

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

СТИСКАЛ ВІТАЛІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 621.316.9:621.315.1

**КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ
ВІД ВПЛИВУ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ В ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАХ НАПРУГОЮ
220-750 кВ**

Спеціальність 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Кутін Василь Михайлович,
Вінницький національний технічний університет,
професор кафедри електричних станцій та систем.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Журахівський Анатолій Валентинович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
професор кафедри електричних систем та мереж;

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Слинько Володимир Мефодійович,
Інститут електродинаміки НАН України, м. Київ,
керівник науково-дослідного центру випробувань засобів
автоматизації в енергетиці.

Захист відбудеться « 26 » 04 2013 р. о 12³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.05 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ГНК, ауд. 210.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ГНК.

Автореферат розісланий « 25 » 03 2013 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

В. В. Кулик

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Основою електроенергетики країни є Об'єднана електроенергетична система України, яка здійснює централізоване енергозабезпечення внутрішніх споживачів, взаємодіє з енергосистемами суміжних країн, забезпечує експорт, імпорт і транзит електроенергії.

Магістральні електричні мережі напругою 220-750 кВ забезпечують високу надійність електропостачання регіонів країни і тому, попри погіршення їхнього технічного стану, можливості відключення окремих ліній електропередачі (ЛЕП) для виконання ремонтних робіт дуже обмежені. Впровадження робіт під напругою дозволяє отримати економічний ефект, насамперед, за рахунок зменшення недовідпуску електроенергії, зменшення втрат електроенергії, які неминучі при відключенні ліній, а також за рахунок підвищення продуктивності праці шляхом скорочення невірних операцій.

Дослідженню впливу електромагнітного поля електроустановок напругою 220-750 кВ присвячена велика кількість робіт як в Україні, так і за кордоном, аналіз яких показує, що в основному вже сформовано єдину думку з усунення факторів, що впливають на організм людини, яка працює під напругою в електроустановках високих напруг. Також встановлено, що захист від впливу електричного поля в електроустановках напругою 220-750 кВ включає комплекс основних і додаткових захисних заходів. Основні захисні заходи передбачають застосування конструкцій і компоновок, що забезпечують загальне зниження напруженості електричного поля на відкритих розподільчих пристроях; застосування стаціонарних і переносних екранувальних пристроїв, що забезпечують зниження напруженості електричного поля в місцях обслуговування електроустановок; застосування екранувальних комплектів одягу (ЕКО), які є найбільш універсальним і економічним засобом захисту, для індивідуального захисту персоналу від дії електричного поля. В даний час розроблені та промислово випускаються ЕКО, призначені для робіт під напругою в умовах електричних полів електроустановок напругою до 750 кВ.

Разом з тим, відсутні достатньо ефективні методи та засоби контролю захисних властивостей ЕКО в процесі їх експлуатації. Існуючі методи оцінювання захисних властивостей ЕКО придатні лише на стадії їх виготовлення, а також для періодичного контролю основних його властивостей перед початком експлуатації. Недостатньо досліджено ефективність захисту від впливу електричного поля стаціонарних та переносних екранів, ізоляційних проміжків електрообладнання.

Тому існує необхідність вдосконалення існуючих засобів контролю захисних характеристик екранувальних комплектів одягу та інших засобів захисту від впливу електричного поля в процесі експлуатації, обслуговування та ремонту електрообладнання в електроустановках напругою 220-750 кВ.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана в плані наукових досліджень, проведених кафедрою електричних станцій та систем Вінницького національного технічного університету за держбюджетною темою «Оптимізація функціонування електричних мереж енергосистем в умовах зростання навантаження споживачів та децентралізації їх живлення» (№ держреєстрації 0110U002161), основні дослідження дисертаційної роботи відповідають науковому напрямку діяльності кафедри «Електричні станції і системи» (науково-дослідна робота № 2126 «Заходи по забезпеченню безпеки робіт під напругою на ЛЕП 220-750 кВ»). Автор брав участь у виконанні вищевказаних робіт як виконавець.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення рівня надійності, безпеки та ефективності експлуатації електроустановок напругою 220-750 кВ шляхом контролю технічного стану та вдосконалення засобів захисту від впливу електричних полів.

Для досягнення мети в роботі вирішуються наступні задачі:

- 1) аналіз існуючих методів і засобів захисту від впливу електричного поля при

обслуговуванні та ремонті електроустановок напругою 220-750 кВ;

2) вдосконалення методу розрахунку повітряних проміжків елементів опор напругою 220-750 кВ для визначення можливості виконання ремонтних робіт під напругою;

3) вдосконалення методу розрахунку екрануючих пристроїв підстанцій 220-750 кВ для оцінювання ефективності засобів захисту від впливу електричного поля;

4) побудова діагностичної моделі захисних властивостей ЕКО в процесі виконання робіт під напругою;

5) розроблення пристрою неперервного контролю технічного стану ЕКО при виконанні ремонтних робіт під напругою і оцінювання ефективності його застосування.

Об'єктом дослідження є вплив електричного поля електроустановок напругою 220-750 кВ під час обслуговування та виконання ремонтних робіт на потенціалі проводу.

Предмет дослідження – контроль технічного стану та вдосконалення засобів захисту від впливу електричного поля в процесі експлуатації електроустановок надвисокої напруги.

Методи дослідження. Для виконання досліджень використані теоретичні й експериментальні методи, зокрема: теорію електромагнітного поля, методи розрахунку напруженості електричного поля, методи системо- і схемотехніки, методи математичного та імітаційного моделювання для побудови математичної моделі ЕКО, методи еквівалентування, метод еквівалентних зарядів змінної щільності, метод середнього потенціалу, метод ділянок.

Наукова новизна одержаних результатів. Основні результати, що становлять наукову новизну, такі:

- вперше запропоновано метод неперервного контролю технічного стану екранувального комплексу одягу при виконанні робіт на потенціалі проводу шляхом врахування параметрів тіла людини та конструкції опор ліній електропередачі при вимірюванні електричної енергії, яка поглинається тілом людини, що дозволяє виявити допустимий час перебування оператора під впливом електричного поля залежно від технічного стану екранувального комплексу одягу та властивостей ліній електропередачі;

- вдосконалено математичну модель для оцінювання ефективності екранування екранувального комплексу одягу шляхом врахування параметрів геометричної форми, якої набуває тіло людини при виконанні робіт під напругою. Її застосування дозволяє вибрати оптимальні параметри струмопровідного матеріалу та комплексу в цілому, за яких забезпечується його максимальна ефективність екранування та обмеження ємнісних струмів розряду;

- вдосконалено метод розрахунку ізоляційних проміжків опор різних типів шляхом врахування їх конструкцій та умов експлуатації, що дозволяє проводити оцінювання можливості виконання ремонтних робіт при застосуванні різних технологій ремонту під напругою;

- вдосконалено метод розрахунку: екранувальної дії порталів підстанцій і опор повітряних ліній напругою 220-750 кВ за рахунок використання методу еквівалентних зарядів змінної щільності та врахування реальних конструкцій порталів та опор; електричного поля в розриві протяжного тросового навісу шляхом використання методу ділянок, що дозволить підвищити точність розрахунку електричних полів засобів захисту.

Практичне значення одержаних результатів. На підставі досліджень визначені параметри екранувальної тканини, яка забезпечує максимальну ефективність екранування ЕКО. Запропоновано методіку оцінювання захисних властивостей ЕКО як при його створенні, так і при експлуатації. Вибрано сукупність параметрів, що дозволяє визначити технічний стан ЕКО при роботах на потенціалі проводу. Розроблено алгоритм функціонування та пристрій контролю технічного стану ЕКО у вигляді експериментального зразка.

Практичні результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес кафедри «Електричні станції та системи» Вінницького національного технічного університету (акт впровадження від 07.12.2012 р.), а також передані для впровадження у

Південно-Західну електроенергетичну систему у вигляді експериментального зразка пристрою неперервного контролю технічного стану ЕКО для робіт під напругою та методики розрахунку напруженості електричного поля в зоні обслуговування електроустановок надвисокої напруги (акт впровадження від 03.12.2012 р.).

Використання зазначених результатів досліджень дозволить підвищити рівень надійності роботи електроустановок напругою 220-750 кВ та безпеки персоналу при їх обслуговуванні.

Особистий внесок здобувача. Усі результати, які складають основний зміст дисертаційної роботи, отримані автором самостійно.

У роботах, опублікованих у співавторстві, автору належать: в роботах [1, 8, 10] – вирази для визначення технічного стану ЕКО з урахуванням реальних умов виконання робіт під напругою на ЛЕП 220-750 кВ; в роботі [6] – запропоновано вирази для визначення діагностичних параметрів ЕКО: струму спливу, який протікає тілом людини, одягненої в екрануючий комплект, та енергії електричного поля, яка поглинається тілом людини. Обґрунтовано вибір значення енергії електричного поля, що поглинається тілом людини, яка одягнена в екрануючий комплект одягу, в якості оптимального параметра для контролю технічного стану ЕКО; в роботах [4, 7] – запропоновано вирази для визначення максимальної швидкості та напрямку вітру, при яких можливе безпечне виконання робіт під напругою, оцінено ізоляційні властивості проміжків «провід – стійка опори» для різних типів опор та технологій робіт під напругою; в роботах [2, 5] – обґрунтовано доцільність використання методу еквівалентних зарядів змінної щільності, який дозволяє вдосконалити метод розрахунку екрануючої дії порталів підстанцій і опор ПЛ напругою 220-750 кВ, запропоновано в розрахунках замінювати реальні елементи конструкції порталів і опор стержнями або циліндрами еквівалентного радіусу, проведено оцінювання можливості такої заміни, отримано вирази для визначення еквівалентних радіусів для стержнів та циліндрів, якими замінюються реальні елементи опор, оцінено розподіл напруженості електричного поля поблизу основи стійки опори у зовнішньому полі; в роботах [3, 11] – запропоновано проводити розрахунок коефіцієнта екранування в місцях розриву протяжних тросових навісів з використанням методу ділянок; в роботі [9] – виконано оцінювання захисних властивостей протяжних тросових навісів та ЕКО від впливу електричного поля в зоні обслуговування підстанцій 220-750 кВ.

Результати теоретичних досліджень, що викладені у [1–11], були отримані у Вінницькому національному технічному університеті.

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи та її результати доповідались, обговорювались та були схвалені на таких науково-технічних конференціях: на науковому семінарі «Проблеми і перспективи енергозбереження комунального господарства і промислових підприємств» (м. Луцьк, 2009); на XII, XIII міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика» (м. Кременчук, 2010, 2011); на XI, XII міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми сучасної електротехніки» (м. Київ, 2010, 2012); на X міжнародній науково-технічній конференції «Контроль і управління в складних системах» (м. Вінниця, 2010); на III, IV міжнародних науково-технічних конференціях «Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах» (м. Луцьк, 2010, 2012); на I міжнародній науково-технічній конференції «Оптимальне керування електроустановками» (м. Вінниця, 2011).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 11 наукових праць, з них 6 статей у наукових фахових виданнях та 5 статей у збірниках матеріалів міжнародних конференцій.

Структура й обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (91 найменування), додатків. Основний зміст роботи викладений на 140 сторінках, містить 39 рисунків, 3 таблиці. Загальний обсяг дисертації 159 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і задачі дослідження. Сформульовано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, а також подано відомості щодо апробації роботи, особистого внеску здобувача та публікацій. Зазначено зв'язок роботи з науковими програмами та темами.

У **першому розділі** розглянуто стан проблеми та задачі дослідження. Зокрема наведена загальна характеристика об'єкта дослідження, описані переваги обслуговування та ремонту під напругою порівняно з методами та організацією ремонтів, що супроводжуються відключенням електроустановок, а також окреслені проблеми, без вирішення яких неможливе широке застосування технологій робіт під напругою.

Проведено аналіз існуючих методів і засобів виконання робіт під напругою (ВРН). Показано, що найбільш ефективними є методи ВРН, при яких забезпечується наближення працівника до об'єкту ремонту, – метод робіт на потенціалі та метод роботи в контактї.

Проаналізовано існуючі методи та засоби захисту від впливу електромагнітного поля під час ВРН. Основним засобом захисту людини від впливу електричного поля при виконанні робіт на повітряних лініях (ПЛ) надвисокої напруги (НВН) під напругою як в Україні, так і за кордоном, є захисний екранувальний одяг. Дослідження екранувальних комплектів одягу, які застосовують для ВРН, показали, що їх захисні властивості з часом погіршуються. Це пояснюється дією на ЕКО механічних, хімічних, теплових та електромагнітних процесів, які протікають у зоні ВРН на ПЛ НВН. З іншого боку, існуючі методи та засоби контролю захисних властивостей екранувальних комплектів дозволяють вимірювати їх параметри перед використанням і виконуються в умовах, які суттєво відрізняються від умов робіт під напругою, а тому є малоефективними. В процесі роботи захисні властивості одягу оцінюються на підставі суб'єктивних відчуттів електрика.

Проведений аналіз виявив необхідність вдосконалення засобів захисту від шкідливих факторів електричного поля в зоні з безпосереднім торканням проводів шляхом розробки і застосування їх нових форм, що забезпечуватимуть необхідні захисні характеристики при одночасному підвищенні надійності роботи. Ці обставини вимагають розробки методів і засобів діагностування, які дозволяють експлуатаційному персоналу володіти достовірними даними про технічний стан об'єкта та безпомилково визначати час його заміни, зокрема пристроєм неперервного контролю технічного стану ЕКО в процесі експлуатації.

У **другому розділі** теоретично обґрунтовано метод неперервного контролю технічного стану екранувальних комплектів одягу для робіт на потенціалі проводу. Зокрема наведено загальну характеристику фізичної моделі об'єкта дослідження, запропоновано вдосконалену математичну модель для визначення технічного стану ЕКО при виконанні робіт на потенціалі проводу, розроблено метод контролю технічного стану ЕКО та вибрано сукупність показників для визначення роботоздатності екрануючого комплексу в процесі його експлуатації

Експлуатаційні характеристики ЕКО обумовлені, в першу чергу, взаємодією електромагнітного поля, що створюється струмоведучими частинами ПЛ напругою 220-750 кВ, і контрольованого об'єкту. Параметри, що характеризують електромагнітне поле в просторі, пов'язані диференціальними рівняннями Максвелла, що виконуються в кожній точці середовища з безперервними фізичними властивостями.

У загальному випадку будь-який технічний об'єкт можна розглядати як перетворювач вхідних величин x_i , які діють на об'єкт або спеціально вводяться в об'єкт, у вихідні y_i . Це перетворення може бути записано як:

$$\underline{y} = A \cdot \underline{x}, \quad (1)$$

де \underline{x} , \underline{y} – відповідно вектори вхідних і вихідних величин; A – оператор перетворення технічного об'єкта.

Отже, оператор A і може бути розглянутий в якості діагностичної моделі об'єкту. Умовою роботоздатності об'єкту буде ступінь відповідності дійсного оператора A заданому

A_0 .

З урахуванням вище сказаного, вхідними величинами для екранувального комплексу будуть значення: модуля вектора напруженості електричного поля в даній точці $|E_0|$, електричного струму спливу I_0 , що протікає по тілу людини, та енергії електричного поля W_0 , що поглинається тілом людини без застосування екранувального комплексу, а вихідними – значення модуля вектора напруженості електричного поля в даній точці $|E_i|$, струму спливу I_h^k , що протікає по тілу людини і енергії електричного поля W_h^k , що поглинається тілом людини, одягненої в екранувальний комплект. В якості оператора перетворення, що характеризує захисні властивості екранувального комплексу, будуть значення коефіцієнтів екранування по напруженості, струму або енергії електричного поля. Отже, математична модель для визначення технічного стану ЕКО в загальному вигляді може бути представлена як:

$$\begin{cases} x = f(\underline{E}_0, I_0, W_0); \\ y = f(\underline{E}_i, I_h^k, W_h^k); \\ A = f(K_E, K_I, K_W), \end{cases} \quad (2)$$

де $K_E = |\underline{E}_0|/|\underline{E}_i|$, $K_I = I_0/I_h^k$, $K_W = W_0/W_h^k$ – коефіцієнти екранування захисного комплексу, відповідно, по напруженості, струму та енергії електричного поля

Замість оператора перетворення $A = f(K_E, K_I, K_W)$, що змінюється в межах $[0,1]$, в якості діагностичної моделі можна використовувати також його обернену величину, що є функцією ефективності екранування комплексу по напруженості $E_{\Phi E} = 1/K_E$, струму $E_{\Phi I} = 1/K_I$ і енергії $E_{\Phi W} = 1/K_W$ електричного поля, що змінюється в межах $[1, \infty]$, тобто

$$A^{-1} = f(E_{\Phi E}, E_{\Phi I}, E_{\Phi W}). \quad (3)$$

Для теоретичного визначення ефективності екранування введемо загальноприйняті допущення: замінимо екранувальний комплект одягу і тіло людини рівнозначними їм по висоті та об'єму витягнутими еліпсоїдами обертання з напіввісьями: $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2$; зовнішній еліпсоїд виконаний у вигляді сітчастого екрану з розмірами квадрата комірок l і радіусом провідників r_0 ; матеріал еліпсоїдів приймається однорідним з електропровідністю: для зовнішнього – рівною електропровідності струмопровідного матеріалу, з якого виготовляється захисний комплект; для внутрішнього – рівною середній електропровідності тіла людини γ_h і діелектричною проникністю тіла людини ϵ_h ; електричне поле E_0 до розміщення в ньому електромонтера передбачається однорідним і в загальному випадку направленим довільно щодо осей еліпсоїдів, суміщених з декартовою системою координат x, y, z .

Розрахунок ефективності екранування захисних комплектів одягу (екрану) проводиться з урахуванням теорії електромагнітного поля, що базується на рівняннях Максвелла, використовуючи метод еквівалентування, суть якого полягає в тому, що розрахунок ефективності сітчастого екрану зводиться до розрахунку еквівалентного йому за формою суцільного тонкостінного екрану з використанням наближених граничних умов, які враховують форму, розміри і параметри складових його матеріалів.

Для досягнення еквівалентності у дії суцільного та сітчастого екранів, суцільний екран розглядають з додатковими сторонніми силами, які враховуються за допомогою граничних умов. Сітчастий екран замінюється еквівалентними йому суцільним. При такому підході завдання зводиться до скалярного: повинні бути розв'язані рівняння Лапласа для скалярних електричних потенціалів ψ_1 і ψ_2 при відповідних граничних умовах.

В якості першої граничної умови для сітки, виготовленої з непаралельних і непрямолінійних провідників, розташованих на неплоскій поверхні, використовується складова напруженості електричного поля E_τ на поверхні, дотичній до провідників сітки. В якості другої граничної умови використовується умова безперервності нормальних

складових напруженості електричного поля.

В результаті проведених математичних розрахунків отримано вираз для визначення ефективності екранування ЕКО, що є математичною моделлю для визначення технічного стану ЕКО в процесі його експлуатації і показує, що захисні властивості екранувального комплексу залежать не тільки від електричної провідності його матеріалу γ_E , відстані між провідниками сітки l та їх радіусу r_0 , а також від їх відношення l/r_0 , розмірів по відповідних координатних осях, тієї форми, яку приймає ЕКО в процесі його експлуатації в електричному полі:

$$E_{\Phi 1p} = 1 + \frac{\pi p (1 - N_p) \ln \left(\frac{l}{2\pi r_0} \right)}{l \cdot \ln \left(\frac{l}{r_0} - 1,84 \right)}, \quad (4)$$

де N_p – коефіцієнт деполаризації еліпсоїда обертання, що еквівалентний об'єму тіла людини; l – розмір комірок сітчастого екрану; r_0 – радіус провідників; $p = a, b, c$ – індекс, що вказує напрям зовнішнього незбуреного електричного поля E_0 . Так індекс a відповідає компоненті поля E_0 по осі x ; b – по осі y ; c – по осі z ; $\pi = 3,14$.

З урахуванням одержаного виразу (4) можна визначити вихідні параметри діагностичної моделі ЕКО: модуль напруженості електричного поля всередині комплексу $|\underline{E}_i|$; струм спливу I_h^k , що протікає тілом людини, яка знаходиться в електричному полі в захисному комплекті одягу; енергію електричного поля W_h^k , яка поглинається тілом людини, одягненої в ЕКО. Так напруженість електричного поля всередині комплексу в загальному вигляді буде визначатися за виразом

$$|\underline{E}_i| = \sqrt{(k_a E_{0x})^2 + (k_b E_{0y})^2 + (k_c E_{0z})^2}, \quad (5)$$

де $k_p = 1/E_{\Phi p}$ – коефіцієнт екранування захисного одягу по відповідних осях $p=a,b,c$.

Вираз для струму I_h^k , що протікає тілом людини, яка одягнена в ЕКО, прийме вигляд

$$I_h^k = \frac{\varepsilon_0 S_{осн} \omega l \ln \left(\frac{l}{r_0} - 1,84 \right) E_0}{p N_p (1 - N_p) \ln \left(\frac{l}{2\pi r_0} \right)}, \quad (6)$$

де $S_{осн}$ – площа основи еліпсоїда, еквівалентного об'єму тіла людини, на який впливає зовнішнє незбурене електричне поле \underline{E}_0 ; $\omega = 2\pi f$ – кутова частота, c^{-1} ;

f – частота струму, Гц; $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

Вираз для енергії, що поглинається тілом людини, одягненої в ЕКО, можна записати як

$$W_h^k = R_h (I_h^k)^2 t, \quad (7)$$

де t – час знаходження людини в електричному полі; R_h – опір тіла людини:

$$R_h = \frac{4\rho_h \rho a_h^2}{9P_h}, \quad (8)$$

де ρ_h – питомий опір тіла людини; P_h – вага тіла людини; ρ – об'ємна щільність тіла людини; a_h – зріст людини.

Таким чином, в результаті теоретичних досліджень показано, що технічний стан ЕКО може бути оцінений шляхом визначення:

– ефективності екранування (коефіцієнта екранування) захисного комплексу, яка може бути отримана шляхом вимірювання параметрів, що характеризують діагностичні стани ЕКО, або знайдена з відношення векторів вхідних і вихідних величин діагностичної моделі ЕКО;

– вихідних параметрів діагностичної моделі екрануючого комплексу: напруженості електричного поля під комплектом, струму, що протікає через тіло людини, одягненої в екрануючий комплект, та енергії електричного поля, що поглинається тілом людини, одягненої в ЕКО, які можуть бути визначені згідно виразів (5), (6), (7), та порівняння отриманих значень з допустимими.

Вибір сукупності показників, що визначають роботоздатність ЕКО в умовах виконання робіт під напругою, проводився на основі аналізу діагностичної моделі екрануючого комплексу та отриманих виразів для її вихідних величин.

Метод оцінювання технічного стану екрануючого комплексу, що полягає у визначенні ефективності екранування шляхом вимірювання діагностичних параметрів об'єкта перевірки (l, r_0, γ_E та N_p), в умовах виконання робіт під напругою не може бути використаний, оскільки дані діагностичні параметри ЕКО відрізняються між собою по своїй фізичній суті, через що складно забезпечити їх вимірювання та контролепридатність об'єкта перевірки при експлуатації. Визначення ефективності екранування шляхом відношення вимірюваних вхідних і вихідних векторів діагностичної моделі ЕКО також непридатне в умовах експлуатації ЕКО, оскільки в даних умовах складно врахувати спотворення електричного поля для оцінки вхідних параметрів ($|\underline{E}_0|, I_0, W_0$), що характеризують умови виконання робіт під напругою. Тому роботоздатність об'єкта перевірки будемо оцінювати за його вихідними параметрами ($|\underline{E}_0|, I_h^k, W_h^k$).

Як видно з аналізу отриманих виразів (5), (6) та (7), найбільш інформативним критерієм для контролю технічного стану ЕКО в процесі їх експлуатації є величина енергії електричного поля, що поглинається тілом людини. Даний параметр дозволяє безперервно контролювати захисні властивості екрануючого комплексу одягу в процесі виконання робіт під напругою, своєчасно виявляти зміну його властивостей, більш точно враховувати зміну коефіцієнта екранування залежно від положення електромонтера відносно джерела електричного поля, функцій, що виконуються на робочому місці, геометричних розмірів тіла людини та часу її перебування в електричному полі.

Згідно отриманого виразу (7), енергія електричного поля, що поглинається тілом людини, яка одягнена в екрануючий комплект і знаходиться під потенціалом електроустановки, може бути визначена шляхом вимірювання сукупності параметрів: струму спливу, що стікає з ніг людини, яка одягнена в екрануючий комплект і знаходиться під потенціалом електроустановки, зросту та ваги тіла людини без екрануючого комплексу. Порівняння отриманого значення енергії електричного поля, що поглинається тілом людини, з еталонними значеннями дозволить робити висновки про роботоздатність ЕКО в процесі його експлуатації.

Оцінювання допустимих значень енергії $W_{\text{доп}}$, що поглинається тілом людини під дією електричного поля, може бути виконано розрахунковим шляхом з виразу

$$W_{\text{доп}} = S_{\text{доп}} t_{\text{доп}}, \quad (9)$$

де $S_{\text{доп}}$ – допустиме значення потужності електричного поля, що поглинається тілом людини, Вт; $t_{\text{доп}}$ – допустимий час перебування в електричному полі при відповідному рівні потужності, що поглинається тілом людини, год.

Таким чином, роботоздатний стан екрануючого комплексу в процесі експлуатації може бути визначений шляхом вимірювання росту, ваги тіла людини без екрануючого комплексу, струму спливу, що стікає з ніг людини, яка одягнена в екрануючий комплект одягу та знаходиться під потенціалом електроустановки, автоматичному обчисленні енергії електричного поля, що поглинається тілом людини, одягненої в екрануючий комплект, та порівнянням її значення з еталонними значеннями, розрахованими з врахуванням дійсних

параметрів тіла людини.

У **третьому розділі** проведено дослідження впливу електричного поля на ізоляційний проміжок «провід – стійка опори» та конструкцію опори при виконанні робіт під напругою в електроустановах 220-750 кВ. Вдосконалено метод розрахунку повітряних проміжків елементів опор напругою 220-750 кВ для визначення можливості виконання ремонтних робіт під напругою

Для всіх розроблених технологій ВРН суттєвим та загальним є те, що електромонтер, який виходить на потенціал проводу, постійно знаходиться в проміжку «провід – стійка опори», довжина якого залежить від багатьох факторів. Тому основною вимогою до безпечності таких технологій ВРН повинно бути забезпечення необхідного ізоляційного проміжку від монтерського стільця, що знаходиться під потенціалом фазного проводу, до заземлених частин опори.

Розрахунки проводились для випадку виконання ремонтних робіт під напругою на крайній фазі проміжних опор порталного типу.

Ізоляційна відстань $D_{із}$ «провід – стійка опори» за відсутності в цьому проміжку монтерського стільця і відсутності вітру:

$$D_{із} = A_0 - 0,5\lambda - \delta, \quad (10)$$

де A_0 – відстань від кромки стійки опори на рівні підвішування гірлянди до осі підвішування гірлянди; λ – крок розщеплення фазного проводу; δ – величина приросту діаметру стійки опори, для конусоподібних і пірамідальних стійок при збільшенні довжини гірлянди ізоляторів.

Фактична відстань «провід – стійка опори» буде відрізнятись від ізоляційної відстані $D_{із}$ на величину монтерського стільця і величину зміщення проводу під дією вітрових навантажень A_1 :

$$D_{ф} = D_{із} - B - A_1, \quad (11)$$

де B – ширина монтерського стільця.

$$A_1 = H_r \sin \beta, \quad (12)$$

де H_r – висота гірлянди; β – кут відхилення гірлянди ізоляторів з проводом від вертикалі під дією вітрового навантаження.

Проводиться порівняння отриманого значення $D_{ф}$ з допустимими значеннями $D_{д}$. Якщо $D_{ф} < D_{д}$, то виконувати роботи під напругою не можна. Однак в зв'язку з тим, що граничні умови по параметрам вітру (напрямок і швидкість) в процесі виконання робіт під напругою далеко не завжди мають місце, доцільно для даного типу опори визначити їх значення, за яких забезпечуються безпечність ВРН. Для цього визначається максимально допустиме значення зміщення проводу $\lambda_{д}$ під дією вітрового навантаження:

$$\lambda_{д} = D_{із} - B - D_{д}. \quad (13)$$

Якщо $\lambda_{д} - A_1 > 0$, то розрахунок припиняється і робиться висновок про придатність конструкції опори в даних умовах для виконання робіт під напругою. Якщо $\lambda_{д} - A_1 < 0$, то необхідно визначити максимальну швидкість або напрямок вітру, при яких можливе ВРН без відхилення від вимог безпеки.

Приймаючи кут між віссю ЛЕП і напрямком вітру $\varphi = 90^\circ$, можна визначити максимальну швидкість вітру, при якій можливе ВРН:

$$v' = \sqrt{\frac{16\lambda_{д}(G_{пр} + 0,5G_r)}{H_r d l C_x}}, \quad (14)$$

де $G_{пр}$ – вага прольоту проводу; G_r – вага гірлянди; C_x – аеродинамічний коефіцієнт; l – довжина прольоту лінії електропередачі; d – сумарний діаметр всіх проводів розщепленої фази.

Кут між віссю ЛЕП і напрямком вітру з максимальною швидкістю 10 м/с, при якому можливе виконання робіт без порушення техніки безпеки:

$$\varphi = \arcsin \sqrt{\frac{16\lambda_d (G_{\text{пр}} + 0,5G_r)}{H_r d l C_x v^2}}. \quad (15)$$

Також були проведені розрахунки для випадків виконання ремонтних робіт під напругою на середній фазі проміжних опор порталного типу. Відмінною особливістю методики розрахунку величини ізоляційних проміжків для середньої фази є те, що стійки опори знаходяться по обидві сторони від проводу на однаковій відстані, оскільки гірлянда ізоляторів за відсутності вітру розташовується по осі симетрії опори. Точка перетину внутрішніх зв'язків також знаходиться на осі симетрії опори. Найбільш несприятливим моментом ВРН є відсутність вітру. В цій ситуації монтерський стілець повинен розміщуватись з однієї сторони від проводу і різко зменшує відстань «провід – стійка опори» та «провід – внутрішній зв'язок». За наявності вітру провід відхиляється в одну сторону, зменшуючи відстані з однієї сторони, проте збільшуючи відстані з іншої, куди можна розмістити монтерський стілець.

Отримані результати розрахунків ізоляційних проміжків «монтерський стілець – внутрішній зв'язок опори» показують, що виконувати роботи на середній фазі без додаткових заходів неможливо ні у випадку, коли провід знаходиться в стійкому положенні, тобто без відхилення, ні у випадку відхилення проводу в сторону однієї зі стійок. Для забезпечення безпеки ВРН на середній фазі необхідно знімати внутрішні зв'язки.

Запропоновано методику розрахунку екранувальних пристроїв для електроустановок 220-750 кВ. Проведено розрахунок екранувальних властивостей порталів і опор та розрахунок електричного поля в місцях розриву протяжних тросових навісів.

Найбільш зручним для розрахунку полів поблизу порталів або опори слід вважати метод еквівалентних зарядів. Згідно методу еквівалентних зарядів елементи опор повітряних ліній замінюються круглими стержнями еквівалентного радіусу. Еквівалентні заряди – це розташовані на осях цих стержнів заряджені відрізки з щільністю заряду, що кусково-лінійно змінюється по довжині.

Загальний аналіз електричного поля поблизу основи опори: опору ПЛ замінювали вертикальним провідним стержнем радіусом r і висотою h з напівсферичним заокругленням кінця, що розташований на провідній площині в зовнішньому однорідному, направленому до площини полі напруженістю E_0 . Розрахунок електричного поля проводився в точці, що знаходиться на відстані R від осі стержня і на висоті d над провідною площиною.

Отримані вирази для вертикальної складової напруженості поля

$$E_{\text{верт}} = E_0 \left[1 + \frac{\frac{h(m_2 + m_3)}{m_2 \cdot m_3} - \ln \frac{(h + d + m_3)(h - d + m_2)}{R^2}}{2 \ln \frac{h\sqrt{3}}{r \cdot e}} \right], \quad (16)$$

та горизонтальної складової напруженості поля

$$E_{\text{гор}} = \frac{E_0}{2 \ln \frac{h\sqrt{3}}{r \cdot e}} \frac{m_3 \cdot m_1 (m_2 - m_1) - m_2 m_1 (m_3 - m_1) + dh(m_3 + m_2)}{R \cdot m_2 \cdot m_3}, \quad (17)$$

де

$$m_1 = \sqrt{R^2 + d^2}; \quad m_2 = \sqrt{R^2 - (h - d)^2}; \quad m_3 = \sqrt{R^2 + (h + d)^2}. \quad (18)$$

Результуюча напруженість електричного поля поблизу основи стержня розраховується по формулі:

$$E_{\text{рез}} = \sqrt{E_{\text{гор}}^2 + E_{\text{верт}}^2}. \quad (19)$$

При спрощенні конструкції реальних елементів опори ПЛ і порталів підстанції

надвисокої напруги, заміні їх розрахунковими, представляється доцільним виділити декілька етапів такого спрощення:

а) заміна реальних прокатних профілів, що використовуються при спорудженні опори (кут, швелер, тавр, двотавр і ін.) круглими стержнями еквівалентного радіусу;

б) заміна реальної решітчастої конструкції елементу опори (стійки, траверси або їх ділянки) системою круглих стержнів, розставлених вздовж протяжного елементу по його утворюючій;

в) заміна отриманої протяжної системи круглих стержнів еквівалентним циліндром.

Під поняттям еквівалентної заміни мається на увазі заміна конструкції круглим стержнем еквівалентного радіусу.

Розрахунки напруженості електричного поля поблизу порталів підстанції показали, що біля основи стійки опори слід чекати посилення поля в безпосередній близькості і ослаблення поля $E_{\text{зовн}}$ при віддаленні від опори з наступним асимптотичним прямуванням напруженості до величини $E_{\text{зовн}}$:

- наявність порталів в полі ошиновки підсилює його в локальній області безпосередньо біля стійки;

- вже на відстані порядку 0,5 м від поверхні стійки порталів сумарна напруженість поля не перевищує напруженості зовнішнього електричного поля за відсутності порталів;

- по мірі віддалення від стійки область посилення поля змінювалась областю пониженої, порівняно з зовнішньою, напруженості;

- впливом опори і порталів при розрахунку електричного поля можна нехтувати на відстанях більших за їх висоти.

Якщо здійснюється розрахунок електричного поля у основи опори або порталів на відстані від стійки більше за її ширину доцільно застосовувати просту розрахункову модель, що замінює решітчасту конструкцію стійки одним циліндром еквівалентного радіусу. При розрахунку поля на меншій відстані від стійки необхідно будувати більш складну розрахункову модель, яка враховує конструкцію нижньої частини стійки реальної опори або порталів.

Протяжні тросові навіси облаштовують на підстанціях для захисту персоналу від дії електричного поля. Тросові навіси мають розриви в місцях перетину пішохідних доріжок з автодорогами підстанції. При проектуванні і дослідженні захисних властивостей тросових навісів цей фактор не враховують.

Для розрахунку коефіцієнта екранування в місцях розриву тросових навісів запропоновано такий метод та алгоритм розрахунку.

Спочатку слід задатися напруженістю зовнішнього незбуреного поля, яку зручно прийняти за одиницю, тобто $E_0 = 1$. Коефіцієнт екранування тоді буде чисельно рівний напруженості поля під навісом. Потенціали тросів визначатимуться як:

$$\varphi_{ij} = E_0 \cdot H = 1 \cdot H = H, \quad (20)$$

де i, j – номери тросів і ділянок тросів відповідно ($i=1,2,..,n$; $j=1,2,..,2m$); H – висота навісу; n – число тросів; $2m$ – число ділянок тросів.

Якщо відома матриця коефіцієнтів індукції $\hat{\beta}$, то можна знайти заряди ділянок Q_{ij} і лінійну щільність заряду на них τ_j :

$$Q_{ij} = \sum_{k=1}^n \sum_{t=1}^{2m} \varphi_{ij} \beta_{ijkt} = H \sum_{k=1}^n \sum_{t=1}^{2m} \beta_{ijkt}, \quad \tau_j = \frac{Q_{ij}}{l_j}, \quad (21)$$

де l_j – довжина j -ї ділянки.

Після того, як знайдена лінійна щільність заряду ділянок, можна визначити напруженість поля, що створюється однією ділянкою в довільній точці з координатами (x_0, y_0, z_0) .

Диференціали складових напруженості поля визначаються як:

$$dE_x = -dE \frac{x - x_0}{R}, \quad dE_y = dE \frac{y_0 - y_i}{R}, \quad dE_z = -dE \frac{H - z_0}{R}, \quad (22)$$

де x – поточна абсциса ділянки; y_i – її ордината; R – відстань до точки спостереження з координатами (x_0, y_0, z_0) ; dE – диференціал сумарної напруженості поля;

$$R = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (H - z_0)^2}, \quad dE = \frac{\tau_{ij} dx}{4\pi\epsilon_0 R^2}. \quad (23)$$

Аналогічно можна визначити диференціали складових напруженості поля, що створюється дзеркальним відображенням ділянки. Інтегруючи вираз (23) (і відповідні вирази для відображення) вздовж ділянки, тобто між координатами x'_j і x''_j , отримуються вирази для визначення $E_{ij}^{(x)}, E_{ij}^{(y)}, E_{ij}^{(z)}$.

Напруженість поля в точці з координатами (x_0, y_0, z_0) визначимо з врахуванням зовнішнього поля:

$$E_x = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{2m} E_{ij}^{(x)}, \quad E_y = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{2m} E_{ij}^{(y)}, \quad E_z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{2m} E_{ij}^{(z)} + 1, \quad (24)$$

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}.$$

Проведені розрахунки показали, що напруженість поля у розриві тросового навісу практично співпадає з напруженістю зовнішнього незбуреного поля. При цьому ефективність екранування поблизу краю навісу різко зменшується.

Запропонована методика розрахунку електричних полів в зоні обслуговування електроустановок напругою 220-750 кВ може використовуватись як на етапі проектування елементів електроустановок, так і під час їх експлуатації.

Четвертий розділ присвячений практичній реалізації пристрою неперервного контролю захисних властивостей ЕКО та розрахунку економічного ефекту від впровадження робіт під напругою 220-750 кВ.

Обґрунтовано вимоги до об'єкта та пристрою діагностики технічного стану ЕКО, запропоновано алгоритм функціонування технічних засобів контролю стану ЕКО при його експлуатації на ПЛ напругою 220-750 кВ.

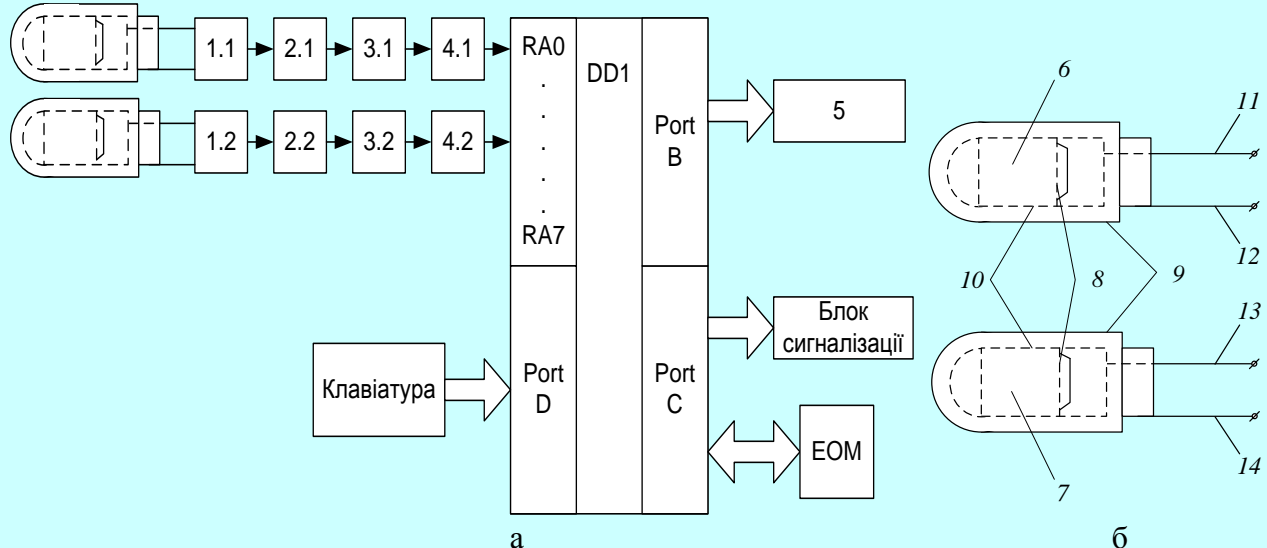


Рисунок 1 – Структурна схема пристрою неперервного контролю технічного стану ЕКО (а) та датчики струму спливу з тіла людини (б)

Експериментальний зразок пристрою неперервного контролю технічного стану ЕКО в процесі експлуатації виконаний на базі мікроконтролера *Microchip PIC18F2320*. До переваг даного мікроконтролера можна віднести невисоку ціну, високу швидкодію, наявність вбудованого 10-ти розрядного АЦП (10 каналів), підтримку інтерфейсу RS-232, широкий

діапазон робочих температур (від -40°C до 125°C) та напруги живлення (від 2 В до 5,5 В), вбудований тактовий генератор з кварцовим резонатором тощо. Також в схемі присутні: перетворювачі 1.1 та 1.2 (рис. 1, а), обмежувачі перенапруг 2.1 і 2.2, фільтри низьких частот 3.1 і 3.2, операційні підсилювачі 4.1 і 4.2, семисегментний індикатор 5, клавіатура та блок сигналізації, до складу якого входять чотири світлових індикатори (білого, зеленого, жовтого та червоного кольорів) і динамік для звукової сигналізації. Датчики струму уявляють собою тришарові шкарпетки 6, 7 (рис. 1, б), внутрішній 8 і зовнішній 9 шари яких виконані зі струмопровідної тканини з контактними виводами 11, 12 та 13, 14, а середній шар 10 – ізолюючий.

Проведено розрахунок економічного ефекту від впровадження робіт під напругою на ЛЕП 220-750 кВ Південно-Західної електроенергетичної системи, який досягається шляхом зменшення недовідпуску та втрат електроенергії.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено нове вирішення науково-практичного завдання, яке полягає у необхідності контролю технічного стану та вдосконалення засобів захисту від дії електричного поля, спрямованих на підвищення рівня надійності, безпеки та ефективності експлуатації електроустановок напругою 220-750 кВ.

Основні теоретичні та експериментальні дослідження, які виконані в дисертаційній роботі, можуть бути узагальнені такими висновками:

1. Запропоновано метод неперервного контролю технічного стану ЕКО в процесі його експлуатації, який базується на визначенні енергії електричного поля, що поглинута тілом оператора, одягненого в ЕКО, з врахуванням дійсних параметрів тіла людини та його положення в процесі виконання робіт, та порівняння отриманих значень з допустимими.

2. Вдосконалено математичну модель ефективності екранування ЕКО шляхом врахування параметрів геометричної форми, якої набуває тіло людини при виконанні робіт під напругою. Її дослідження дозволило вибрати оптимальні параметри струмопровідного матеріалу та екрануючого комплекту в цілому. Показано, що захисні властивості ЕКО залежать не тільки від фізичних параметрів струмопровідного матеріалу, а й від їх співвідношення, а також від тієї форми, яку приймає екрануючий комплект в процесі його експлуатації в електричному полі.

3. Вдосконалено метод розрахунку ізоляційних проміжків опор різних типів шляхом врахування їх конструкцій і умов експлуатації. Це дозволяє підвищити ефективність та безпеку виконання ремонтних робіт при застосуванні різних технологій ремонту під напругою за рахунок більш точної оцінки умов виконання робіт.

4. Розрахунки ізоляційних проміжків «провід – стійка опори» показали, що для певних опор та довжин гірлянд ізоляторів не виконуються умови безпечного виконання робіт, тому в таких випадках потрібно вводити обмеження допустимої швидкості вітру або напрямку вітру швидкістю 10 м/с до вісі ЛЕП. На середній фазі залізобетонних опор 330-750 кВ порталного типу з внутрішніми зв'язками для забезпечення безпеки ВРН необхідно демонтувати один або обидва внутрішні зв'язки; при вирішенні питання про те, який внутрішній зв'язок знімати, необхідно враховувати напрямок вітру та напрямок відхилення гірлянди ізоляторів з проводом.

5. Вдосконалено метод розрахунку екрануючої дії порталів підстанцій НВН та опор ПЛ шляхом використання методу еквівалентних зарядів змінної щільності, що дало можливість враховувати реальні конструкції порталів та опор при розрахунках електричних полів, які створюються електроустановками НВН.

6. Дослідження електричного поля поблизу порталів та опор показали, що наявність порталу в полі ошиновки підсилює його в локальній області безпосередньо біля стійки. Вже на відстані порядку 0,5 м від поверхні стійки порталу сумарна напруженість поля не перевищує напруженості зовнішнього електричного поля за відсутності порталу. По мірі

віддалення від стійки область посилення поля змінюється областю пониженої, порівняно з зовнішньою, напруженості. Впливом опори та порталю при розрахунку електричного поля можна нехтувати на відстанях більших їх висоти.

7. На основі використання методу ділянок вдосконалено метод розрахунку електричного поля в розриві протяжного тросового навісу. Проведені розрахунки показали, що напруженість поля в розриві тросового навісу практично співпадає з напруженістю зовнішнього незбуреного електричного поля. Встановлено, що ефективність екранування поблизу краю навісу різко зменшується.

8. Розроблено експериментальний зразок пристрою неперервного контролю технічного стану екрануючого комплексу одягу в процесі експлуатації на потенціалі проводу, дія якого базується на визначенні допустимого часу перебування залежно від поглинутої тілом оператора енергії електричного поля. Проведено аналіз економічної ефективності впровадження робіт під напругою в електроустановках напругою 220-750 кВ, виконання яких неможливе без застосування надійних засобів захисту від впливу електричного поля на обслуговуючий та ремонтний персонал.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кутін В.М. Безупинний контроль технічного стану екрануючого комплексу одягу при виконанні ремонтних робіт під напругою в електроустановках напругою 220-750 кВ / В.М. Кутін, В.М. Стискал // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Частина 3. – 2010. – С. 65-68. – ISSN 0204-3899.

2. Кутін В. М. Розробка методики розрахунку екрануючих пристроїв для підстанцій надвисокої напруги / В.М. Кутін, В.М. Стискал // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Частина 1. – 2010. – С. 71-74. – ISSN 0204-3899.

3. Кутін В. М. Метод розрахунку коефіцієнта екранування електричного поля в місцях розриву тросового навісу для захисту персоналу на підстанціях 220-750 кВ / В.М. Кутін, В. М. Стискал // Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДУ, 2010. – Вип.3/2010 (62) частина 1. – С. 100-103. – ISSN 1995-0519.

4. Кутін В. М. Метод розрахунку повітряних проміжків елементів опор напругою 220-750 кВ для визначення можливості безпечного виконання ремонтних робіт під напругою / В.М. Кутін, В.М. Стискал // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Вип. 2/2011 (14). – С. 160-165. – ISSN 2072-2052.

5. Кутін В. М. Метод розрахунку електричного поля в зоні обслуговування електрообладнання підстанцій 220-750 кВ / В.М. Кутін, В.М. Стискал // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 1(100) 2012. – С.120-123. – ISSN 1997-9266.

6. Кутін В. М. Визначення діагностичних параметрів екрануючого комплексу одягу для виконання ремонтних робіт під напругою в електроустановках 220-750 кВ / В.М. Кутін, В.М. Стискал // Технічна електродинаміка. – 2012. – №3. – С. 17-18. – ISSN 1607-7970.

7. Кутін В. М. Метод розрахунку повітряних проміжків елементів опор напругою 220-750 кВ для визначення можливості безпечного виконання ремонтних робіт під напругою / В.М. Кутін, В.М. Стискал // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика. Наукове видання. – Кременчук: КНУ, 2011. – Вип. 1/2011 (1). – С. 316-317. – ISSN 2221-5190.

8. Кутін В. М. Метод неперервного контролю технічного стану екрануючого комплексу одягу для робіт під напругою / В.М. Кутін, В.М. Стискал // Проблеми і перспективи енергозбереження комунального господарства і промислових підприємств: науковий семінар: матеріали семінару. Луцьк. – 2009. – С. 90-92.

9. Кутін В. М. Визначення екрануючих властивостей засобів захисту людини від впливу електричного поля в процесі обслуговування підстанцій 220-750 кВ / В.М. Кутін,

В.М. Стискал // Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах: III міжнарод. наук.-техн. конф.: матеріали конференції. Луцьк. – 2010. – С. 121-123.

10. Кутін В. М. Метод неперервного контролю технічного стану екрануючого комплексу одягу при виконанні ремонтних робіт під напругою в електроустановках 220-750 кВ / В.М. Кутін, В.М. Стискал // Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах: IV міжнарод. наук.-техн. конф.: матеріали конференції. Луцьк. – 2012. – С. 161-163.

11. Кутін. В.М. Метод розрахунку екранувальних властивостей тросового навісу на підстанціях 220-750 кВ від впливу електричного поля / В.М. Кутін, В.М. Стискал // Контроль і управління в складних системах (КУСС-2010): X міжнарод. конф.: тези доповіді. Вінниця. – 2010. – С. 216.

АНОТАЦІЇ

Стискал В.М. Контроль технічного стану засобів захисту від впливу електричного поля в електроустановках напругою 220-750 кВ. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2013.

Дисертаційну роботу присвячено підвищенню надійності та ефективності засобів захисту від впливу електричного поля при обслуговуванні електроустановок напругою 220-750 кВ за рахунок їх вдосконалення та контролю технічного стану в процесі експлуатації. Тим самим вирішується завдання підвищення ефективності обслуговування та надійності електроустановок напругою 220-750 кВ. Запропоновано метод неперервного контролю технічного стану ЕКО в процесі експлуатації. Вибрано оптимальний параметр, що характеризує технічний стан ЕКО в процесі експлуатації. Розроблено алгоритм функціонування та експериментальний зразок пристрою неперервного контролю технічного стану ЕКО в процесі експлуатації, який базується на визначенні енергії електричного поля, що поглинається тілом людини, одягненої в ЕКО, та порівняння її з допустимими значеннями. Проведено оцінювання можливості виконання ремонтних робіт під напругою на опорах різних типів при застосуванні різних технологій ремонту. Запропоновано методику розрахунку напруженості електричного поля в зоні обслуговування електроустановок напругою 220-750 кВ.

Ключові слова: електроустановка надвисокої напруги, виконання робіт під напругою, екрануючий комплект одягу, неперервний контроль, ізоляційний проміжок, стійка опори, протяжний тросовий навіс.

Styskal V.M. Control of the technical state of protective facilities from electric-field influence in 220-750 kV electrical installations. – A manuscript.

Dissertation for scientific degree of Candidate of Science (Engineering) on Specialty 05.14.02 – electric power stations, networks and systems. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2013.

Dissertation describes the increase of reliability and efficiency of protective facilities from electric-field influence at maintenance of 220-750 kV electrical installations due to their perfection and the technical state control in the process of exploitation. The task of increase of 220-750 kV electrical installations service efficiency and reliability decides the same. The method of continuous control of the screening complete set of clothes (SCSC) technical state in the process of exploitation is offered. An optimal parameter that characterizes the SCSC technical state in the process of exploitation is chosen. The algorithm of functioning and experimental sample of device of continuous control of the SCSC technical state in the process of exploitation are worked out. It is based on determination of electric-field energy, that is absorbed by the body of the man dressed in

SCSC, and its comparing to the legitimate values. The evaluation of possibility of repair works under tension implementation on different-type transmission towers on application of different technologies of repair is conducted. Design procedure of electric-field strength in the service area of 220-750 kV electrical installations is offered.

Keywords: extra-high voltage electrical installations, implementation of works under tension, screening complete set of clothes, continuous control, isolating interval, tower body, prolonged rope cover.

Стыскал В.М. Контроль технического состояния средств защиты от влияния электрического поля в электроустановках напряжением 220-750 кВ. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – электрические станции, сети и системы. – Винницкий национальный технический университет, Винница, 2013.

Диссертационная работа посвящена повышению надежности и эффективности средств защиты от влияния электрического поля при обслуживании электроустановок напряжением 220-750 кВ за счет их усовершенствования и контроля технического состояния в процессе эксплуатации. Таким образом, решается задание повышения эффективности обслуживания и надежности электроустановок напряжением 220-750 кВ. Объект исследования – влияние электрического поля в электроустановках напряжением 220-750 кВ во время обслуживания и выполнения ремонтных работ на потенциале провода. Предмет исследования – контроль технического состояния и усовершенствование средств защиты от влияния электрического поля в процессе эксплуатации электроустановок сверхвысокого напряжения.

Целью диссертационной работы является повышение уровня надежности, безопасности и эффективности эксплуатации электроустановок напряжением 220-750 кВ путем контроля технического состояния и усовершенствования средств защиты от влияния электрических полей.

Проведен анализ существующих методов и средств выполнения работ под напряжением (ВРН). Проанализированы существующие методы и средства защиты от влияния электромагнитного поля во время ВРН. Показано, что основным средством защиты человека от влияния электрического поля при выполнении работ под напряжением на воздушных линиях 220-750 кВ как в Украине, так и за рубежом, является защитная экранирующая одежда. Исследования показали, что под воздействием механических, химических, тепловых и электромагнитных процессов, которые протекают в зоне ВРН на воздушных линиях сверхвысокого напряжения, защитные свойства экранирующих комплектов одежды (ЭКО) со временем ухудшаются. В процессе работы защитные свойства одежды оцениваются на основании субъективных ощущений электромонтера.

Впервые предложен метод непрерывного контроля технического состояния ЭКО при выполнении работ на потенциале провода путем учета параметров тела человека и конструкции опор линий электропередачи (ЛЭП) при измерении электрической энергии, которая поглощается телом человека, что позволяет обнаружить допустимое время пребывания оператора под воздействием электрического поля в зависимости от технического состояния ЭКО и свойств ЛЭП. Усовершенствована математическая модель эффективности экранирования ЭКО путем учета параметров геометрической формы, которой приобретает тело человека при выполнении работ под напряжением. Ее использование позволяет выбрать оптимальные параметры токопроводящего материала и комплекта в целом, при которых обеспечивается его максимальная эффективность экранирования и ограничения емкостных токов разряда. Получил дальнейшее усовершенствование метод расчета изоляционных промежутков опор разных типов путем учета их конструкций и условий эксплуатации, что позволяет проводить оценивание возможности выполнения ремонтных работ при применении разных технологий ремонта под напряжением. Усовершенствован метод расчета экранирующего действия порталов подстанций и опор воздушных линий напряжением 220-

750 кВ за счет использования метода эквивалентных зарядов переменной плотности и учета реальных конструкций порталов и опор, а также метод расчета электрического поля в разрыве протяжного тросового навеса путем использования метода участков, что позволяет повысить эффективность обслуживания открытых распределительных устройств и точность расчета электрических полей.

Расчеты изоляционных промежутков «провод - стойка опоры» показали, что для определенных опор и длин гирлянд изоляторов не выполняются условия безопасного выполнения работ, потому в таких случаях нужно вводить ограничение допустимой скорости ветра или направления ветра скоростью 10 м/с к оси ЛЭП. На средней фазе железобетонных опор 330-750 кВ порталного типа с внутренними связками для обеспечения безопасности ВРН необходимо демонтировать один или обе внутренних связки; при решении вопроса о том, какую внутреннюю связь снимать, необходимо учитывать направление ветра и направление отклонения гирлянды изоляторов с проводом.

Исследования электрического поля вблизи порталов и опор показали, что наличие портала в поле ошиновки усиливает его в локальной области непосредственно у стойки. Уже на расстоянии порядку 0,5 м от поверхности стойки портала суммарная напряженность поля не превышает напряженность внешнего электрического поля при отсутствии портала. По мере отдаления от стойки область усиления поля изменяется областью сниженной, в сравнении с внешней, напряженности. Влиянием опоры и портала при расчете электрического поля можно пренебрегать на расстояниях больше их высот.

Проведенные расчеты электрического поля в разрыве протяжного тросового навеса показали, что напряженность поля в разрыве тросового навеса практически совпадает с напряженностью внешнего невозмущенного поля. При этом эффективность экранирования вблизи края навеса резко уменьшается.

Разработан экспериментальный образец устройства непрерывного контроля технического состояния экранирующего комплекта одежды в процессе эксплуатации на потенциале провода, действие которого базируется на определении допустимого времени пребывания в зависимости от поглощенной телом оператора энергии электрического поля. Проведен анализ экономической эффективности внедрения работ под напряжением в электроустановках напряжением 220-750 кВ для Юго-Западной электроэнергетической системы

Ключевые слова: электроустановка сверхвысокого напряжения, выполнение работ под напряжением, экранирующий комплект одежды, непрерывный контроль, изоляционный промежуток, стойка опоры, протяженный тросовый навес.

Підписано до друку 19.03.2013 р. Формат 29.7 × 42 ¼
Наклад 100 прим. Зам. № 2013-070
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету.
м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-87-38