

ВІДГУК

офіційного опонента Віннікова Дениса Вікторовича
на дисертаційну роботу Варшамової Ірини Сергіївни
**«Обґрунтування параметрів іскрового розрядника
для високовольтного газорозрядного устаткування»**,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.09.13 – техніка сильних електричних та магнітних полів

Актуальність теми.

Іскрові розрядники є важливим електротехнічним апаратом, використання яких дозволяє здійснювати комутацію в схемах з використанням високовольтного обладнання. Ємнісні та індуктивні прискорювачі заряджених частинок, високовольтні підводні розряди та багато іншої сильнотрмової електророзрядної імпульсної техніки зобов'язані швидкому перетворенню накопиченої електричної енергії в інші її види саме завдяки іскровим розрядникам. До того ж іскрові розряди і відповідно розрядники використовуються у світлотехніці зокрема в імпульсних джерелах світла. Широке і майже безальтернативне використання на даний час іскрові розряди мають у пристроях запалювання горючих сумішей у галузях двигунобудування. З розвитком нанотехнологій процеси, що тривають у розрядниках виправдали себе під час одержання наночастинок, що утворюються під час ерозії електродів.

Керування параметрами електричної схеми, струмом, опором розрядного проміжку та досконала їх діагностика є важливим аспектом забезпечення довгострокової служби розрядників, та відповідно надійності роботи всього електротехнічного обладнання в цілому, та технологічних циклів, що вони забезпечують.

В роботі Варшамової І. С. «Обґрунтування параметрів іскрового розрядника для високовольтного газорозрядного устаткування» велика увага

приділена визначенню основних електрофізичних параметрів каналу іскрового розряду в динаміці, та вплив на ці параметри початкового тиску та довжини міжелектродного проміжку розрядника. Цими параметрами з одного боку достатньо легко управляти, та з іншого процес введення енергії в іскровий канал дуже залежить саме від цих факторів.

Актуальність теми роботи та вагомість результатів дисертації підтверджується тим, що вона виконувалась відповідно до плану науково-дослідної роботи кафедри загальної електротехніки Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», де здобувачка була виконавцем окремих розділів. Результати досліджень були впроваджені на кафедрі електричних апаратів НТУ «ХПІ» та використовуються в навчальному процесі. Усі положення підтверджені відповідними актами впровадження.

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

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, отриманих та сформульованих в дисертаційній роботі Варшамової І. С. є достатнім завдяки коректному застосуванню відомих методів досліджень, таких, як методи математичного моделювання, вимірювань та експериментальних досліджень на фізичних моделях із застосуванням сучасного математичного апарату та програмних пакетів. Достовірність отриманих здобувачем результатів доводиться відповідністю теоретичних розрахунків результатам експериментальних досліджень.

Достовірність результатів досліджень.

Про достовірність отриманих результатів свідчить їх взаємоузгодженість, відповідність теоретичних розрахунків результатам експериментальних досліджень і літературним даним.

Основні нові наукові результати дисертаційної роботи.

Наукова новизна одержаних результатів не викликає сумнівів і полягає в тому, що здобувачем у роботі:

1. Вперше виявлена залежність енергії, що виділяється у газорозрядному проміжку іскрового розряду, від початкового тиску газу у розрядному проміжку, що дозволило визначати зміну енергетичної ефективності іскрового розряду в умовах зміни початкового тиску газу у розрядному середовищі.

2. Удосконалено техніку вимірювання енергії, яка вводиться в газорозрядний проміжок шляхом урахування впливу точки підключення дільника напруги на розвиток перехідних електричних процесів у розрядному колі з навантаженням у вигляді іскрового проміжку.

3. Отримано подальший розвиток у фізиці процесу впливу початкового тиску газу у розрядному проміжку на процес газодинамічного розширення іскрового каналу, що дозволило удосконалити технологічні процеси, пов'язані з іскророзрядною обробкою середовища.

4. Удосконалено техніку експериментально-розрахункового дослідження падіння напруги на електродах та газорозрядному каналі за результатами вимірювання струму та напруги на розрядному проміжку, що дозволило удосконалити електророзрядне обладнання.

5. Удосконалено математичну модель розширення іскрового каналу уточненням електричної провідності газу у області температур до 8000 К, що дозволило провести дослідження процесу розширення іскрового каналу до часу падіння тиску у каналі до тиску зовнішнього середовища.

Значущість отриманих результатів для науки та практичного використання.

За результатами отриманих досліджень щодо впливу початкового тиску газу на розвиток електрофізичних процесів у іскровому каналі можливо удосконалити електророзрядне обладнання у технологіях формування наночасток, знизити ерозію електродів розрядників, підвищити імпульсну потужність електророзрядних джерел випромінювання, підвищити ударну дію іскрових розрядів;

Урахування впливу точки підключення дільника напруги на розвиток перехідних електричних процесів у розрядному колі з навантаженням у вигляді

іскрового проміжку дозволяє підвищити точність вимірювання мінімальної енергії запалювання.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Результати дисертаційної роботи відображено здобувачем в 8 наукових працях (3 статті та 5 тез доповідей науково-технічних конференцій), з яких 1 стаття в науковому фаховому виданні України, 1 стаття в міжнародному журналі, що входить до наукометричної бази Scopus та належить до квартилю Q1 (зараховується в еквіваленті як 2 статті), 1 стаття в українському науковому журналі, що входить до наукометричної бази Scopus, 2 тези доповідей науково-технічних конференцій, що входять до наукометричної бази Scopus, та 3 тези доповідей науково-технічних конференцій.

Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися на міжнародних симпозіумах та науково-практичних конференціях: Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD, м. Харків, Україна, 2019 р., 2020 р.); Міжнародному симпозіумі «Проблеми електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» (SIEMA, м. Харків, Україна, 2019 р., 2020 р.); XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases and the 10th International Conference on Reactive Plasmas, XXXIV ICPIG & ICRP-10 (Sapporo, Japan, 2019).

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертаційної роботи і в повній мірі відображає основні наукові результати, що були отримані здобувачем.

У цілому рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертаційної роботи на симпозіумах та конференціях повністю відповідають вимогам МОН України щодо кандидатських дисертацій.

Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота складається з анотації двома мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків і додатків. Повний обсяг дисертації становить 152 сторінки, основний текст – 123 сторінки, з них 82 рисунка по тексту, 6 рисунків на окремих 2 сторінках, 4 таблиці по тексту; список використаних джерел

інформації зі 128 найменувань на 15 сторінках; 2 додатки на 5 сторінках. Структура і обсяг дисертаційної роботи відповідають вимогам, що пред'являються до кандидатських дисертацій.

У *вступі* обгрунтовано актуальність роботи, показано її зв'язок з науковими програмами і темами, сформульовані мета і завдання дослідження, розкриті наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, показано особистий внесок здобувача у виконанні дисертаційної роботи та її практична апробація.

У *першому розділі* проведено огляд та аналіз впливу параметрів іскрового розрядника на розвиток іскрового розряду, сформульовані задачі та основні напрямки досліджень. Проведено аналіз особливостей вимірювання енергії низькоенергетичного іскрового розряду. На підставі цього аналізу виявлено необхідність урахування місця підключення дільника напруги в схемі розрядного кола під час іскророзрядного процесу, що не здійснено у розглянутих у літературі дослідженнях.

У *другому розділі* проведено удосконалення математичної моделі газодинамічного розширення іскрового каналу за рахунок розширення області застосування моделі до стану, де газ стає слабо іонізованим. Проведено чисельне дослідження впливу параметрів іскрового розрядника на розвиток іскрового розряду. Було встановлено, що початкове зростання тиску викликає обмеження швидкості розширення іскрового каналу. Проведено чисельне дослідження впливу довжини розрядного проміжку на розвиток іскрового каналу в азоті. Чисельними дослідженнями підтверджено, що збільшення довжини розрядного проміжку призводить до зростання енергії, що виділяється в іскровому розряді, зменшення амплітуди розрядного струму та збільшення опору іскрового каналу.

У *третьому розділі* удосконалено техніку дослідження приелектродного падіння напруги в іскрі на стадії її газодинамічного розширення в газах високого тиску, що дозволяє спростити техніку проведення дослідження. Дослідженнями по експериментально-розрахунковому методу визначення

приелектродного падіння напруги в іскрі підтверджено підвищене падіння напруги в приелектродних областях в період зростання розрядного струму

У четвертому розділі наведено результати експериментальних та чисельних досліджень впливу тиску і довжини іскрового проміжку на розподіл енергії у іскровому розряді. Досліджувався розряд конденсатора на іскровому проміжку. За результатами дослідження виявлено вплив точки підключення дільника напруги на розрядний струм.

У висновках узагальнено основні отримані у роботі наукові та практичні результати. Висновки пов'язані з матеріалом дисертаційної роботи та окремими висновкам за її розділами.

У додатках наведені акти впровадження та список публікацій здобувача.

Дисертаційна робота оформлена належним чином, викладена логічно і послідовно. Висновки по дисертаційній роботі в повній мірі відображають отримані наукові результати.

Щодо дисертаційної роботи можна зробити такі зауваження.

1. Які зразки імпульсних джерел світла, в котрих використовуються розрядники Ви можете навести в якості приклада?;

2. За текстом автореферату та дисертації використовується термін «випромінювання», але не вказується яка саме його складова мається на увазі, насамперед при розрахунках;

3. На рисунку 2.9 дисертації бажано було б замінити кольорове позначення, а саме напис «червона лінія» та «чорна лінія» двох кривих розрядного струму на пунктирне та суцільне;

4. У рівнянні 2.19 для визначення швидкості прямої хімічної реакції не надано опис його складових;

5. На рисунку 2.48 незрозуміло які криві тиску, температури та густини належать до проміжку 1 мм та 10 мм;

6. За текстом дисертації не зрозуміло звідки само, або як одержані коефіцієнти a , b , c в залежності 2.25 для визначення середнього значення коефіцієнта кореляції від тиску;

7. Який саме газ використовувався, азот чи все ж таки повітря, під час експериментів для створення підвищеного тиску, і якщо це повітря, то чи вплинуло це на результати чисельних розрахунків та експерименту?;

8. На Ваш розсуд як тиск нижче атмосферного може вплинути на виділення енергії в іскровому розряді, та швидкість розширення іскрового каналу?;

9. Яким технічним чином під час експериментів здійснювалось ізотермічне та адіабатичне стиснення в розряднику?;

10. Чому електричне з'єднання між конденсатором та іскровим проміжком здійснювалось літцендратом, а, не скажімо, мідною шиною, чи коаксіальним кабелем, в чому його переваги?;

11. Поясніть, яку саме похибку вносить місце підключення дільника (до конденсатора, чи до іскрового проміжку) напруги в струм, що вимірюється;

12. На рисунках 22 та 23 автореферату відображені криві, де змінюється одночасно два параметри, що в певній мірі ускладнює процес порівняння зміни енергії та зміни опору іскрового каналу у часі;

13. Нажаль в списку використаних джерел не має посилань на роботи вчених Миколаївського Інституту імпульсних процесів і технологій НАН України, де достатньо вагомо розглянуті питання впливу зовнішніх умов, геометрії та відстані між електродами на характеристики іскрового розряду;

14. У дисертаційній роботі мають місце друкарські, синтаксичні та редакторські помилки, зокрема на сторінках 11, 13, 30, 61, 69, 89, 97, 123, 124, 125.

Указані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи та не знижують її науковий рівень.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Варшамової Ірини Сергіївни «Обґрунтування параметрів іскрового розрядника для високовольтного газорозрядного

устаткування» за змістом відповідає паспорту спеціальності 05.09.13 – техніка сильних електричних та магнітних полів. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка присвячена обґрунтуванню параметрів іскрових розрядників для високовольтного електророзрядного устаткування на підставі виявлення впливу довжини розрядного проміжку та початкового тиску газу на газорозрядні процеси.

Враховуючи наукову новизну, теоретичну і практичну цінність, вважаю, що дисертаційна робота відповідає вимогам п. п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567, а здобувачка Варшамова Ірина Сергіївна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.13 – техніка сильних електричних та магнітних полів.

Офіційний опонент

кандидат технічних наук,

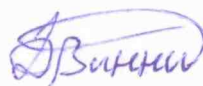
старший науковий співробітник

відділу магнітоплазмових технологій

та малогабаритних імпульсних прискорювачів

Національний науковий центр

«Харківський фізико-технічний інститут»



Д. В. Вінніков

ЗАСВІДЧУЮ
Учасний секретар
ННЦ ХФТІ

13

04

