ВІДГУК

офіційного опонента Проценка Олександра Ростиславовича
на дисертаційну роботу Чернухіна Олександра Юрійовича
«Коронний розряд зі стрижневих блискавкоприймачів в умовах дії сильного електричного поля від грозової хмари»,
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.09.13 – техніка сильних електричних та магнітних полів

Актуальність теми.

Вирішення проблем блискавкозахисту об'єктів безпосередньо пов'язані з повнотою та достовірністю знань про процеси, що супроводжують високу напругу. Коронний розряд є одним з таких процесів, який покладено в основу функціонування блискавкоприймачів з ранньою стримерную емісією (ESE-терміналів). Надійність функціонування ESE-терміналів є спірним питанням, особливо в частині сертифікації таких пристроїв за стандартом Франції NF C 102-17:2011, які впроваджено також в Іспанії, Аргентині, Казахстані, Литві та деяких інших країнах. Тому, питання розглянуті у дисертації є актуальними та важливими для формування власного розуміння щодо доцільності надання чинності цьому стандарту в Україні, і як наслідок відкриття ринку України для ESE-терміналів. Слід відзначити, що дисертаційні дослідження було проведено в рамках проєктів, які фінансувалися Міністерством освіти і науки України у 2010 -2012 та 2015-2016 роках, відповідно за темами: «Розробка методу оцінки захисних властивостей новітніх видів пристроїв блискавкозахисту – активних блискавкоприймачів та розсіювачів» (ДР № 0110U007360) та «Система попередження про грозову небезпеку» (ДР № 0115U000611).

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

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Чернухіна О.Ю. є високою й базується на аналізі науково-технічних джерел за даною проблемою, гармонійній постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних

методів дослідження, зіставленні і критичному аналізі отриманих результатів у порівнянні з результатами інших дослідників, і якісному формулюванні отриманих висновків. Теоретичні дослідження виконано шляхом математичного моделювання з використанням сучасного програмного забезпечення. Фізичне моделювання процесів виконано на високовольтному випробувальному стенді, який розроблено та створено за участі автора дисертації, що підтверджено відповідними публікаціями. Результати експериментальних досліджень узагальнено за використання методів планування багатофакторного експерименту та регресивного аналізу.

Сукупність вказаного вище підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів теоретичної частини дисертаційного дослідження забезпечується коректністю постановки класичних задач електростатики, які вирішено із застосуванням ліцензійного пакету прикладних програм AC/DC COMSOL Multiphysics, який пройшов апробацію на міжнародному рівні, проведенням фізичного моделювання процесів за використання випробувального стенду із застосуванням каліброваних засобів вимірювальної техніки.

Наукові результати здобувача дозволили прийняти обґрунтоване рішення щодо недоцільності надання чинності в Україні стандарту ідентичному NF C 102-17:2011, та заклали основу створення нових зразків пристроїв попередження про грозову небезпеку.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

– вперше доведено що пробій повітряного проміжку стрижень-площина при застосуванні стрижня квадратного перерізу (розмірами 12х12 мм^2) має найбільш стабільні характеристики серед розглянутих варіантів. Цей факт свідчить про доцільність використання у практиці блискавкозахисту саме

таких стрижнів. Крім того, запропоновано у якості референтного блискавкоприймача при тестуванні ESE терміналів відповідно до методики стандарту NF C 102-17:2011 застосовувати стрижень квадратного перерізу;

– вперше визначено закономірність між максимальним значенням напруженості постійного електричного поля на плоскій поверхні вершини стрижня та його геометричними характеристиками (висотою, формою та розміром перерізу);

– вперше розроблено метод вимірювання швидкості просування лідеру в міжелектродному просторі, який базується на порівняльному аналізі осцилограм напруги між електродами і струму з електрода, що формує розряд. Отримано задовільний (в межах 15 %) збіг з опублікованими результатами вимірювань, при використанні надшвидкісної відеореєстрації;

– уточнено вимогу стандарту NF C 102-17:2011 стосовно величини дисперсії функції розподілу часу випередження, що зв'язує значення середньоквадратичного відхилення і часу випередження, для перехвату блискавки ESE терміналом з імовірністю не менш ніж 95 %;

– вперше експериментально здійснено порівняння сили струму корони зі стрижня квадратного перерізу з плоскою вершиною та стрижня круглого перерізу з загостреною вершиною. Встановлено, що сила струму корони зі стрижня з загостреною вершиною на порядок менша в наслідок суттєво меншої поверхні з якої формується коронний розряд;

– вперше для повітряних проміжків більш ніж 1 м, експериментально доведено, що в діапазоні напруженості електричного поля від 4 кВ/м до 120 кВ/м коронний розряд зі стрижнів формується імпульсами окремих електронних лавин (стримерами) частота появи яких залежність від рівня напруженості електричного поля, а амплітудно-часові параметри кожного окремого імпульсу при цьому змінюються у межах 30%;

– вперше визначено емпіричну формулу залежності частоти стримерів від напруженості електричного поля та геометричних характеристик стрижня кругового перетину з загостреною вершиною.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Для техніки сильних електричних та магнітних полів:

– розроблено та створено універсальний високовольтний випробувальний стенд ВВС 1.2, який забезпечує можливість тестування блискавкоприймачів ESE типу на відповідність вимогам стандарту Франції NF C 102-17;

– сформульовані уточнення та додаткові вимоги до стандарту Франції NF C 102-17:2011 в частині, що стосується методики тестування ESE терміналів та визначення їх захисних властивостей, що сприятиме підвищенню достовірності отриманих результатів;

– розроблено основи створення нового типу індикатора рівня напруженості електричного поля атмосфери.

Результати, які отримані в ході виконання дисертаційної роботи, використано на практиці, що підтверджено чотирма відповідними Актами.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані в 23 наукових працях, у тому числі 11 публікацій у наукових фахових виданнях України. У цілому, рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

Оцінка змісту дисертаційної роботи:

Дисертаційна робота Чернухіна Олександра Юрійовича складається з переліку скорочень та умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та 4 додатків. Загальний обсяг

основного тексту складає 146 сторінок друкованого тексту (без урахування додатків).

У вступі проведено обґрунтування актуальності дослідження; сформульована мета та визначені основні задачі роботи; визначено об'єкт, предмет та методи досліджень; розкрито наукову новизну та обґрунтована практична цінність отриманих результатів; показано зв'язок роботи з проектами, що виконувались на замовлення Міністерства освіти і науки України, господарчими договорами; наведено дані щодо опублікованих за темою дисертаційної роботи праць та їхню апробацію

У першому розділі проведено аналіз наявних даних про фізичні процеси, що відбуваються при електричному пробої довгих повітряних проміжків. Розглянуто параметри, що впливають на величину пробивної напруги повітряного проміжку в різко неоднорідних електричних полях. Наведено методику сертифікації активних блискавкоприймачів за стандартом Франції NF C 17-102:2011. Визначено позиції стандарту за якими є критичні зауваження. В кінці розділу приведено обґрунтування вибору мети дисертаційної роботи і сформульовані задачі дослідження.

Другий розділ присвячений теоретичному обґрунтуванню гіпотези щодо переваг за величиною «напруженого» об'єму стрижня з плоскою вершиною у порівнянні зі стрижнем з загостреною вершиною. Розглянуто математичну модель електростатичної задачі з розрахунку розподілу напруженості електричного поля по поверхні металевого стрижня, який знаходиться в електричному полі заданої напруженості, та у повітряному просторі навколо стрижня. Припущення, які при цьому зроблено, відповідають фізиці розглянутої задачі. Моделювання здійснено за використання сучасного програмного пакету COMSOL Multiphysics (модуль AC/DC). За результатами моделювання вперше визначено емпіричну формулу функціональної залежності максимального значення напруженості

електричного поля на ребрі стрижня від геометричних характеристик стрижня: довжини, форми перетину (круг; 6-граник; квадрат).

У третьому розділі представлено результати розробки та створення універсального випробувального стенду ВВС-1.2, який спроможний генерувати імпульси напругою до 1,0 МВ, з часовими параметрами, які можливо змінювати у широкому діапазоні, та створювати постійну напругу до 200 кВ. Габаритні розміри та електричні характеристики ВВС-1.2 повною мірою відповідають вимогам стандарту NF C 102-17, щодо сертифікації ESE терміналів. Наявність такого інструменту дозволило здійснити фізичне моделювання процесу коронного розряду зі стрижневих блискавкоприймачів. Результати досліджень також детально приведено у цьому розділі. За результатами досліджень обґрунтовано пропозиції щодо змін до стандарту NF C 102-17 та редакції відповідного міждержавного стандарту.

Четвертий розділ містить результати дослідження ефектів коронного розряду зі стрижня з метою визначення можливості створити індикатор грозової активності на новому принципі, який базується на вимірювані частоти стримерів. Для цього обрано стрижень круглого перерізу з загостреною вершиною, тому що за вимог до індикаторів грозової активності поріг спрацювання має бути менш ніж 1 кВ/м.

З метою узагальнення результатів дослідження залежності частоти виникнення імпульсів коронного розряду від основних параметрів процесу застосовано метод планування багатофакторного експерименту. Обрано побудову ортогонального центрально-композиційного плану (ОКЦП) трьох факторного експерименту. Цільова функція: частота слідування стримерів (кількість за секунду). За результатами визначено відповідну емпіричну формулу.

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 112 найменувань.

Автореферат детально та повно відображає основний зміст дисертації та розкриває внесок здобувача в наукові результати та практичну цінність роботи, а його зміст ідентичний основним положенням дисертації.

По дисертації можна зробити наступні зауваження:

1. У першому розділі дисертаційної роботи наведено дані, наприклад, формулу Піка, які не були застосовані під час досліджень, результати яких представлено в наступних розділах.

2. При аналізі джерел, не надано інформацію про відомі засоби вимірювання електростатичних полів, що унеможливлює проведення порівняння з запропонованим у дисертації пристроєм попередження про грозову небезпеку.

2. Недостатньо детально викладена пропозиція щодо уточнення вимоги стандарту NF C 102-17:2011 до величини дисперсії функції розподілу часу випередження (сторінка 115), що зв'язує значення середньоквадратичного відхилення і часу випередження, для перехвату блискавки ESE терміналом з імовірністю не менш ніж 95%.

3. Потребує пояснення фізичний зміст параметру $E_{кр}$, визначенного як середня напруженість електричного поля повітряного проміжку без урахування висоти стрижня (табл.3.2, стор 75).

4. У підрозділі 3.5 не вказано обмеження за яких не припустимо застосування запропонованого методу вимірювання швидкості просування лідеру в між електродному просторі, що базується на порівняльному аналізі осцилограм напруги між електродами і струму з електрода, що формує розряд.

5. Потребує пояснень вибір факторів впливу на частоту слідування стримерів (підрозділ 4.2, стор.118) та не включення до таких факторів температури, тиску та абсолютної вологості повітря, хоча в тексті дисертації

наголошується про їх суттєвий вплив на характеристики розряду, наприклад на стор.18.

7. Незрозуміло, чому автором (підрозділ 3.2) проводяться випробування зразків стрижнів з максимальною площею перерізу 379 мм^2 (для круга діаметром 22 мм), тоді як стандартом NF C 17-102:2011 рекомендовано (стор.40) використовувати стрижень діаметром 28 мм (площа перерізу 615 мм^2)

8. Маються розбіжності між наведеними у дисертації науковою новизною та змістом висновків: не всі наукові результати відображено у висновках, у тому числі емпірична формула залежності частоти стримерів від напруженості електричного поля та геометричних характеристик стрижня кругового перетину з загостреною вершиною.

9. В тексті дисертації трапляються описки і технічні помилки, наприклад: абсолютна вологість повітря визначається в г$^{-3}$ (стор.38); в тексті двічі застосована нумерація формули 2.1 (стор.49 та стор.59) з чого незрозуміло на яку формулу посилається автор (стор.69); амплітуда сили струму одиночного сплеску в табл.3.2 (стор. 75) для круга діаметром 10 мм вказана як 45,6 мА, а в тексті (там же) – 46,5 мА; в тексті дисертації (стор.83) говориться про форму випробного імпульсу 360/8460 мкс, а в той же час на рисунку 3.9-б представлена осцилограма імпульсу довжиною 8315 мкс.

Відмічені зауваження не знижають наукового рівня та практичної цінності представленої дисертаційної роботи та не впливають на її загальну позитивну оцінку.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Чернухіна Олександра Юрійовича «Коронний розряд зі стрижневих блискавкоприймачів в умовах дії сильного електричного поля від грозової хмари» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.09.13 – техніка сильних електричних та магнітних полів.

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує

важливу наукову задачу, суть якої полягає в підвищенні ефективності блискавкозахисту шляхом дослідження фізичних процесів коронного розряду зі стрижневих блискавкоприймачів в умовах дії сильного електричного поля від грозової хмари.

Дисертаційна робота за актуальністю теми, обґрунтованістю та достовірності наукових положень, новизною досліджень і практичною цінністю отриманих результатів відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року №567, (зі змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2015р, №656) а здобувач Чернухін Олександр Юрійович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.13 – техніка сильних електричних та магнітних полів

Офіційний опонент

Доцент кафедри теоретичної електротехніки
факультету електроенерготехніки і автоматики
Національного технічного університету України
імені Ігоря Сікорського,
кандидат технічних наук, доцент

09.12.2020 Олександр ПРОЦЕНКО

Підпис О.Проценко засвідчую

Учений секретар
КПІ ім. Ігоря Сікорського Холявко В. В.