

## ВІДГУК

офіційного опонента

ПЛЮГІНА ВЛАДИСЛАВА ЄВГЕНОВИЧА

на дисертаційну роботу *Петренка Микити Павловича*

**«Визначення профілю соленоїдів для створення імпульсних магнітних полів за допомогою аналітичних розв'язків задач аналізу»**,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

### **Актуальність теми**

У промисловості широко використовуються різні методи обробки металів, як правило, принцип їх дії полягає в застосуванні тиску, температури або ріжучих інструментів до заготівлі. Використання магнітного поля в якості основної сили впливу веде до значної економії енергетичних ресурсів, підвищення екологічних показників заводів і їх продуктивності, розширення списку матеріалів, з якими можна працювати. Магнітно-імпульсна обробка металів є дуже вигідним і ефективним методом, тому вона користується широкою популярністю серед сучасних виробників. У зв'язку з цим дисертаційна робота Петренко М.П., що спрямована на забезпечення заданого розподілу імпульсного магнітного поля на поверхні оброблюваної металевої заготовки за рахунок оптимізації профілів масивних одновиткових соленоїдів, є актуальною.

У дисертаційній роботі поставлена і вирішена науково-технічна задача визначення профілів масивних одновиткових соленоїдів за допомогою аналітичних розв'язків задач аналізу імпульсного магнітного поля, що утворюється джерелами елементарної форми.

Тема пов'язана з виконанням науково-дослідних робіт кафедри «Інженерна електрофізика» НТУ «ХПІ». Здобувач брав участь у науково-дослідних роботах:

1) НДР №0116U000878 «Дослідження електрофізичних процесів при проектуванні та експлуатації установок традиційної та нетрадиційної високовольтної енергетики» (2016-2018 р.р.). Участь автора – виконавець;

2) НДР №0118U001573 «Дослідження нових енергоефективних методів обробки речовин, у тому числі води, з використанням високовольтної техніки» (2018-2020 р.р.). Участь автора – виконавець.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.**

Положення та висновки, наведені в дисертаційній роботі Петренка М.П., в достатній мірі обґрунтовані як з наукового, так і з технічного поглядів. Обґрунтованість отриманих у роботі наукових положень, висновків і рекомендацій базується на використанні математичного апарату фундаментальних положень теоретичної електротехніки, математичної фізики, чисельних методів аналізу та сучасних інформаційних технологій з використанням ліцензійного програмного забезпечення.

Результати перевірені шляхом проведення практичних експериментів, що підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

**Достовірність результатів досліджень.**

Достовірність результатів теоретичних досліджень підтверджується результатами відповідних експериментальних досліджень.

Наукові результати застосовані під час створення експериментального стенду для вимірювань розподілу індукції магнітного поля на поверхні оболонки, для чого було виготовлено масивний соленоїд, контур профілю якого було розроблено на основі теоретичних розрахунків.

**До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:**

- уперше для визначення форми одновиткового масивного соленоїда, що забезпечує заданий розподіл імпульсного магнітного поля на циліндричній поверхні металеві заготовки при магнітно-імпульсній обробці, застосовано функцію Гріна;

- уперше запропоновано апроксимацію складного криволінійного контуру масивного соленоїда контуром багатокутника, що дозволило суттєво спростити його проектування та виготовлення;

- отримало подальший розвиток застосування функцій Гріна для визначення профілів масивних соленоїдів, що забезпечують заданий розподіл плоскомеридіанного або плоскопаралельного магнітного поля на плоскій поверхні металевої заготовки.

### **Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.**

Практична цінність полягає у використанні результатів досліджень для визначення та апроксимації профілів соленоїдів, що забезпечують заданий розподіл індукції магнітного поля на граничній поверхні та можуть бути застосовані при проектуванні інструмента в магнітно-імпульсній обробці металів.

### **Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.**

Результати досліджень опубліковані у 6 наукових працях, серед яких: 5 статей у наукових фахових виданнях України (2 статті опубліковані у науковому періодичному виданні іншої держави (Польща), яка входить до Організації економічного співробітництва та розвитку і Європейського Союзу (видання включено до наукометричних баз Web of Science та Scopus).

Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві зазначена у дисертаційній роботі.

Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на:

- міжнародних симпозіумах «Проблеми електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» (SIEMA, Харків, 2016 – 2019 рр.);

- семінарах «Теоретична електротехніка» Наукової Ради з проблеми «Наукові основи електроенергетики» НАН України в ДУ «ІТПМ НАН України» (Харків, 2017 та 2019 рр.),

- XV Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми сучасної електротехніки» (Київ, 2018 р.).

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 11 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, Затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167.

### **Оцінка змісту дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота Петренка М.П. складається з чотирьох розділів, висновків, додатку та списку використаних джерел.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначені задачі дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, наведено дані про наукову новизну, практичне значення, апробацію результатів та публікації.

У першому розділі проведено огляд конструкцій полеутворюючих систем для магнітно-імпульсної обробки металів та аналіз відомих методів визначення їх форми. Обґрунтовано необхідність розвитку методів, заснованих на використанні аналітичних розв'язків задач аналізу для джерел елементарної форми, обрано напрями досліджень, поставлені основні задачі дисертаційної роботи.

У другому розділі запропоновано метод визначення форми масивних одновиткових соленоїдів для створення заданого розподілу азимутальної складової індукції магнітного поля на поверхні циліндричної та плоскої заготовки, що засновується на використанні систем елементарних джерел зі струмами, котрі розташовані поблизу цих поверхонь. Наведено формули для розрахунку індукції магнітного поля та магнітного потоку, що створюються такими джерелами. Правильність визначення точного контуру профіля соленоїда підтверджується за допомогою методу інтегральних рівнянь.

У третьому розділі запропоновано апроксимацію точного контуру профілю масивного одновиткового соленоїда багатокутником, що дозволило значно спростити його проектування і виготовлення. Досліджено розподіли індукції магнітного поля та їх розбіжності із заданим для соленоїдів точного та апроксимованих профілів. Розраховано та порівняно індуктивність системи соленоїд – циліндр.

У четвертому розділі експериментально досліджено розподіли індукції плоскомеридіанного магнітного поля, що створюється масивним одновитковим соленоїдом поблизу циліндричної поверхні заготовки. Для цього було виготовлено соленоїд, контур профілю котрого отримали за допомогою методу, який запропоновано в дисертації. Наведено відносні розбіжності між виміряними та заданими розподілами, які при всіх варіантах імпульсу не перевищують 6 відсотків по всій довжині оброблюваної поверхні.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані чітко та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел із 91 найменувань досить повний і включає вітчизняні та зарубіжні публікації.

Анотація відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

#### **Академічна доброчесність**

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

#### **По дисертаційній роботі можна зробити такі зауваження:**

1) У підрозділі 1.3, присвяченому аналізу методів оптимізації, що засновуються на ітеративному підборі параметрів, більшою мірою приділено увагу двом крупним комерційним програмним продуктам з боку реалізації ними методу кінцевих елементів та специфічних підходів до розрахунку магнітного поля. Ця інформація є корисною у наступних розділах, проте саме тут не дає змогу дати відповідь на поставлене запитання, а саме, яким чином у групі методів ітеративного підбору параметрів реалізовано вирішення задачі оптимізації? Які алгоритми, із перерахованих у підрозділі, використовують згадані програмні продукти?

2) У підрозділі 1.3, при розгляді аналітичних методів, увагу приділено аналітичному вирішенню задачі розрахунку швидкості деформації, але це не стосується, знову ж таки, поставленій задачі аналізу методів оптимізації. Розглянуті далі у цьому ж підрозділі методи оптимізації розглядаються окремо один від одного без заключного висновку по ним. Отже, неясно, який метод пропонується для

використання і розбіжність з яким з них (стор. 25) була перевірена експериментально?

3) Незрозуміло формулювання на стор. 25 «Для перевірки методу (якого саме?) автори використовували реальний індуктор та порівнювали аналітичні результати з результатами, які отримували за допомогою комерційного програмного забезпечення для кінцево-елементного аналізу (COMSOL Multiphysics)»: як можна перевірити за такий спосіб метод оптимізації? Експериментальне випробування зразка або його віртуального аналога не є оптимізацією, а відноситься до верифікації результатів проведених розрахунків. Отже, можна перевірити розрахунок з одним набором вхідних даних, навіть отриманих в результаті оптимізації, та оцінити його відповідність експерименту але ніяк не метод оптимізації. Це буде просто перевірка достовірності використаного математичного апарату.

4) У підрозділі 1.4 аналізуються методи, що засновані на розв'язанні задач продовження поля (у контексті пошуку оптимальної конструкції). Автор достатньо глибоко розглянув методи оптимізації, що існують, запропонував власний підхід та показав одержані результати, але в цьому не простежується аналітика. Не виконано порівняльного аналізу ефективності, недоліків або переваг тих чи інших методів, у тому числі і того, який був розроблений автором.

5) У підрозділі 2.2 на рис. 2.4 показано розподіли індукції системи двох кільцевих провідників – співвісний провідний циліндр та нижче поставлено задачу перевірки правильності розподілу магнітної індукції. Наприкінці підрозділу на рис. 2.6 показано результати перевірки між точним розподілом індукції, який отримано за допомогою аналітичної формули (2.2), та розподілами, що отримані за допомогою чисельного розв'язку інтегрального рівняння, де кращі значення відповідають мінімальному кроку розрахункової сітки. Але підвищення точності чисельних розрахунків при зменшенні кроку сітки є очевидним і мінімальний крок (розуміємо як збільшення ітерацій) обмежений потужністю комп'ютера. У зв'язку з цим незрозуміло за рахунок чого, насправді, окрім зменшення кроку сітки, було досягнуто збіжність в результаті виконаної перевірки?

6) У підрозділі 2.5 у формулі (2.31) визначено цільову функцію, яка залежить від 7 параметрів. Градієнтний метод не є кращим для вирішення задачі оптимізації з такою кількістю варійованих параметрів, окрім того, великий ризик знаходження локального мінімуму цільової функції. Простота цього методу не є «легкою» для самих розрахунків, бо на кожному кроці визначаються значення усіх похідних цільової функції по всім незалежним змінним. У зв'язку з цим використання, наприклад, методу оптимізації на базі класичного генетичного алгоритму буде мати не тільки не мещу швидкість, але й забезпечить отримання глобального екстремуму цільової функції. Також, метод градієнтного спуску чутливий до початкових точок (кожна з яких призведе до свого локального мінімуму) та оптимального кроку, який визначає не тільки кількість ітерацій, але й також і збіжність розрахунків. У роботі про завдання таких параметрів не згадано.

7) Метою 3 розділу є спрощення контуру точного профілю масивного одновиткового соленоїда складної форми для спрощення його виготовлення на станках з ЧПК. Для цього пропонується заміна точного контуру профілю соленоїда багатокутником з відносно невеликим числом кутів і сторін. Сучасні програмні комплекси, як комерційні (SolidWorks, AutoCad, 3dsMax) так і безкоштовні (Blender) дозволяють не тільки виконати аналогічні операції штатними засобами, але й за певних зусиль підготувати на виході скрипт для станків з ЧПК. Чому у роботі не розглянуто такі перевірені практикою методи та їх застосування до поставлених в дисертаційній роботі задач?

8) У 4 розділі, присвяченому експериментальним дослідженням, не тільки виготовлено експериментальний зразок, але й проведено його натурні випробування. Але, попри гарної експериментальної бази, що звичайно позитивно сприяє якості дисертаційних досліджень, повністю відсутнє використання теорії планування експерименту та статистичної обробки отриманих результатів. Просте знаходження процентної розбіжності не є єдиним показником з оцінки та подальшого аналізу збіжності експерименту та теорії. Це стосується таких показників, як середньоквадратичне відхилення, параметричні критерії розбіжності Стьюдента та Фішера, коефіцієнти кореляції, апроксимація експериментальних даних тощо.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи. Дисертація є актуальною і має високу наукову цінність та практичну значущість.

## ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Петренка Микити Павловича «Визначення профілю соленоїдів для створення імпульсних магнітних полів за допомогою аналітичних розв'язків задач аналізу» за своїм змістом відповідає спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою та розв'язує важливу науково-практичну задачу, яка полягає у визначенні профілів масивних одновиткових соленоїдів за допомогою аналітичних розв'язків задач аналізу імпульсного магнітного поля, що утворюється джерелами елементарної форми, для забезпечення заданого розподілу імпульсного магнітного поля на поверхні оброблюваної металевої заготовки при магнітно-імпульсній обробці металів.

Дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 10, 11, 12 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, Затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167, а здобувач *Петренко Микита Павлович*, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Офіційний опонент

д.т.н., професор, професор кафедри систем електропостачання та електроспоживання міст

Харківського національного університету

міського господарства імені О.М. Бекетова

11.11.2020



Владислав ПЛЮГІН

Підпис В. Лавренюк



11.11.2020

Олена Романенко