УДК 621.316.13

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ ПРОХІДНОГО ПОЛІМЕРНОГО ІЗОЛЯТОРУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧОК КОНЦЕНТАРЦІЇ ПОЛЯ

ШЕВЧЕНКО С.Ю. доктор техн. наук, професор, завідувач кафедри передачі електричної енергії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: sergii.shevchenko@khpi.edu.ua;

ДАНИЛЬЧЕНКО Д.О. канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри передачі електричної енергії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: dmytro.danylchenko@khpi.edu.ua;

ВЯЗОВИЧЕНКО Ю.А. канд. техн. наук, доцент кафедри динаміки та міцності машин Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: viazovychenko.julia@gmail.com;

ПОТРИВАЙ А.Е. студент кафедри передачі електричної енергії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: potrybay.andrey99@mail.com;

ЦЮПА В.М. студент кафедри передачі електричної енергії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: vladyslav.tsiupa@gmail.com;

Мета роботи. *Використання моделювання, як інструменту, що дозволить виявляти слабкі місця конструкції в електричному обладнанні та на їх основі виконати її оптимізацію, з метою нівелювання слабкостей через недосконалість конструкції. Позначення реально існуючої проблеми в конструкціях прохідних полімерних ізоляторів, що негативно впливають на їх техніко-економічних та експлуатаційних характеристика і робить їх менш конкурентними у порівнянні з іншими типами ізоляторів.*

Методи дослідження. *Аналіз експериментів по виявленню часткових розрядів, моделювання напруженості електричного поля, синтез аналізованих робіт та результатів моделювання.*

Отримані результати. *В результаті виконаного наукового дослідження було виявлено, що безпосередній вплив на електричну міцність прохідного полімерного ізолятору має процес виникнення часткових розрядів. Даний факт прийнято за основу для пошуку методів подальшого впливу на конструкцію ізолятора, з метою збільшення строку його служби. В роботі виявлено, що причиною виникнення часткових розрядів є нерівномірність розподілу напруженості електричного поля. Це послугувало причиною для подальшого дослідження напруженості електричного поля прохідного ізолятору та його моделювання. В результаті моделювання, було виявлено точки концентрації напруженості електричного поля в прохідному полімерному ізоляторі та позначено їх, як точки впливу для підвищення електричної міцності прохідного полімерного ізолятора.*

Наукова новизна. *Наукова новизна виконаної науково-дослідної роботи полягає у використанні моделювання електричного поля полімерного прохідного ізолятору, як інструмента для виявлення слабких місць в його конструкції, при впливі на котрі можна буде спостерігати позитивний вплив на його технічні характеристики.*

Практична цінність. *Практична цінність виконаної науково-дослідної роботи полягає в тому, що результати дослідження слугують міцним фундаментом для подальшої оптимізації конструкції прохідних полімерних ізоляторів, що призводитиме до позитивного впливу на їх технічні характеристики та зробить їх конкурентними у порівнянні з іншими типами ізоляторів.*

Ключові слова: прохідний ізолятор; електричне поле;, метод кінцевих елементів; моделювання; ansys taxwell; оптимізація напруженості електричного поля.

I. ВСТУП

Серед головних вимог до енергосистем світу та України в тому числі, є вимога по безперебійному забезпеченню електроенергією споживачів [1]. Забезпечення надійності ланок відбувається за рахунок їх рівня надійності в аварійному, післяаварійному та номінальному режимах.

Серед цих ланок, на ряду з трансформаторами, вимикачами та автоматикою стоять ізолятори, оскільки вони є невід'ємною ланкою та одним з ланцюгів надійності енергосистеми. І в кожному з типів ізоляторів, що зустрічаються в системі (підвісні, прохідні, опорні), є свої характерні особливості по забезпечен-

© Шевченко С.Ю., Данильченко Д.О., Вязовиченко Ю.А., Потривай А.Е., Цюпа В.М., 2022
DOI 10.15588/1607-6761-2022-2-5

ню надійності.

Найбільш частою причиною руйнування саме полімерних ізоляторів є виникнення часткових розрядів, що пов'язано з нерівномірністю розподілу напруженості електричного поля по поверхні ізолятору.

Тому метою роботи стало отримання карти напруженості електричного поля полімерного прохідного ізолятора та пошук засобів його оптимізації..

II. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На відміну від механічної руйнації ізолятора при електричному пробої, характерного, наприклад, для фарфору та скла, електричним руйнуванням для полімеру є утворення провідного каналу діелектриці, що знаходиться між електродами в прикладеному електричному поле. Оскільки електричне руйнування має склад-ний тимчасовий характер, то до теперішнього часу не існувало теорії, що адекватно описує цей процес [2]-[5]. На основі загальних уявлень про процеси та механізми електричного старіння, як найважливішого фактора у фізико-хімічних про-цесах старіння [6], [7], його можна умовно розділити на два періоди часу. Пер-ший з них – час 1τ від початку застосування номінального робітника

напруги до зародження будь-яких первинних дефектів (для полімерів у виді деревоподібних каналів, заповнених газом). В нормальних умовах експлуатації 1τ може досягати значень порядку багатьох років [2], [7] без помітне зниження електричної міцності.

Другий період характеризується часом 2 від зародження дендритів до про-бою. Дендрити виникають у місцях підвищеної локальної напруженості поля. Такими характерними місцями, для практично всіх видів ізоляції, є неоднорідні по-верхні електродів і що межують із ними діелектриків, що проводять включення, мікротріщини та порожнини на поверхнях та в обсязі діелектриків. Тривалість періоду 2 τ визначається низкою процесів: інжектування електронів з електродів, формування та еволюція об'ємних зарядів різних знаків; іонізація полімерних процесів. В цілому, τ2 може змінюватись від 1 до 106 секунд і багато в чому визначається температурою, електричним полем та режимом роботи електромережі.

Зародження дендритів супроводжується порушенням суцільності матеріалу і характеризується електричними (часткові розряди), акустичними, тепловими та оптичними ефектами, що дозволяє за допомогою різних фізичних методів реєструвати початкову фазу зародження дендритів. Особливо важливим моментом є вивчення часткових характеристик розрядів (ЧР), оскільки в полімерах, на відміну від інших типів діелектриків, подальше зростання дендритів відбувається під дією ЧР на канали дендритів. Таким чином, зростання дендритів та параметри ЧР (інтенсивність, частота повторення) є взаємопов'язаними процесами, що приз-водять, зрештою в результаті, до пробою ізоляції внаслідок перекриття міжелектродного проміжку дендритом.

Як показали попередні теоретичні та експериментальні [7,8] дослідження процесів електричного пробою високовольтних виробів, полімерних матеріалів можна умовно уявити кілька видів пробоїв, найбільш характерних для всіх типів обладнання (ізоляторів, кабелів, обмоток).

1. Пробій вздовж меж розділу двох різних діелектриків, наприклад, вздовж кордонів полімер – газ (поверхневий пробій) або межі стрижень – оболонка для високовольтних ізоляторів

2. Пробій вздовж кордону електрод – діелектрик. Для кабелів це відповідає пробоям струмопровідна жила – діелектрик – металевий екран; для ізоляторів – металева арматура (кінцевик) – діелектрик.

3. Пробій в обсязі діелектрика через малі каверни, неоднорідності структури.

На сьогодні найповніше досліджено третій вид пробою, який відбувається за відносно невисоких напруженостей поля. Такий мікророзряд можна вважати класичним видом ЧР, що виникає за двома причин: газ усередині каверни має нижчу електричну міцність, ніж твердий діелектрик, внаслідок відмінностей у діелектричній проникності. Отже, напруженість поля всередині каверни вище, ніж зовні, тому ймовірність виникнення ЧР у каверні залежить від локального поля усередині неї. Через деякий час поле мікропробою ЧР у каверні згасає внаслідок накопичення зарядів на її поверхні, що частково компенсують внутрішнє поле.

III. МЕТА РОБОТИ

Метою даної науково-дослідної роботи є аналіз особливостей та причин виникнення часткових розрядів в полімерних прохідних ізоляторів, використання моделювання розподілу напруженості електричного поля по його поверхні, як інструменту для виявлення недосконалостей конструкції, з метою впливу на них та підвищення електричної міцності.

IV. ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГУ МАТЕРИАЛУ І АНАЛІЗ ОТРИМАННИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Надійність прохідних ізоляторів визначається їхньою конструкцією (рис. 1). Розташування високовольтних та заземлюючих електродів таке, що може призвести до виникнення ЧР як в ізоляції, так і на поверхні. Таким чином, можливі дефекти аналогічні силовим кабелям та ізоляторам.

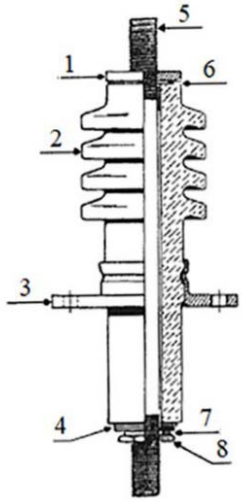

Рисунок 1. Приклад конструкції прохідного ізолятора: 1-кришка, 2- ізолятор, 3- крепіжний фланець, 4- зм'якшуюча шайба, 5- ходовий гвинт з обох кінців, 6- зщільнююча шайба, 8- зажимна гайка.

Поверхневі розряди залежать від забруднення ізолятора. Отже, ми можемо при-пустити, що характеристики часткових розрядів та діаграми АФРЧР у цьому ви-падку аналогічно забруднення опорних ізоляторів. Крім того, забруднення поверхні може викликати перекриття ізоляції, внаслідок якого зазвичай спрацьовує автоматичне вимкнення пошкодженого елемента системи. Проте часто такі пошкодження усуваються автоматичним повторним увімкненням. Дослідження внутрішніх дефектів прохідних ізоляторів важливіше, оскільки їхнє зростання приз-водить до незворотних відмов, які вимагають аварійного обслуговування обладнання.

Дефекти всередині ізоляційного шару зазвичай виникають на етапі виготовлення прохідних ізолятори. Такі дефекти часто можна виявити шляхом їхнього початкового тестування перед встановленням на трансформатор. Однак матеріали введення з часом можуть руйнуватися. В результаті в ізоляційному шарі можуть з'явитися неоднорідності електричного поля, що призведе до пробою ізоляції. Ймовірно, найслабша частина введення в даному випадку це прокладання між високовольтним електродом та корпусом ізолятора. Зношування прокладки веде до утворення контакту між високовольтним електродом та корпусом ізолятора, результатом якого може бути руйнування тіла прохідного ізолятора через виникнення часткових розрядів.

У роботі було прийнято припущення, що сколи на поверхні прохідного ізолятора можуть впливати лише на поверхневі розряди.

Для більш детального розгляду розвитку ЧР в прохідному ізоляторі, звернемося до експериментальної частини роботи [9].Для даної роботи вдалося отримати від виробника прохідний ізолятор із природним дефектом. Дефект виник у процесі виготовлення і виявили при початкових випробуваннях. Причому візуально дефект не виявлявся.

В експериментальному зразку прохідного ізолятора було виміряно часткові розряди. Він був підвішений з використанням діелектричної балки, щоб звести до мінімуму можливі розряди в повітрі, крім внутрішніх та поверхневих розрядів у прохідному ізоляторі. Початкове випробування показало відсутність розрядів на 10 кВ, що є робочою напругою введення. Однак напруга 12 кВ призвела до по-яви часткових розрядів. Подальше підвищення напруги показало, що при 15 кВ інтенсивність часткових розрядів була високою і більше напруга не збільшувала-ся. Результати випробувань показали, що потужність ЧР склала 102 мВт, а середній заряд — 47 нКл. Діаграма АФРЧР відповідає дефекту високовольтного електрода (рис. 2).

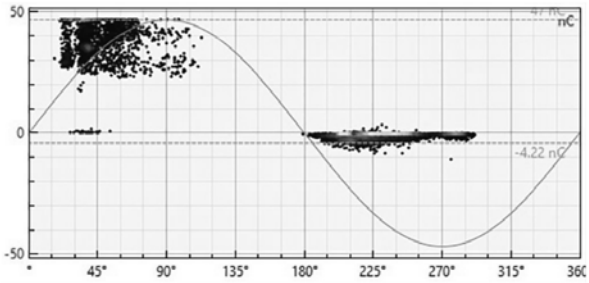

Рисунок 2. Діаграма ФРЧР уведення на 15 кВ

Причиною таких результатів вимірів можливо те, що прохідний ізолятор мав гострі краї на високовольтному електроді. Імовірно, зареєстровані розряди частково або повністю могли бути розрядами в повітрі. Тому було вирішено сточити гострі краї введення і повторити випробування.

Вимірювання ЧР у введенні без гострих країв не показало значної зміни характеристик ЧР порівняно з первісним випробуванням (рис. 3).

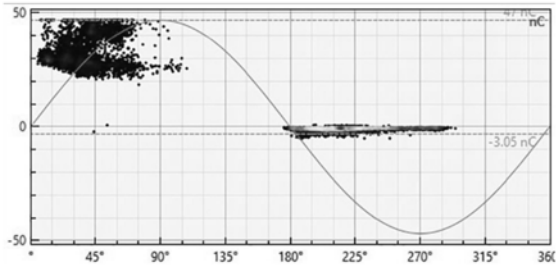

Рисунок 3. Діаграма АФРЧР після шліфовки на 15 кВ

Потужність ЧР становила 136 мВт, середній заряд, що здається, становив 47 нКл. Результати вимірювання характеристик ЧР при напрузі до 15 кВ (рис. 4, 5).

Після вимірювань зразок введення був досліджений руйнівним методом на наявність та розташування дефекту. На рисунку 1. видно, що всередині введення не виявлено візуальних дефектів.

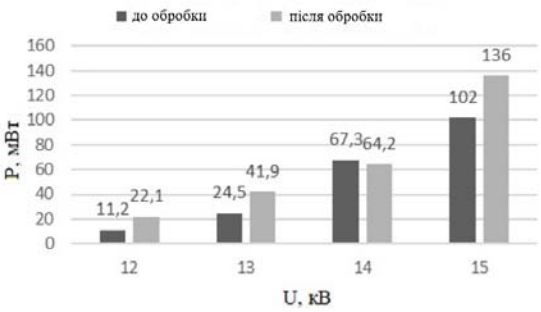

Рисунок 4. Результати вимірювання потужності часткових розрядів у прохідному ізоляторі до та після шліфування

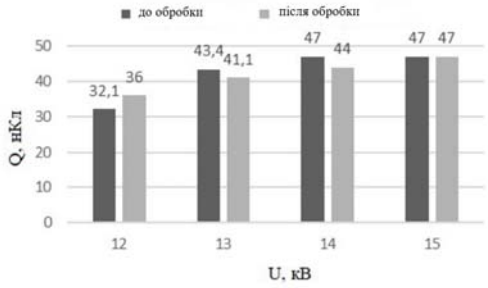

Рисунок 5. Результати вимірювання середнього заряду часткових розрядів у введенні до та після шліфування

У досліджуваному зразку введення КРУ при робочій напрузі 10 кВ ЧР не зареєстровано. Вони почали виникати при 12 кВ та їх інтенсивність значно зросла зі збільшенням напруги.

Шліфування гострих країв прохідного ізолятора не мало істотного впливу на характеристики ЧР. Заряд ЧР, що здається, до і після вимірювання мав близькі значення. Потужність ЧР у більшості вимірів збільшилася після шліфування гострих країв уведення, тоді як вона повинна була зменшитися, якщо краї впливали виникнення розрядів.

Таким чином, можна вважати, що результати виміру ЧР показали наявність дефекту усередині прохідного ізолятора. Однак за його руйнівному дослідженні не виявлено видимого дефекту усередині ізоляційного шару.

Таким чином, ймовірно, дефект був в області прокладання між високовольтним електродом та корпусом ізолятора. Однак розташування дефекту може відрізнятися, оскільки зразок введення не експлуатувався протягом тривалого часу та видимі дефекти могли не з'явитись під час випробування.

Для порівняння характеристик часткових розрядів у прохідному ізоляторі логічно розглянути аналогічні характеристики для опорних ізоляторів та силових кабелів (рис. 6, 7). Основними відмінними рисами характеристик ЧР у прохідних ізоляторах є невеликі кількості ЧР з незначними зарядами, що здають-ся. У позитивній напівхвилі напруги живлення більшість зареєстрованих ЧР були вище 20 нКл. У те Водночас у негативній півхвилі ЧР не перевищували 10 нКл.

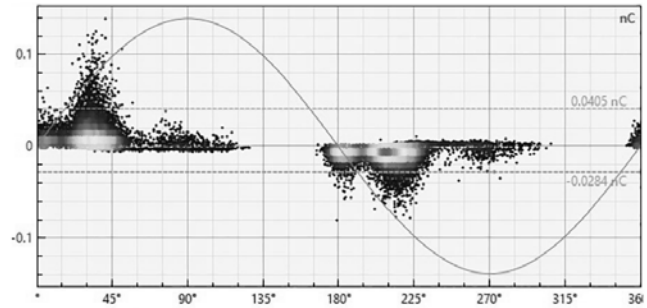

Рисунок 6. Діаграма АФРЧР для опорного ізолятора

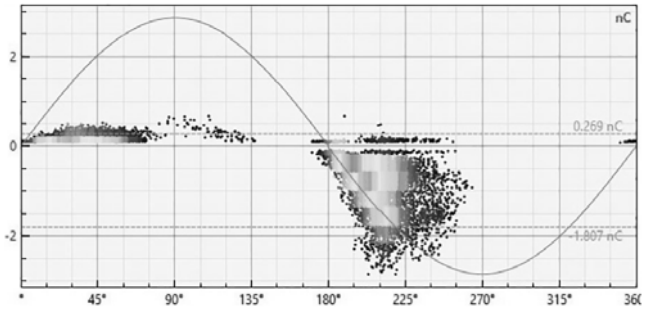

Рисунок 7. Діаграма АФРЧР для силового кабелю

Результати вимірювань показали незначну різницю у характеристиках ЧР до та після шліфовки. Тому припущено, що втулка має внутрішній. дефект. Проте після дослідження щодо руйнування прохідного ізолятора візуально виявити йо-го не вдалося. Крім того, отримана діаграма АФРЧР дефекту прохідного ізолятора має невелику кількість розрядів малої інтенсивності у позитивній напівхвилі напруги. Ймовірно, дефекти можуть бути виявлені за допомогою цієї особливості діаграм АФРЧР.

З даного дослідження можна зробити висновки, що саме неоднорідність розподілу напруженості електричного поля спричиняє виникнення часткових розрядів і в результаті призводить до руйнування ізоляційного тіла. Це означає, що для вирішення завдання забезпечення максимальної електричної міцності, необхідно оптимізувати напруженість електричного поля ізолятору. Для цього необхідно визначити точки концентрації напруженості електричного поля, для чого виконується моделювання об’єкту в ANSYS MAXWELL з метою отримання карти напруженості

електричного поля.

Для моделювання електричного поля полімерного ізолятора було виконано креслення в Autodesk AutoCAD . За основу прийнято аналог ізолятору ППЦ з номінальною напругою 35 кВ та струмом 800 А. Це креслення виконано за даними МЕК. Його конструкція є недосконалою через показники наявності часткових розрядів та міцності.

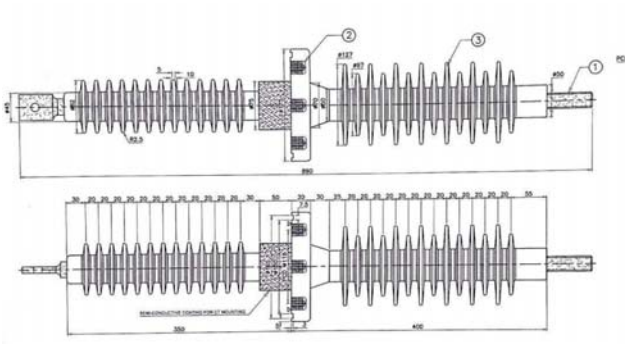

Рисунок 8. Креслення полімерного прохідного ізолятору в Autodesk AutoCAD

Рисунок 9. 3d-модель полімерного прохідного ізолятора в Autodesk AutoCAD

Через осьову симетрію моделі, аналіз розподілу електричного поля виконується у всіх частинах моделі. В самій же моделі передбачено чотири частини: стержень, діелектрик, заземлююча частина та вакуум, що виступає в ролі середовища.

Нелінійне рівняння у приватних похідних чисельної моделі вирішується у двовимірній області з урахуванням симетрії проблеми. У результаті чисельного моделювання виводяться електричні потенційні функції моделі.

Проблеми представлені диференціальними рівняннями з граничними умовами, що називаються граничними задачами. Є три класи граничних задач. Це задача Діріхле, задача Неймана та змішані граничні задачі.

Для моделювання електричного поля, використаємо програму ANSYS Maxwell.

Тепер модель готова для аналізу. Аналіз виконується з допущенням 1% похибки для пришвидшення моделювання (по причині недостатньої потужності обчислювальної машини). Результати моделювання наведено на рис. 10.

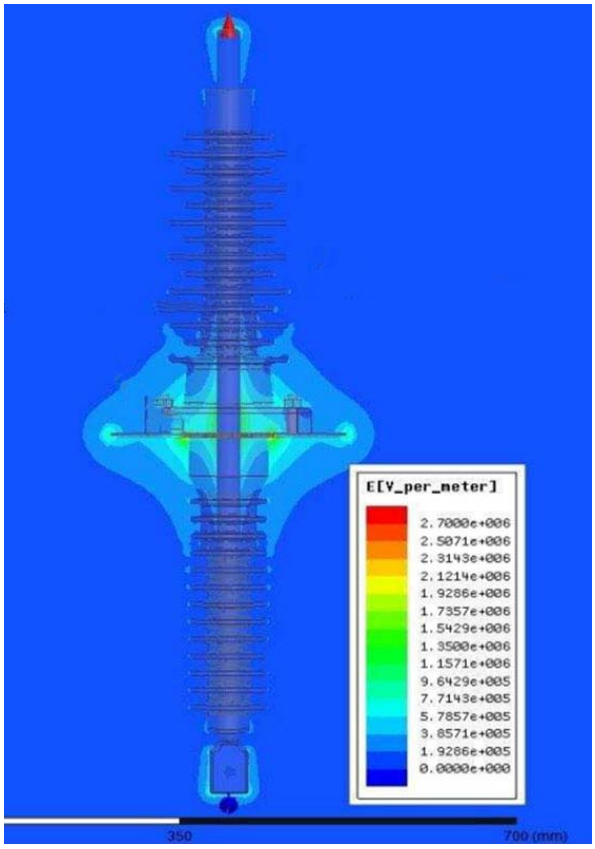

Рисунок 10. Результати моделювання напруженості електричного поля полімер-ного прохідного ізолятора в програмі ANSYS Maxwell

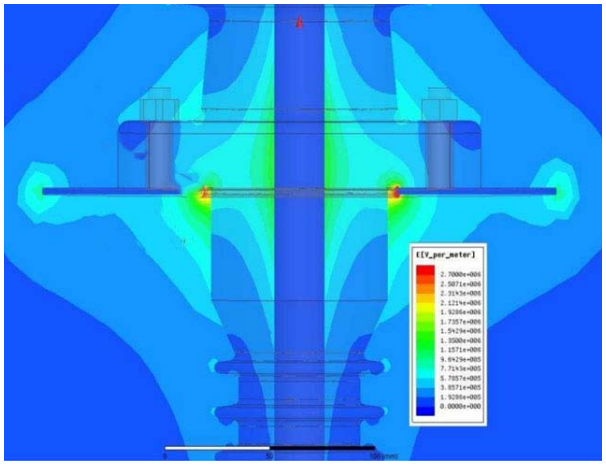

Рисунок 11. Результати моделювання напруженості електричного поля (збільшений масштаб інтересуючої зони) полімерного прохідного ізолятора в програмі ANSYS Maxwell

Так за, результатами моделювання, визначено, що одною з проблемних ділянок є місце стику фланцю з плитою. Це призводить до нерівномірного розподілу напруженості по поверхні об'єкту, що потребує коригування. Усунення даного недоліку може значно підвищити ефективність використання полімерних прохідних ізоляторів, оскільки оптимізація електричного поля призводить до значно меншого ризику виникнення часткових розрядів та подальшого руйнування ізоляції, до чого є полімерні ізолятори є дуже вразливими.

V. ВИСНОВКИ

В науково-дослідній роботі було виконано моделювання напруженості електричного поля прохідного полімерного ізолятора 35кВ для виявлення перспективних, з точки зору поліпшення електричної міцності конструкції, точок впливу для зменшення вірогідності розвитку часткових розрядів в діелектричному матеріалі. Після моделювання було виявлено, що найбільший рівень напруженості спостерігається у місці стикування ізолятора. Таким чином, виявлено шлях оптимізування напруженості електричного поля прохідного полімерного ізолятора, що може зробити його ще більш електрично міцним, що зробить його більш релевантним у використанні за фарфорові, та за рахунок його інших властивостей створить значний позитивний економічний ефект при експлуатації.

Підсумовуючи все вищесказане можна з упевненістю заявляти, що шляхом дослідження напруженості електричного поля на ізоляторах, шляхом моделювання, можна ефективно провести аналіз великої кількості конфігурацій ізоляторів та знайти найбільш ефективну з економічної та технічної точки зору.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

[1] Про затвердження Кодексу системи передачі. Документ v0309874-18, чинний, Редакція від 30.12.2021. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0309874-18#n23

[2] Shevchenko, Sergii, et al. "Devising A Method For Reducing Active Power Corona Losses Based On Changing The Structural Parameters of A Power Transmission Line." Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 1.8 (2022): 115.

[3] .Ушаков В.Я. Изоляция установок высокого напряжения. М.: Энергоатомиздат, 1994.

[4] Шевченко, С. Ю., Д. О. Данильченко, and С. І. Дривецький. "Забезпечення надійного електропостачання військових об'єктів." Рекомендовано Вченою радою Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» до друку протокол № 9 від 24.09. 21 р. колектив авторів: Чепков ІБ, Бісик СП, Миронюк ОЮ, Сливінський ОА (2021): 265.

[5] Вершинин Ю.Н. Электронно-тепловые и дотационные процессы при электрическом пробое твердых диэлектриков. Екатеринбург: ИЭФ РАН, 2000.

[6] Wu K. Suzuoki Y, Dissado L.A. The contribution of discharge area variation to partial discharge pattern in disk voids. J. Phys D. Appl.Phys. 2004. v 37, №7. p 1815- 1823

[7] Куперштох А.Л., Стамателатос, С.П. Агорис Д.П. Моделирование частичных разрядов в твердых диэлектриках при переменном напряжении // Письма в ЖТФ. 2006. 32 вып. 15. С.74-80.

[8] Слуцкер А.И., Поликарпов Ю.И., Галяров В.Л. Об элементарных актах в кинетике электрического разрушения полимеров // ЖТФ. 2006. Т.76. Вып.12. С.52-56

[9] Paoletti P.E., Golubev A. Partial discharge theory avd applications to electrical equipment. Tappi conference 1999, p.23-46.

[10] Носков М.Д., Малиновский А.С., Закк М., Шваб А. Моделирование роста дендритов и частичных разрядов в эпоксидной смоле II // ЖТФ. 2002. Э2. Вып.2. С. 121-128.

[11] Поляков Д.А., Теращенко Н.А., Нікітін К.І. Дослідження відмінних особливостей характеристик часткових розрядів в прохідних ізоляторах.

[12] Diahovchenko, Illia M., et al. "Protection of Digital Power Meters Under the Influence of Strong Magnetic Fields." 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). IEEE, 2019.

[13] Shevchenko, Sergiy, Dmytro Danylchenko, and Stanislav Dryvetskyi. "Experimental Research of the Electrical Strength of the Insulated System "Protected Wire-Line Insulator"." 2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS). IEEE, 2020.

[14] Diahovchenko, Illia, et al. "Rogowsky coil applications for power measurement under non-sinusoidal field conditions." Energetika 65.1 (2019).

[15] Khasawneh, Alaa, et al. "Methodology for Accounting for the Influence of Dust Cover on the Performance of a Photovoltaic System for Matlab Simulink." 2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). IEEE, 2021.

Стаття надійшла до редакції 29.04.2022

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРОХОДНОГО ПОЛИМЕРНОГО ИЗОЛЯТОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧЕК КОНЦЕНТАРЦИИ ПОЛЯ

ШЕВЧЕНКО С.Ю. доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой передачи электроэнергии Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: sergii.shevchenko@khpi.edu.ua;

ДАНИЛЬЧЕНКО Д.А. канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры передачи электрической энергии Национального технического университета "Харьковский политехнический институт", Харьков, Украина, e-mail: dmytro.danylchenko@khpi.edu.ua;

ВЯЗОВИЧЕНКО Ю.А. канд. техн. наук, доцент кафедры динамики и прочности машин Национального технического университета "Харьковский политехнический институт", Харьков, Украина, e-mail: viazovychenko.julia@gmail.com;

ПОТРЫВАЙ А.Э. студент кафедры передачи электрической энергии Национального технического университета "Харьковский политехнический институт", Харьков, Украина, e-mail: potrybay.andrey99@mail.com;

ЦЮПА В.Н. студент кафедры передачи электрической энергии Национального технического университета "Харьковский политехнический институт", Харьков, Украина, e-mail: vladyslav.tsiupa@gmail.com;

Цель работы. *Использование моделирования как инструмента, позволяющего выявлять слабые места конструкции в электрическом оборудовании и на их основе выполнить ее оптимизацию, с целью нивелирования слабостей из-за несовершенства конструкции. Обозначение реально существующей проблемы в конструкциях проходных полимерных изоляторов, что негативно влияет на их технико-экономическую и эксплуатационную характеристику и делает их менее конкурентными по сравнению с другими типами изоляторов.*

Методы исследования. *. Анализ экспериментов по выявлению частичных разрядов, моделирование напряженности электрического поля, синтез анализируемых работ и результатов моделирования.*

Полученные результаты. *В результате выполненного научного исследования было обнаружено, что непосредственное влияние на электрическую прочность проходного полимерного изолятора оказывает процесс возникновения частичных разрядов. Данный факт принят за основу для поиска методов дальнейшего воздействия на конструкцию изолятора с целью увеличения срока его службы. В работе обнаружено, что причиной возникновения частичных разрядов является неравномерность распределения напряженности электрического поля. Это послужило причиной для дальнейшего исследования напряженности электрического поля прохидного изолятора и его моделирования. В результате моделирования были обнаружены точки концентрации напряженности электрического поля в проходном полимерном изоляторе и обозначены их как точки воздействия для повышения электрической прочности проходного полимерного изолятора.*

Научная новизна. *Научная новизна выполненной научно-исследовательской работы заключается в использовании моделирования электрического поля полимерного проходного изолятора как инструмента для обнаружения слабых мест в его конструкции, при воздействии на которые можно будет наблюдать положительное влияние на его технические характеристики..*

Практическая ценность. *Практическая ценность проделанной научно-исследовательской работы заключается в том, что результаты исследования служат прочным фундаментом для дальнейшей оптимизации конструкции проходных полимерных изоляторов, что приведет к положительному воздействию на их технические характеристики и сделает их конкурентными по сравнению с другими типами изоляторов..*

Ключевые слова*: проходной изолятор; электрическое поле;, метод концевых элементов; моделирование; ansys maxwell; оптимизация напряженности электрического поля*

SIMULATION OF THE ELECTRIC FIELD OF A POLYMERIC INSULATOR BUSHING TO DETERMINE THE FIELD CONCENTRATION POINTS

SHEVCHENKO S.Y. doctor of tech. Sci., Professor, Head of the Department of Power Transmission, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: sergii.shevchenko@khpi.edu.ua;

DANYLCHENKO D.A.. cand. tech. Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Department of Electric Power Transmission, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: dmytro.danylchenko@khpi.edu.ua;

VYAZOVICHENKO Y.A. cand. tech. Sci., Associate Professor, Department of Dynamics and Strength of Machines, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, Ukraine, e-mail: viazovychenko.julia@gmail.com;

POTRYVAI.A.E. student of the Department of Electric Power Transmission, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, Ukraine, e-mail: potrybay.andrey99@mail.com;

CYuPA V.N. student of the Department of Electric Power Transmission, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, Ukraine, e-mail: vladyslav.tsiupa@gmail.com;

Purpose. *The use of modeling as a tool that will identify the weaknesses of the structure in electrical equipment and on their basis to perform its optimization, in order to eliminate weaknesses due to structural imperfections. Designation of a real problem in the design of polymer bushings, which negatively affects their technical, economic and operational characteristics and makes them less competitive compared to other types of insulators.*

Methodology. *Analysis of experiments to detect partial discharges, simulation of electric field strength, synthesis of analyzed works and simulation results.*

Findings. *As a result of the performed scientific research, it was found that the process of partial discharges has a direct effect on the electrical strength of the polymer bushing insulator. This fact is taken as the basis for searching for methods of further influence on the insulator design in order to increase its service life. It was found in the work that the reason for the occurrence of partial discharges is the uneven distribution of the electric field strength. This was the reason for further study of the electric field strength of the pass-through insulator and its modeling. As a result of the simulation, points of concentration of the electric field strength in the bushing polymer insulator were found and designated as points of action to increase the electrical strength of the bushing polymer insulator.*

Originality. *The scientific novelty of the performed research work is the use of modeling the electric field of the polymer bushing as a tool to identify weaknesses in its design, under the influence of which it will be possible to observe a positive impact on its technical characteristics..*

Practical value. *The practical value of the research work done is that the results of the research serve as a solid foundation for further optimization of the design of polymer bushings, which will lead to a positive impact on their technical characteristics and make them competitive compared to other types of insulators..*

Keywords: bushing insulator; electric field;, end element method; modeling; ansys maxwell; electric field strength optimization.

REFERENCES

[1] On approval of the Transmission System Code. Document v0309874-18, valid, Edition dated 30.12.2021. Access mode: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0309874-18#n23.

[2] Shevchenko, Sergii, et al. "Devising A Method For Reducing Active Power Corona Losses Based On Changing The Structural Parameters of A Power Transmission Line." Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 1.8 (2022): 115.

[3] Ushakov V.Ya. (1994). Insulation of high voltage installations. M .: Energoatomizdat.

[4] Vershinin Yu.N. (2000). Electron-thermal and subsidy processes in the electrical breakdown of solid dielectrics. Yekaterinburg: IEF RAS.

[5] Shevchenko, S. YU., D. O. Danyl′chenko, and S. I. Dryvets′kyy. "zabezpechennya nadiynoho elektropostachannya viys′kovykh ob'yektiv." Rekomendovano Vchenoyu radoyu Natsional′noho tekhnichnoho universytetu «Kharkivs′kyy politekhnichnyy instytut» do druku protokol № 9 vid 24.09. 21 r. KOLEKTYV AVTORIV: Chepkov IB, Bisyk SP, Myronyuk OYU, Slyvins′kyy OA (2021): 265.

[6] Wu K. Suzuoki Y, Dissado L.A. (2004). The contribution of discharge area variation to partial discharge pattern in disk voids. J. Phys D. Appl.Phys. 37, No 7. p 1815- 1823

[7] Kupershtoch A.L., Stamatelatos, S.P. Agoris D.P. (2006). Simulation of partial discharges in solid dielectrics at alternating voltage // Letters to ZhTF. 32 issue. 15. P.74-80

[8] Slutsker A.I., Polikarpov Yu.I., Galyarov V.L. (2006). On elementary acts in the kinetics of electrical destruction of polymers // JTF. V.76. Issue 12. S.52-56

[9] Paoletti P.E., Golubev A. (1999). Partial discharge theory avd applications to electrical equipment. Tappi conference, p.23-46

[10] Noskov M.D., Malinovsky A.S., Zakk M., Shvab A. (2006). Simulation of dendrite growth and partial discharges in epoxy resin II // JTF. E2. Issue 2. pp. 121-128

[11] Polyakov D.A., Terashchenko N.A., Nikitin K.I. To-l_dzhennya v_dm_nnyh features of the characteristics of the chastkovy discharges in the passages of the insulator

[12] Diahovchenko, Illia M., (2019). et al. "Protection of Digital Power Meters Under the Influence of Strong Magnetic Fields." 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). IEEE.

[13] Shevchenko, Sergiy, Dmytro Danylchenko, and Stanislav Dryvetskyi. (2020). "Experimental Research of the Electrical Strength of the Insulated System “Protected Wire-Line Insulator”." 2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS). IEEE.

[14] Diahovchenko, Illia, et al. (2019). "Rogowsky coil applications for power measurement under non-sinusoidal field conditions." Energetika 65.1.

[15] Khasawneh, Alaa, et al. (2021). "Methodology for Accounting for the Influence of Dust Cover on the Performance of a Photovoltaic System for Matlab Simulink." 2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). IEEE.