

## ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора,  
члена-кореспондента НАН України

Вовченка Олександра Івановича

на дисертаційну роботу Варшамової Ірини Сергіївни

**«Обґрунтування параметрів іскрового розрядника**

**для високовольтного газорозрядного устаткування»,**

що подана до спеціалізованої вченої ради Д 64.050.08

на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

за спеціальністю 05.09.13 – техніка сильних електричних

та магнітних полів

Дисертаційна робота виконана в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» і складається з анотації двома мовами, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та двох додатків. Матеріали дисертації містять 88 рисунків, 4 таблиці, список використаних джерел зі 128 найменувань. Загальний обсяг дисертації складає 152 сторінки друкованого тексту.

Автореферат дисертації містить 20 сторінок тексту, у тому числі список з 8 робіт, опублікованих за темою дисертації.

### **Актуальність теми.**

Іскровий розряд використовується в різних пристроях, де довжина іскрового проміжку може коливатися в широких межах. Зміна довжини іскрового проміжку призводить до зміни опору іскрового каналу і впливає на струм розряду, а також призводить до зміни енергії, що виділяється в іскровому розряді. Для прикладних задач виникає потреба у визначенні впливу тиску та довжини розрядного проміжку на введення енергії в іскру. Але у цьому випадку виникає проблема у відокремленні цих впливів на введення енергії в іскровий розряд. Це пов'язано з тим, що зміна початкового тиску газу або довжини іскрового проміжку призводить до зміни напруги пробиття проміжку. Тому, за незмінних інших параметрів розрядного кола, в цих умовах відбувається зміна повної енергії розряду із-за зростання напруги заряджання конденсатора для пробиття проміжку. В результаті, це ускладнює виявлення впливу початкового тиску газу або довжини іскрового проміжку на введення енергії в іскровий канал в умовах зміни повної енергії розряду.

Іскровий розряд також використовується в імпульсних джерелах світла. У таких джерелах іскровий розряд запалюється в газі при початковій температурі навколишнього середовища, але при високому тиску. Для цього важливо вивчити вплив тиску ізотермічно стисненого газу на ефективність перетворення енергії розряду у випромінювання.

Актуальність теми та вагомість результатів дисертації підтверджується тим, що вона виконувалась за планом науково-дослідної роботи Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» К1502 «Сучасні проблеми та перспективи розвитку електротехнічних пристроїв та систем» (ДР №0119U002551), де здобувач була виконавцем окремих розділів. Результати досліджень впроваджені в НТУ «ХПІ» і використовуються в навчальному процесі на кафедрі електричних апаратів. Усі впровадження підтверджені відповідними актами.

#### **Обґрунтованість результатів наукових досліджень і висновків.**

Ступінь обґрунтованості отриманих у дисертації наукових положень, висновків та рекомендацій базуються на детальному вивченні та критичному аналізі науково-технічної літератури за темою дисертації, збіжності результатів теоретичних розрахунків з багаторазовою повторюваністю отриманих експериментальних даних, одержаних з використанням сучасного обладнання. Результати експериментальних і теоретичних досліджень доповідались та обговорювались на міжнародних науково-технічних конференціях, а також опубліковані в наукових фахових виданнях.

#### **Достовірність результатів досліджень.**

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю постановок математичних задач, застосуванням стандартних процедур математичного аналізу і комп'ютерним математичним моделюванням.

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

– 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;

– удосконалено методологію вимірювання енергії, яка вводиться в

газорозрядний проміжок шляхом урахування розвитку перехідних електричних процесів у розрядному колі з навантаженням у вигляді іскрового проміжку і впливу точки підключення дільника напруги;

– 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;

– удосконалено методологію експериментально-розрахункового дослідження падіння напруги на електродах та газорозрядному каналі за результатами вимірювання струму та напруги на розрядному проміжку, що дозволило удосконалити електророзрядне обладнання;

– запропоновано удосконалену математичну модель розширення іскрового каналу з уточненою електричною провідністю газу в області температур до 8000 К, що дозволило провести дослідження процесу розширення іскрового каналу до часу падіння тиску у каналі до тиску зовнішнього середовища.

**Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання полягає в наступному:**

– результати отриманих досліджень щодо впливу початкового тиску газу на розвиток електророзрядних процесів у іскровому каналі дозволяють удосконалити електророзрядне обладнання у технологіях формування наночасток, знизити ерозію електродів в електророзрядному обладнанні, підвищити імпульсну потужність електророзрядних джерел випромінювання, підвищити ударну дію іскрових розрядів і скоротити час підготовки пристроїв до експлуатації;

– 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.**

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані 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.

### **Оцінка змісту дисертаційної роботи:**

У **вступі** обґрунтовано актуальність та доцільність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, висвітлено наукову новизну та положення, які виносяться здобувачем на захист, практичне значення отриманих результатів досліджень та їх зв'язок з науковими програмами, планами та темами. Наведено інформацію щодо особистого внеску автора, апробації роботи, публікацій та впровадження її результатів.

У **першому розділі** на підставі огляду літератури здійснено аналіз механізмів впливу параметрів іскрового розрядника на розвиток іскрового розряду. Зокрема, проведено аналіз впливу початкового тиску газу та довжини іскрового проміжку у іскрових розрядниках на розвиток іскрового розряду. Також, проведено аналіз особливостей вимірювання енергії низькоенергетичного іскрового розряду. Відповідно до аналізу сформульовані задачі та основні напрямки досліджень.

У **другому розділі** проведено чисельне дослідження впливу параметрів іскрового розрядника на розвиток іскрового розряду. Процес газодинамічного розширення іскрового каналу розглядається в одновимірній осесиметричній постановці задачі з урахуванням процесу передачі тепла за допомогою теплопровідності в газі та процесу протікання нерівноважних хімічних реакцій. На основі чисельної моделі розширення іскрового каналу проведено порівняння розвитку іскрового розряду в азоті для випадків його ізотермічного і адіабатичного стиснень.

**Третій розділ** присвячено удосконаленню методології і техніки дослідження приелектродного падіння напруги в іскрі на стадії її газодинамічного розширення в газах високого тиску, що дозволяє спростити техніку проведення дослідження. Метод заснований на вимірюванні напруги на іскровому проміжку і розрахунковому визначенні напруженості електричного поля і нелінійної індуктивності іскрового каналу по експериментальній кривій розрядного струму.

У **четвертому розділі** представлено результати експериментальних та чисельних досліджень впливу тиску і довжини іскрового проміжку на розподіл енергії у іскровому розряді.

У **висновках** узагальнено основні наукові та практичні результати, що отримані у роботі. Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані достатньо чітко і виразно та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел досить повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації із 128 найменувань.

Зміст автореферату відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває внесок здобувача в наукові результати та практичну цінність роботи. Стиль викладу матеріалу відповідає загальноприйнятому та має високий науково-професійний рівень. Безсумнівною перевагою дисертаційної роботи є використання міжнародної електротехнічної термінології. Оформлення дисертації та автореферату відповідає чинним вимогам.

**По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:**

1. У наведеній математичній моделі розширення іскрового каналу не враховано процес дифузії. Автор не наводить обґрунтування можливості нехтування цим параметром.

2. Не представлені результати тестування стійкості розрахункової схеми до розміру розрахункових комірок та розрахункового кроку.

3. На стор. 50 на рис. 2.17 наведено зміна у в часі питомої потужності, але вираз, за яким здійснювався розрахунок цієї потужності не наведено.

4. На стор. 65 наведено приклад створення еквівалентного іскрового навантаження за умов зміни початкового тиску. Разом з тим, не обґрунтовано можливий вплив зміни падіння напруги на електродах у разі зміни довжини розрядного проміжку.

5. У четвертому розділі (стор. 120) не зрозуміла фотографія вигляду розрядного кола з засобами вимірювання рис. 4.2.

6. В роботі зустрічаються орфографічні та стилістичні помилки та неточності.

Вказані недоліки не є суттєвими та не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

## ВИСНОВОК

Незважаючи на зауваження дисертаційна робота Варшамової Ірини Сергіївни «Обґрунтування параметрів іскрового розрядника для високовольтного газорозрядного устаткування» є завершеною, логічною та послідовною за змістом науково-дослідною працею, в якій отримано науково та практично обґрунтовані результати, які вирішили важливу науково-практичну задачу – обґрунтування параметрів іскрових розрядників для високовольтного електророзрядного устаткування на підставі виявлення впливу довжини розрядного проміжку та початкового тиску газу на газорозрядні процеси.

Автореферат та опубліковані здобувачем статті у фахових виданнях відображають основний зміст і результати дисертаційної роботи. Апробація роботи на наукових конференціях є достатньою.

Вважаю, що за актуальністю, науковою новизною, обсягом проведених теоретичних та експериментальних досліджень, їхньою науковою та практичною значимістю 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 здобувач Варшамова Ірина Сергіївна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.13 – техніка сильних електричних та магнітних полів.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,

член-кореспондент НАН України

директор Інституту імпульсних процесів

і технологій Національної академії наук України



О.І. Вовченко