємозалежні, та функцію мети (функцію фітнесу) генетичного алгоритму параметричного синтезу.

4. Вперше запропоновано метод та схему дистанційного контролю заряджання акумулятора імплантату.

5. Розроблено нові обчислювальні методи комп'ютерної симуляції та верифікації отриманих результатів дослідження – математичного моделювання, оптимального параметричного синтезу ректен, та безпроводного трансферу електромагнітної енергії для заряджання акумулятора імплантату.

Отримані результати вважаю обґрунтованими, достовірними та новими, проте запропонований генетичний алгоритм належить до нових прикладних (практичних) результатів.

### **Повнота викладу результатів в опублікованих працях**

Дисертаційна робота Стоянова Юрія є самостійним оригінальним дослідженням. Робота апробована на конференціях національного та міжнародного рівнів. Основні положення і результати дисертаційної роботи опубліковані в 14-ти публікаціях, зокрема: 4 – статті в наукових фахових виданнях України, із яких 1 стаття індексується в науко-метричній базі Scopus, 3 статті — у базах ICI Journals Master List, Index Copernicus; 3 публікації у працях міжнародних конференцій, які індексуються у базі Scopus, 7 – тез за доповідями та обговореннями на науково-технічних конференціях, індексованих у базі Google Scholar.

В опублікованих працях в фахових наукових виданнях повністю викладено основні наукові результати дисертаційної роботи, а рівень та кількість публікацій відповідають вимогам до кандидатських дисертацій в Україні.

### **Структура та зміст дисертації**

У **вступі** наведено: актуальність теми досліджень; мету дослідження та задачі; об'єкт, предмет та методи дослідження; новизну результатів, їх практична корисність, апробації, особистий внесок здобувача; дані про загальну кількість публікацій.

У **першому розділі** наведено аналітичний огляд конструкцій ректен, методів їх синтезу, визначення параметрів випромінювання ректени. Встановлено, що математичне моделювання випромінювання для оптимального трансферу, в тому числі через шарувате мінливе біосередовище, досліджено

недостатньо, аналіз стану акумулятора імплантату та його заряджання недосконалі, синтез ректени не враховує особливостей підтримки неінвазивності заряджання. Наведено задачі забезпечення ефективного трансферу енергії та оптимального синтезу.

У **другому розділі** обґрунтовано концептуальні засади визначення впливу шаруватого біосередовища на трансфер енергії. Розроблено напрям удосконалення методів та засобів системи заряджання акумулятора імплантату через-шкірно. Розроблено теоретичну основу для: побудови методів заряджання акумулятора імплантату; можливості поєднання автоматизованих та інтерактивних режимів керування параметрами заряджання; адаптивних режимів нормування інтенсивності потоку енергії, її відбору та використання.

Системний та концептуальний перегляд досліджень дає змогу до створення нового типу інтелектуальних систем імплантатів кардіостимуляторів-дефібриляторів (ІКД) низької інвазії, з керуванням динаміки трансферу електромагнітної енергії, зокрема, зі зменшенням інвазії самого черезшкірного середовища.

Запропоновані нові підходи до побудови ІКД дають змогу інтегрувати їх у проблемно-орієнтовані засоби із базами знань та логічно-керованим інтерфейсом для автоматизації процесу і прогнозування впливу невідомих чинників при підтримці здоров'я людини.

Математичні моделі та методи, на базі яких уточнено характеристики і параметри трансферу та його адаптації, водночас підвищують його якості, та уможливають підвищення ефективності ІКД.

У **третьому розділі** представлено метод параметричного синтезу ректени — параметрів форми, та діаграми направленості випромінювання. Наведено граничні умови для форми ректени, обмеження, критерій оптимальності (функцію фітнесу). Обґрунтовано вибір неградієнтного методу пошуку оптимальної форми ректени — вибрано генетичний алгоритм пошуку, враховано біомедичні обмеження (дотримання принципів неінвазійності), та взаємозалежність параметрів ректени.

У **четвертому розділі** представлено методи та результати верифікації контролю безпроводного трансферу електроенергії. Верифікацію виконано шляхом комп'ютерного моделювання контрольованого трансферу електроенергії через біосередовище і порівняно його з неконтрольованим трансфером, з неоптимізованою та оптимізованою ректеною. Встановлено, що режим безпроводного трансферу електричної енергії на імплантат визначає мета самої імплантації та стан імплантованого біооб'єкту. Наведено ілюстрації результатів експериментальних досліджень. Розроблено програми для імітаційного моделювання та обчислень при біомедичних дослідженнях. Теоретичні та експериментальні дослідження дають змогу до підготовки спеціалістів з біомедичної інженерії та охорони здоров'я до проектування належного інформаційно технологічного забезпечення подальших біомедичних тестувань, їх виконання, а також до навчання у вищих навчальних закладах.

У **додатках** містяться: список публікацій за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.

**Автореферат** ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає актуальність, мету та задачі, основні наукові положення, практичну значущість, апробацію дисертації, її зміст по розділах, та висновки.

### **Значущість отриманих результатів для науки і практики.**

Отримані в роботі результати – алгоритми та програмні додатки були використані при удосконаленні способу синтезу випромінювальної ректени, шляхом підбору оптимальних параметрів випромінювання ректени з урахуванням особливостей будови та складу тканин конкретного пацієнта. Оптимізація процесів бездротового заряджання акумулятора імплантату, дасть змогу до повного використання технічного ресурсу акумулятора та значно зменшить інвазію людини яка використовує імплантат.

Результати дисертаційного дослідження впроваджено в Науково-виробничому експериментальному спільному малому підприємстві «МЕДАП».

Дані про впровадження підтверджено відповідним актом.

## Зауваження до дисертаційної роботи

Оцінюючи в цілому виконану роботу позитивно, є ряд зауважень:

1. При аналізі літературних джерел ( в першому розділі) недостатньо приділено уваги критичному аналізу існуючих методів бездротового трансферу енергії та не акцентовано з точки зору невирішених іншими дослідниками частин проблеми, щодо вимоги параметрів та засобів ( ректени) передачі енергії в імплантанти з меншеними втратами.

2. Мало інформативними за змістом, стосовно опису і обґрунтування методу контролю заряджання акумулятора імплантату є розділи:

- 2.3. Схема безпроводного заряджання та його контролю (стор. 68- 70 дисертації);

- 4.4. Спосіб черезшкірного заряджання акумулятора імплантату (стор. 109- 111 дисертації).

3. У розділі 4 не показано порівняльні характеристики втрат енергії з використанням типової та оптимізованої ректен для оцінки результатів оптимізації.

4. Деякі рисунки та текст на рисунках дисертаційної роботи не в повній мірі відображає їх ціль, зокрема, рис. 2.10 (стор. 70), рис. 3.1(стор. 73), рис. 4.1 (стор. 95).

5.Відсутні:

- числова шкала кольорів (рис. 4.2, стор. 97; рис.4.5 стор. 102);

- пояснення, щодо результатів поданих в таблиці 4.2;

- позначення функціональних блоків макету (рис 4.10 стор. 107).

6.У тексті дисертаційної роботи мають місце деякі неточності чи описки, наприклад, затрати чи втрати енергії (стор. 112) та повтори (стор. 93 і32).

Вказані вище зауваження не знижують як теоретичного, так і практичного значення дисертаційної роботи тому, що не мають характеру принципового заперечення елементів чи процесів предмету дослідження, а спрямовані на покращання змісту і сприйняття окремих результатів дослідження.

### Загальні висновки

На підставі вивчення дисертаційної роботи, автореферату і наукових робіт вважаю, що дисертаційна робота Стоянова Юрія Миколайовича на тему „Удосконалення обчислювальних методів оптимального синтезу ректени для бездротового заряджання акумулятора в імплантаті”, є цілісною завершеною науковою працею, в якій розв’язано актуальне наукове завдання математичного моделювання бездротового черезшкірного трансферу електромагнітної енергії і розвитку обчислювальних методів синтезу ректени для заряджання акумулятора імплантату кардіостимулятора-дефібрилятора та отримані нові науково обґрунтовані результати.

За актуальністю теми, обсягом проведених досліджень, науковим рівнем і практичною цінністю, робота відповідає вимогам „Порядку присудження наукових ступенів” (зокрема п.9, 11, 12 щодо кандидатських дисертацій), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 (зі змінами) від 24 липня 2013 р., а її автор, Стоянов Юрій Миколайович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02- математичне моделювання та обчислювальні методи (технічні науки).

### Офіційний опонент:

доцент кафедри  
інформаційно-обчислювальних  
систем та управління  
Західноукраїнського  
національного університету  
кандидат технічних наук

З.І. Домбровський

Підпис *З. І. Домбровський*

Завіряю:  
НАЧАЛЬНИК  
ЗАГАЛЬНОГО ВІДДІЛУ *Алла Сеник*

33680120

