

ВІДГУК

офіційного опонента Батигіна Юрія Вікторовича
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.

Стандартизовані методи захисту об'єктів та споруд, що засновані на використанні стрижневих блискавкоприймачів та тросів, мають обмежену спроможність при захисті відкритих об'єктів різного призначення (наприклад, автомобільні стоянки, стадіони, майданчики для військових або спортивних тренувань тощо). Цей недолік, який є досить суттєвим з практичної точки зору, ініціював пошуки альтернативних більш ефективних типів захисних конструкцій. Це призвело до появи ідеї створення блискавкоприймачів, що реалізують механізм ранньої стримерної емісії - ESE-термінали (аббревіатура «Early Streamer Emission»). Розробки таких пристроїв анонсують дуже привабливі характеристики щодо зони захисту, яка може досягати у поперечному розмірі до ~120 м. Сертифікація ESE-терміналів здійснюється за методикою, яку регламентує стандарт Франції NF 17-102:2011 (Блискавкозахист. Захист об'єктів та відкритих майданчиків від блискавки за використання блискавкоприймачів з ранньою стримерною емісією). Цей стандарт визнаний окрім Франції в багатьох країнах, у тому числі в Іспанії, Аргентині, Казахстані, Литві тощо. Але, відомо, що цей стандарт не визнається достатньо обґрунтованим на рівні міжнародних організацій зі стандартизації (Міжнародна електротехнічна комісія – IEC та Європейський комітет зі стандартизації в електротехніці – CENELEC), у сферу діяльності яких включено блискавкозахист. Доцільність надання чинності відповідного стандарту в Україні з подальшим внесенням змін до стандартів з проектування систем ефективного блискавкозахисту є безумовно дуже важливою та актуальною задачею.

Актуальність теми дисертаційної роботи підтверджена так само й тим, що вона пов'язана з виконанням науково дослідних робіт на замовлення Міністерства освіти і науки України за темами: «Розробка методу оцінки захисних властивостей новітніх видів пристроїв блискавкозахисту – активних блискавкоприймачів та розсіювачів» (державний реєстраційний номер 0110U007360) та «Система попередження про грозову небезпеку» (державний реєстраційний номер 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 достатньо високою й базується на аналізі науково-технічних джерел за сформульованою проблемою, адекватній постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, зіставленні і критичному аналізі отриманих результатів у порівнянні з результатами інших дослідників, а також у якісному формулюванні отриманих висновків. Теоретичні дослідження виконано шляхом математичного моделювання з використанням апробованого програмного забезпечення. Експериментальне фізичне моделювання виконано на унікальному високовольтному випробувальному стенді, який розроблено та створено за переважаючої участі автора дисертації. Результати експериментальних досліджень узагальнено з використанням методів планування багатofакторного експерименту та регресивного аналізу.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується визначеною коректністю постановок математичних задач, застосуванням апробованого на міжнародному рівні модулю AC/DC COMSOL Multiphysics (за наявності офіційної ліцензії), проведенням фізичного моделювання процесів за використання випробувального стенду із застосуванням сертифікованих засобів вимірювальної техніки, які мали офіційні свідоцтва

про калібрування за весь час проведення досліджень. Підтвердження цього факту наведено у додатку А до дисертації.

Наукові результати здобувача успішно використані під час проведення сертифікаційних випробувань вироблених зарубіжними компаніями зразків ESE-терміналів, що планувалися до розповсюдження на ринку України. За результатами випробувань жоден зі зразків не підтвердив свої властивості. Таким чином, ринок України було захищено від небезпечної продукції сумнівної якості. Крім того, результати дисертаційної роботи використано при створенні нових зразків пристроїв попередження про грозову небезпеку.

Результати роботи пройшли ґрунтовну апробацію на 12 міжнародних науково-технічних конференціях та семінарах і висвітлені у 11 фахових виданнях.

До основних нових наукових результатів дисертації можна віднести такі положення:

- вперше для довгих повітряних проміжків (більш ніж ~ 1 м), доведено, що коронний розряд зі стрижнів формується імпульсами окремих електронних лавин, частота появи яких залежить від рівня напруженості електричного поля, що дозволило створити пристрій для попередження про грозову небезпеку з мінімальною енергією живлення відносно інших відомих конструкцій;

- вперше розроблено метод вимірювання швидкості просування лідеру електричного розряду у проміжку між електродами, який базується на порівняльному аналізі осцилограм напруги між електродами і струму зі стрижня, що дозволило суттєво підвищити точність оцінки розмірів зони захисту ESE-терміналів (зона простору з якої ESE-термінал перехоплює блискавки);

- запропоновано уточнення вимог стандарту NF C 102-17:2011, який стосується вимог до блискавкоприймачів з ранньою стримерною емісією, до величини дисперсії функції розподілу часу випередження, що дозволило суттєво підвищити ймовірність перехвату блискавки ESE-терміналами;

– вперше доведено, що пробій повітряного проміжку стрижень-площина при застосуванні стрижня квадратного перерізу має найбільш стабільну вольт-секундну характеристику, що дозволило рекомендувати такий стрижень в якості референтного блискавкоприймача при тестуванні ESE-терміналів відповідно до методики стандарту NF C 102-17:2011.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання

- Розроблено і створено універсальний високовольтний випробувальний стенд (BBC 1.2), який забезпечує можливість проведення різноманітних випробувань стійкості обладнання до дії імпульсних електромагнітних завад, крім того надає можливість тестування ESE-терміналів на відповідність вимогам стандарту Франції NF C 102-17.

- Обґрунтовано 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 та сприятиме суттєвому підвищенню достовірності результатів сертифікації ESE- терміналів.

– Запропоновано, обґрунтовано і розроблено основи створення нового типу індикатора рівня напруженості електричного поля атмосфери, з метою своєчасного попередження про грозову небезпеку.

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

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, одне з яких входить до міжнародної науково-метричної бази Web of Science, тезах матеріалів міжнародних науково-технічних конференцій та семінарів.

У цілому, рівень і кількість публікацій, а також апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України до дисертаційних робіт пошукувачів на вчену ступінь кандидата технічних наук.

Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Чернухіна О.Ю. складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, 4 додатків. У цілому, має місце загальноприйнята схема викладення матеріалу: літературний огляд, теоретична частина, експериментальне моделювання та практична апробація результатів проведених досліджень.

У вступі обґрунтовано актуальність 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 договірними заказами; 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 пробі довших повітряних проміжків. Розглянуто параметри, що впливають на величину пробивної напруги повітряного проміжку в різко неоднорідних електричних полях. Наведено методіку сертифікації активних блискавкоприймачів за стандартом Франції NF C 17-102:2011. Визначено позиції стандарту, за якими пошукувач має 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 у заданому електричному полі, та у повітряному просторі навколо стрижня.

Припущення, які при цьому зроблено, відповідають фізиці розглянутої задачі. Математичне моделювання здійснено з використанням сучасного ліцензованого програмного засобу COMSOL Multiphysics (модуль AC/DC). За результатами моделювання вперше визначено емпіричну формулу функціональної залежності максимального значення напруженості електричного поля на ребрі стрижня від його геометричних характеристик: довжини, форми перетину (круг; 6-гранник; квадрат).

У третьому розділі представлено результати розробки та створення універсального випробувального стенду ВВС-1.2, який спроможний генерувати імпульси напруги до 1,0 МВ, з можливістю широкого варіювання часових параметрів, та створювати постійну напругу до 200 кВ. Габаритні розміри та електричні характеристики випробувального стенду ВВС-1.2 повною мірою відповідають вимогам стандарту NF C 102-17, щодо сертифікації ESE-терміналів. Наявність такого діючого інструменту забезпечила можливість здійснити експериментальне фізичне моделювання процесу коронного розряду зі стрижневих блискавкоприймачів. Детальні результати досліджень приведено у кінцівці цього розділу. За результатами досліджень було обґрунтовано пропозиції щодо змін до стандарту NF C 102-17:2011.

Четвертий розділ містить результати дослідження ефектів коронного розряду зі стрижня з метою визначення можливості створення індикатора грозової активності на новому принципі, що базується на вимірюванні частоти стримерів. Для цього було обрано стрижень круглого перерізу з загостреною вершиною, тому що за вимог до індикаторів грозової активності поріг спрацювання має бути менш ніж 1 кВ/м, а це можна забезпечити тільки у разі круглого перерізу обраного об'єкту досліджень.

З метою узагальнення результатів дослідження залежності частоти виникнення імпульсів коронного розряду від основних параметрів процесу застосовано метод планування багатofакторного експерименту. Обрано побудову ортогонального центрально-композиційного плану (ОКЦП) трьох-

факторного експерименту з цільовою функцією, аргументом якої є частота слідування стримерів (кількість за секунду). За результатами проведених обчислень визначено відповідну емпіричну формулу.

Висновки до розділів, результати роботи сформульовані чітко і виразно та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел є досить повним і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації із 112 найменувань.

Зміст автореферату відображає основний зміст дисертації та повно розкриває внесок здобувача в одержані наукові результати та практичну цінність роботи.

По дисертаційній роботі можна зробити такі зауваження:

1. Перший розділ.

- Відсутнє обґрунтування електростатичної ідеалізації «стрижень (голка)-площина» реальним конструкціям блискавоприймачів, що працюють у часовому вимірі.
- Відсутній окремий заключний підрозділ за висновками з огляду існуючих наукових публікацій. Його контент, сформований у вигляді «1.3. Вибір напрямків та методів дослідження» (стор.43 – 47), є дуже розгорнутим і не сконцентрованим на порівнянні пропозицій пошукувача з відомими методами та засобами вимірювання характеристик електричних полів.

2. Другий розділ.

- Відсутні посилання на літературні джерела при запису формули (2.1), а також не висвітлено особистий вклад автора дисертації в математичне підґрунтя виконаних розрахунків.
- Розділ перевантажено рисунками, які не мають суттєвого ілюстративного значення. Так, рис.2.16, 2.18, 2.20 принципово повторюють одне одного.
- Висновки до розділу на стор. 69 по більшості мають описовий характер без приведення конкретних кількісних показників

досліджених процесів (хоча б порядок напруженностей збуджених полів).

3. Третій розділ.

- Не висвітлено, як може впливати зміна довжини стрижня у моделюванні блискавоприймача на результати експериментів зі збудженням електричних полів.
- В частині таблиць, (наприклад, 3.3, 3.5) містяться дані про номери осцилограм, які не наведено у матеріалах дисертації.
- Не достатньо обґрунтовано пропозицію щодо запропонованого уточнення вимоги стандарту NF C 102-17:2011 до середньоквадратичного відхилення функції розподілу часу випередження, яку наведено в таблиці 3.17.

4. Четвертий розділ.

- Не обґрунтована можливість нехтування квадратичними членами у лінійній моделі планування багатofакторного експерименту.
- Висновки до розділу (стор. 131) з пропозицією подальших перспектив дуже скорочені, не містять ніяких кількісних показників проведених апробацій та не розкривають саме подальших перспектив практичного використання результатів проведених досліджень.

В цілому, у якості основних загальних недоліків рецензованої дисертаційної роботи можна зазначити наступне.

- Нерівномірний розподіл матеріалів у тексті дисертаційної роботи, що ускладнює їх сприйняття та бачення виконаної роботи у цілому. Так, перевантажено розділ 3 (стор.70÷116) і скорочено розділ 4 (стор.117÷131).
- Висновки дисертації та висновки за розділами не повною мірою корелюють між собою як за викладенням, так і за кількістю.

Відмічені зауваження не знижують 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 відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року №567, 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

завідувач кафедри фізики
Харківського національного автомобільно-
дорожнього університету
доктор технічних наук, професор,
дійсний член Транспортної Академії України

15.12.2020



Юрій БАТИГІН

