

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра ЕСС

# **Магістерська кваліфікаційна робота на тему:**

«ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ  
ВІД ВПЛИВУ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ НА ОБСЛУГОВУЮЧИЙ ПЕРСОНАЛ  
ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ НАПРУГОЮ 220-750 КВ»

Виконав:  
Ст. гр. 1ЕСМ-17м  
Ільніцький О.С.

Керівник магістерської роботи:  
д.т.н., професор Кутін В.М.

Для досягнення цілі безперебійного електропостачання у поєднанні з підвищенням економічності роботи електроустановок служить система ремонту і технічного обслуговування електроустановок, без виведення їх з роботи. Аналіз існуючих методів і засобів захисту від дії електричного поля, контролю захисних властивостей дозволяє стверджувати про необхідність подальшого вдосконалення засобів захисту від впливу шкідливих факторів електричного поля в зоні з безпосереднім доторканням проводів. Цим вимогам відповідає застосування методів і засобів діагностування, які дозволяють шляхом розробки і застосування нових форм діагностичних моделей, забезпечити високі захисні характеристики при одночасному підвищенні надійності роботи.

## МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Мета МКР:** 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.

### **Задача МКР:**

- аналіз існуючих методів і засобів захисту людини від впливу електромагнітного поля, що створюється електроустановками напругою 220-750 кВ;
- дослідження методів і засобів контролю технічного стану екранувальних комплектів одягу для робіт на потенціалі проводу.
- пристрій для неперервного контролю захисних властивостей ЕКО.

**Об'єктом дослідження:** є електроустановки надвисокої напруги, що створюють проблемну ситуацію – ризик електротравматизму та професійного захворювання.

**Предметом дослідження:** є методи та засоби захисту людини від впливу електромагнітного поля під час виконання ремонтних робіт під напругою.

## БЕЗПЕКА ВИКОНАННЯ РЕМОНТНИХ РОБІТ ПІД НАПРУГОЮ

Виконання робіт в електроустановках під напругою дозволяється при певних метеорологічних умовах, при яких забезпечується можливість безпечного виконання робіт:

- відносної вологості повітря не вище 90 %;
- температурі навколишнього середовища від  $-20$  до  $+40^{\circ}$  С;
- швидкості вітру не більше 10 м/с.

Висока вологість знижує електричну міцність ізолюючих пристосувань і інструментів, що застосовуються при ВРН. Сильний вітер в місці робіт може привести до зниження ізоляційних відстаней між стійкою опори через відхилення гірлянд ізоляторів, а грозові перенапруження – до перекриття ізоляції в місці робіт. Тому забороняється проводити роботи під напругою під час туману, дощу, снігу, ожеледиці, сильного вітру, під час грози і її наближенні.

При виникненні несприятливих погодних умов роботи повинні бути припинені, електрики віддалені від струмопровідних частин.

## ОЦІНКУ РІВНЯ СТРУМІВ ЗСУВУ

Оцінку рівня струмів зсуву, які можуть протікати через людину під час знаходження його на потенціалі проводу, отримаємо із наступного виразу :

$$I_h = U_\phi \omega C_{hz}, \quad (4.1)$$

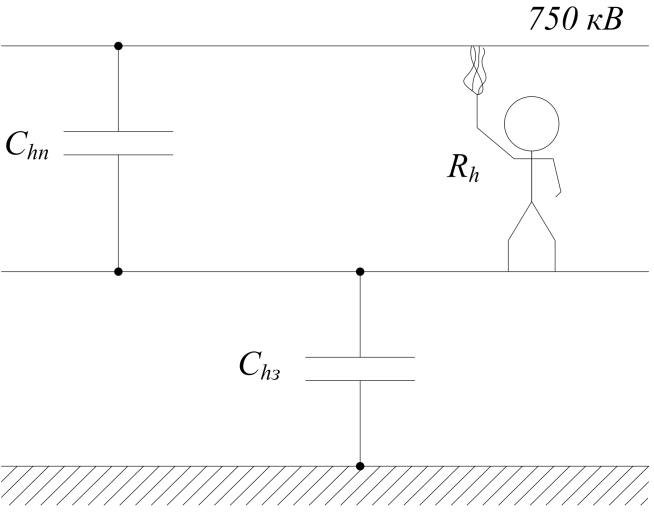
де  $U_\phi$  – фазна напруга;  $C_{hz}$  – ємність людини відносно землі.

Ємність людини відносно землі можна обчислити за формулою:

$$C_{hz} = (4\pi\epsilon_0 l_h) / \ln \frac{4l_h^2 (1_h + 4h_{\min})}{d_h^2 (3l_h + 4h_{\min})}, \quad (4.2)$$

де  $l_h$  – довжина еквівалентного циліндра, що моделює людину з об'ємом, рівним його тілу,  $l_h = 1,7$  м;  $d_h$  – діаметр циліндра,  $d_h = 0,266$  м;  $h_{\min}$  – мінімальна висота розташування людини над землею.

Для повітряних ліній напругою 220–750 кВ можна прийняли  $h_{\min} = 6 \dots 20$  м, тоді розрахунки за формулами (4.1), (4.2) дають значення сталого струму в межах 2–6 мА. Таким чином, значення струму зсуву, що протікає через тіло людини при виконанні робіт на повітряних лініях напругою 220–750 кВ під напругою, може не тільки перевищувати поріг відчуття, але і наблизитися до граничного значення струму, що неприпустимо.



Максимальних значень імпульсних струмів отримуємо із наступного виразу:

$$i_{hmax} = U_{hn}^2 C_{hn} / K_T I_p, \tag{5.1}$$

де  $U_{hn}$  – максимальне значення різниці потенціалів між проводом і людиною до моменту перенесення потенціалу;  $K_T = 1,4 \cdot 10^{-4}$  Ом·Кл/см – постійна Теплера;  $I_p = 30 \dots 60$  см – довжина іскрового розряду у момент перенесення потенціалу;  $C_{hn}$  – ємність людини відносно проводу.

Для розрахунку ємності  $C_{hn}$  встановлюють такі припущення: людина з середньостатистичними габаритами замінюється еквівалентним провідним циліндром завдовжки  $l_h = 1,7$  м, радіусом  $r_h = 0,113$  м; еквівалентний циліндр розташовується паралельно проводам ПЛ; реальні проводи ПЛ НВН замінюються циліндром еквівалентного радіуса, останній визначається відповідно:

$$r_e = r_p \sqrt{n_\phi r_0 / r_p}, \tag{5.2}$$

де  $r_p$  – радіус розщеплення фази;  $n_\phi$  – кількість проводів у фазі;  $r_0$  – радіус проводів.

Розрахунок ємності в системі таких проводів може бути виконаний за формулою:

$$C_{hn} = (2\pi\omega_0 l_h) / \text{arch} \frac{l_e^2 - r_h^2 - r_e^2}{2r_h r_e}, \tag{5.3}$$

де  $l_e = 1$  м – відстань між центрами циліндрів, один з яких еквівалентний за об'ємом розщепленій фазі лінії, а інший – тілу людини.

Розрахунки, виконані за формулами (5.1) і (5.3) для типових конструкцій проводів ПЛ напругою 220–750 кВ, дають максимальне значення імпульсного струму  $i_{hmax} = 150 \dots 380$  А.

# ЗАХИСНІ ЗАХОДИ ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ ПОБЛИЗУ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ

Таблиця 6 – Розміри санітарно-захисної зони

Напруга повітряної лінії, кВ	Віддалення границь СЗЗ від крайніх фаз, м	Ширина смуги землі, зайнятої СЗЗ, м
300	20	60
500	30	80
750	40	120
1150	56	160

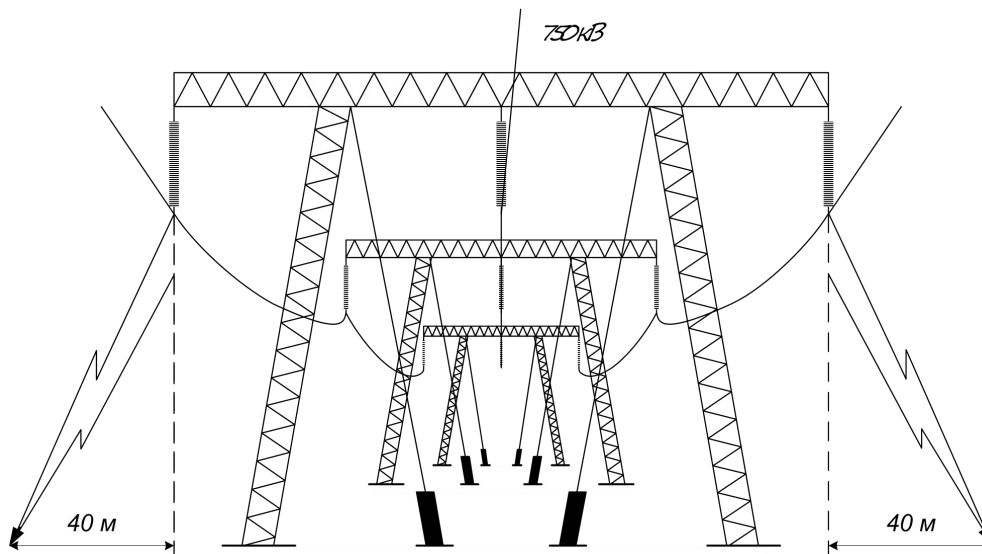


Рисунок 6 – Смуга санітарно-захисної зони повітряної лінії напругою 750 кВ

# ЕКРАНУВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ РОБОТАХ НА ВРП ПОБЛИЗУ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ НАДВИСОКОЇ НАПРУГИ

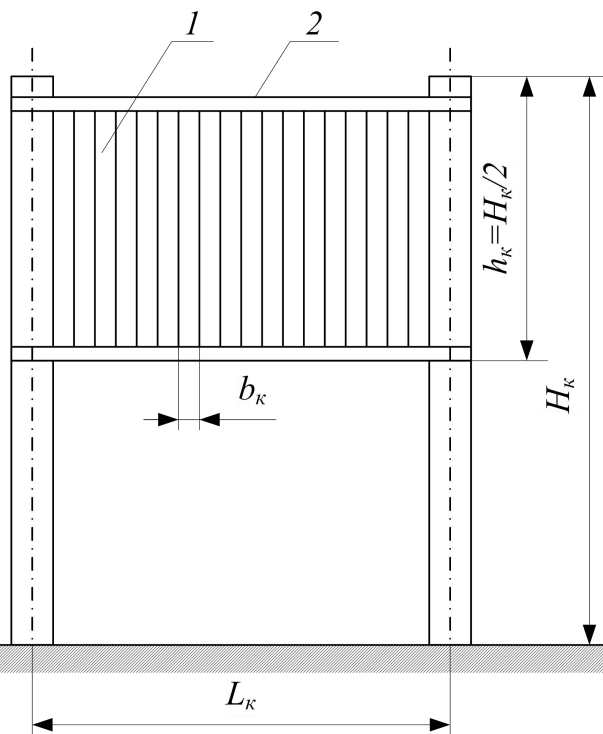


Рисунок 7.1 – Міжкомірковий вертикальний екран типу ЕМ

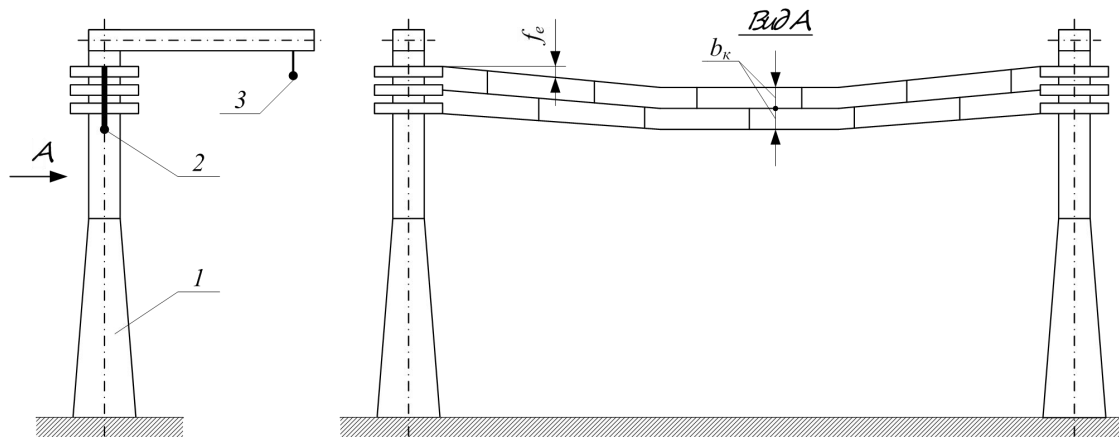


Рисунок 7.2 – Шинний екран типу ЕШ

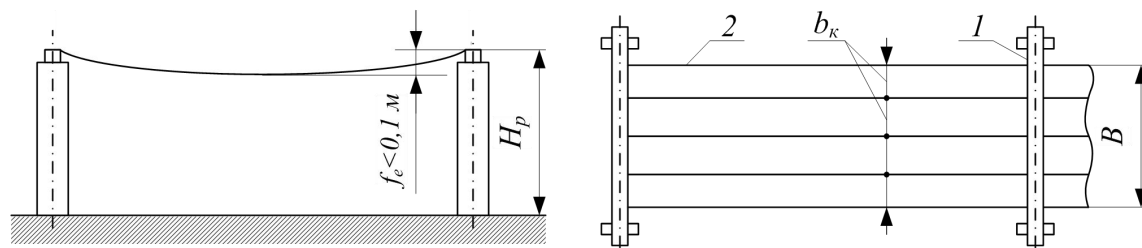


Рисунок 7.3 – Екран-навіс типу ЕД, що є в розпорядженні над пішохідними доріжками



## ЕКРАНУВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ РОБОТАХ НА ВРП ПОБЛИЗУ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ НАДВИСОКОЇ НАПРУГИ

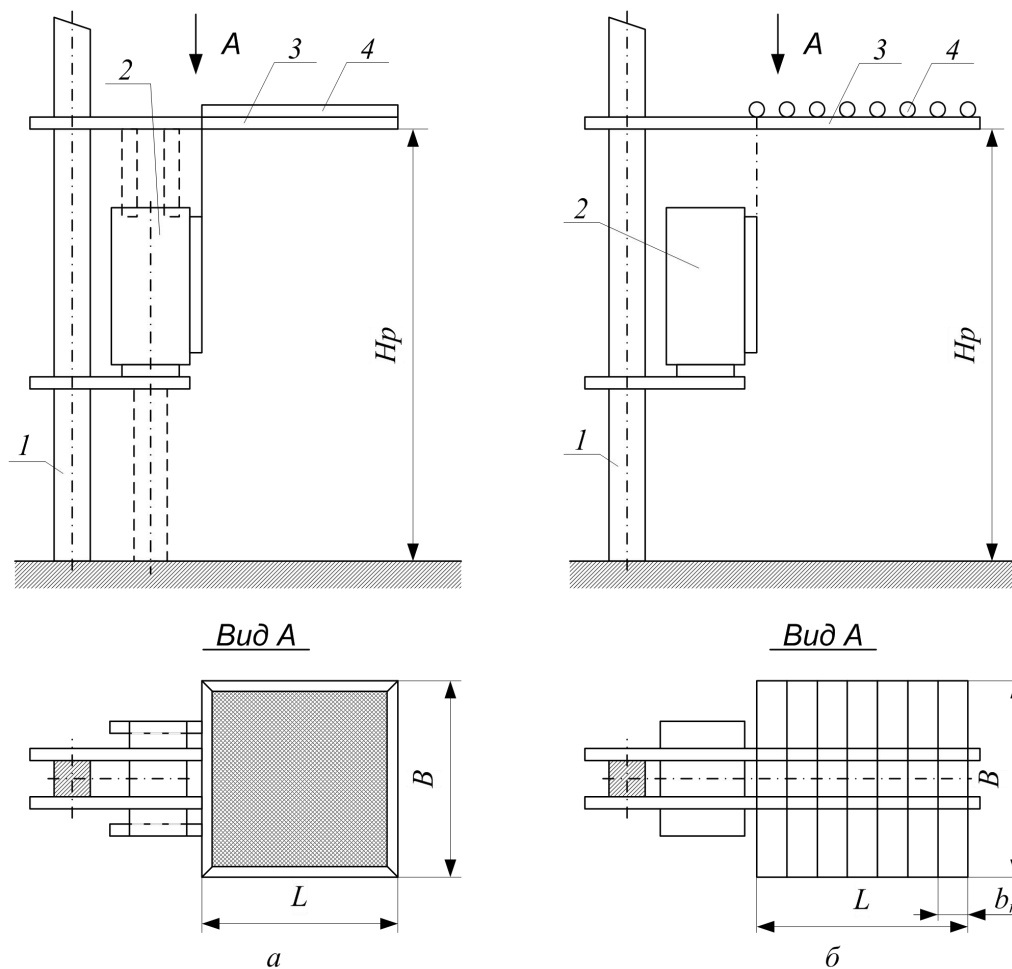


Рисунок 8 – Екран-козирок типу ЭК Сітчастий (а) і ґратчастий (б) екран-козирки: 1 – стовп опори під устаткування; 2 – шафа; 3 – конструкція для кріплення екрана; 4 – екран

# ЕКРАНУВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ РОБОТАХ НА ВРП ПОБЛИЗУ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ НАДВИСОКОЇ НАПРУГИ

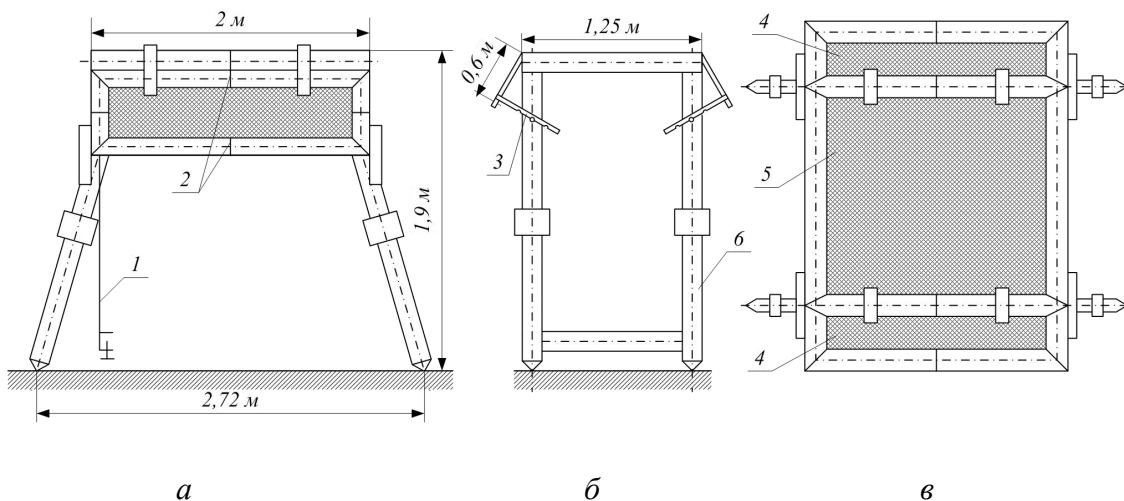


Рисунок 9.1 – Переносний екран типу ЭП : а – екран, встановлений на телескопічному стояку; б – телескопічний стояк для встановлення екрана; в – конструкція основного і бічних екранів; 1 – заземлюючий провідник; 2 – сполучні петлі; 3 – упорні планки; 4 – бічний екран; 5 – основний екран; 6 – телескопічні стояки

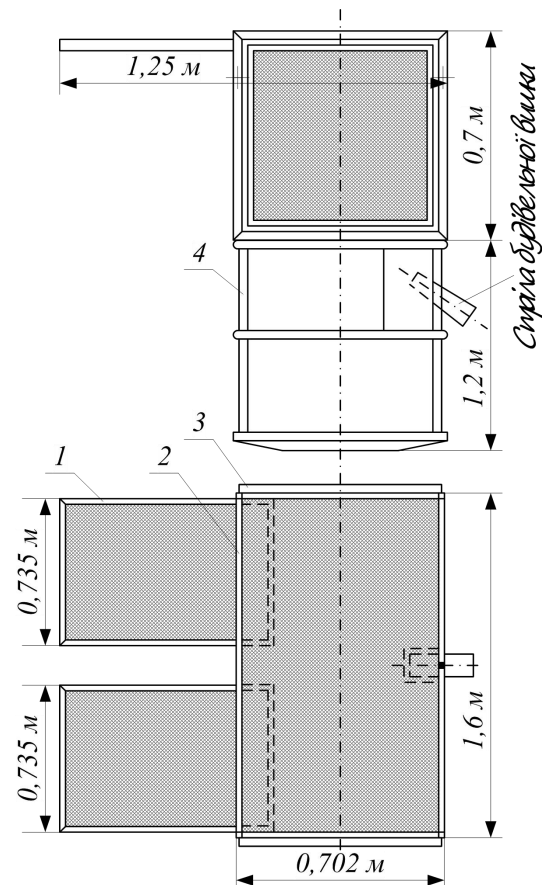


Рисунок 9.2 – Знімний екран ЭС-02  
 1 – передній відкидний екран;  
 2 – боковий відкидний екран;  
 3 – каркас основного екрана;  
 4 – люлька

# МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕКО ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ НА ПОТЕНЦІАЛІ ПРОВОДУ

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

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 від напруженості, струму і енергії електричного поля.

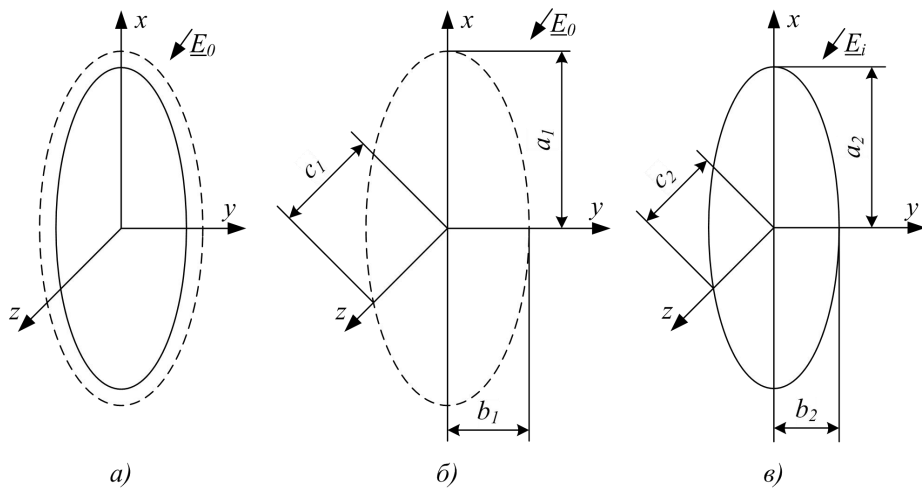


Рисунок 10 – До побудови математичної моделі для визначення технічного стану ЕКО

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

Одержаний вираз 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  $\gamma_E$ , відстані між провідниками сітки  $l$  та їх радіуса  $r_0$ , 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.

# МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕКО ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ НА ПОТЕНЦІАЛІ ПРОВОДУ

З урахуванням одержаного виразу можна визначити значення вихідних параметрів діагностичної моделі ЕКО: модуля напруженості електричного поля всередині комплекту, струму зсуву, що протікає по тілу людини, яка знаходиться в електричному полі в захисному комплекті одягу; енергії електричного поля, що поглинається тілом людини, одягненої в ЕКО.

– Так напруженість електричного поля всередині комплекту в загальному вигляді буде визначатися за виразом::

$$|E_i| = \sqrt{(k_a E_{0x})^2 + (k_b E_{0y})^2 + (k_c E_{0z})^2}.$$

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

– Вираз для струму, що протікає по тілу людини, яка одягнена в ЕКО, матиме вигляд:

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

де  $S_{\text{осн}}$  – площа основи еліпсоїда, еквівалентного об'єму тіла людини, на який впливає зовнішнє незбурене електричне поле  $E_0$ ;  $N_p$  – коефіцієнта деполяризації;

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

$$W_h^k = j^2 V_h \rho_h t.$$

де  $j$  – щільність струму в еліпсоїді, що еквівалентний об'єму тіла людини;  $V_h$  – об'єм еліпсоїда, еквівалентний об'єму тіла людини;  $\rho_h$  – питомий опір тіла людини;  $t$  – час знаходження людини в електричному полі.

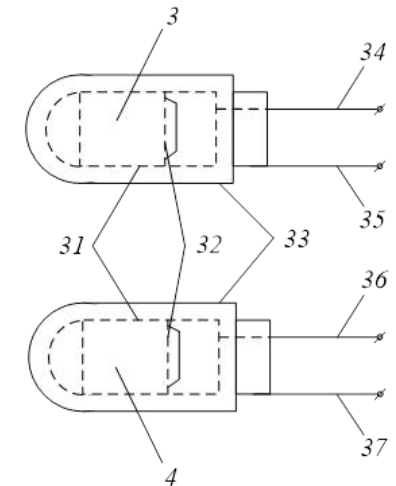
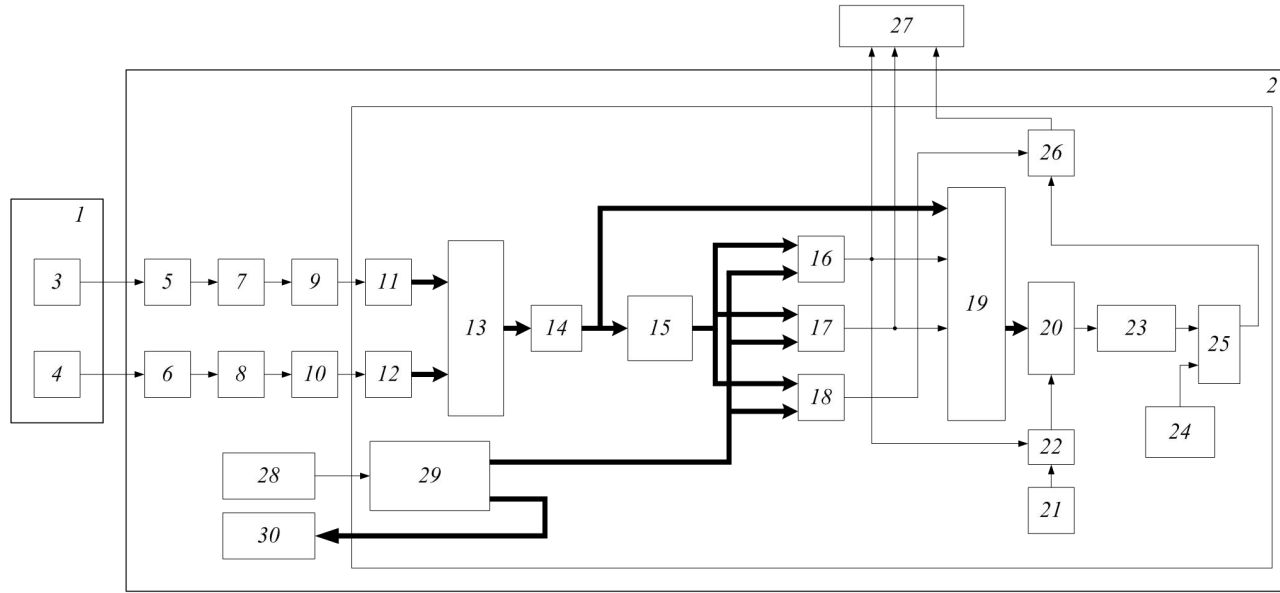


Рисунок 12.1 – Блок-схема пристрою неперервного контролю технічного стану ЕКО

Рисунок 12.2 – Датчик струму

Пристрій складається з датчиків струму 1, блока контролю енергії 2 та блока сигналізації 27.

В свою чергу блок контролю енергії 2 формується з таких блоків: обмежувачів перенапруг 5 і 6; фільтрів 7 і 8; операційних підсилювачів 9 і 10; аналогово-цифрових перетворювачів 11 і 12; суматора 13; квадратора 14; блока розрахунку 15; пристроїв порівняння 16, 17, 18; блока керування подільником частоти 19; подільника частоти 20; генератора частоти 21; логічного блока «І» 22; лічильника 23; блока задання часу роботи 24, що визначає допустимий час перебування в електричному полі (8 год.); пристрою порівняння 25; логічного блока «АБО» 26; клавіатури 28; блока введення і розрахунку констант 29; панелі індикації вхідних даних 30.

Датчики струму представляють собою тришарові шкарпетки 3, 4 (рис. 12.2.), внутрішній 32 і зовнішній 33 шари яких виконані зі струмопровідної тканини з контактними виводами 34, 35 та 36, 37, а середній шар 31 – ізолюючий.

# РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ РОБІТ ПІД НАПРУГОЮ.

Зона проведення розрахунку – ЛЕП 330 кВ Вінницька-Західно Українська, ПАТ Вінницяобленерго.

При середньому навантаженні фідера ПЛ 136,3 МВт за 1 робочий день тривалістю 24 робочих годин маємо недовідпуск електроенергії:

$$A_{\text{ср.ден.}} = 136,3 \cdot 24 = 5,679 \text{ (МВт} \cdot \text{год)}.$$

З урахуванням коефіцієнта використання бригади (без урахування часу на проведення організаційних робіт з персоналом, відпусток, лікарняних тощо)

$$K_{\text{вик. бр.}} = 0,9$$

$$A_{\text{ср.річ}} = A_{\text{ср.ден.}} \cdot K_{\text{вик. бр.}} \cdot D_{\text{роб.год}} = 5,679 \cdot 0,9 \cdot 249 = 1272,66 \text{ (МВт} \cdot \text{год)}$$

При середньому тарифі  $C_{\text{ел.ен.}} = 1641,24$  (грн/МВт · год) сума втрат від недовідпуску електроенергії:

$$C_{\text{ел.ен. річ}} = C_{\text{ел.ен.}} \cdot A_{\text{ср.річ}} = 1\,641,24 \cdot 1272,66 = 2088740,49 \text{ (грн)}$$

Величина витрат на проведення додаткового навчання бригади складе:

$$\text{– первинна підготовка: } V_{\text{підг 1}} = 39\,975 \text{ (грн)}.$$

$$\text{– повторна підготовка: } V_{\text{підг 2}} = K_{\text{повт}} \cdot V_{\text{підг 1}} = 0,4 \cdot 39\,975 = 15\,990 \text{ (грн)}.$$

де  $K_{\text{повт}} = 0,4$  – зниження витрат на проведення повторної підготовки по відношенню до первинної.

Річний економічний ефект при впровадженні методики РПН, визначається як різниця між сумою вартості недовідпуску електроенергії за час виконання робіт зі зняттям напруги і підвищеними витратами на комплектацію і проведення додаткового навчання бригади для виконання робіт під напругою:

– первинна підготовка:

$$E_{\text{рпн1}} = C_{\text{ел.ен. річ}} - V_{\text{пр.вт.1}} = 2088740,49 - 117\,721,63 = 1971018,86 \text{ (} \text{грн)}$$

– повторна підготовка:

$$E_{\text{рпн2}} = C_{\text{ел.ен. річ}} - V_{\text{пр.вт.2}} = 2088740,49 - 93\,736,63 = 1995033,86 \text{ (} \text{грн)}$$

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в удосконаленні математичної моделі для визначення технічного стану ЕКО при виконанні робіт на потенціалі проводу.

На основі отриманих виразів для ефективності екранування комплекту, напруженості електричного поля в середині комплекту, струму зміщення, що протікає по тілу людини, одягненої в ЕКО, та енергії, що поглинається тілом людини, обґрунтовано вибір об'єктивного критерію оцінки технічного стану об'єкта перевірки в процесі експлуатації та сукупності параметрів для його визначення. Встановлено, що найбільш інформативним критерієм атестації ЕКО в процесі його експлуатації є величина енергії електричного поля, що поглинається тілом людини. Цей параметр дозволяє своєчасно виявити зміну властивостей комплекту під час експлуатації, більш точно врахувати зміну коефіцієнта екранування від положення електромонтера по відношенню до джерела електричного поля, геометричних розмірів тіла людини та часу її перебування в електричному полі. Порівняння отриманого значення енергії електричного поля, що поглинається тілом людини, з допустимими значеннями дозволить робити висновки про роботоздатність ЕКО в процесі експлуатації.

Проведений аналіз виявив необхідність вдосконалення засобів захисту від шкідливих факторів електричного поля в зоні з безпосереднім доторканням проводів шляхом розробки і застосування їх нових форм, що забезпечуватимуть високі захисні характеристики при одночасному підвищенні надійності роботи. Цим вимогам відповідає застосування методів і засобів діагностування, які дозволяють експлуатаційному персоналу мати достовірні дані про технічний стан об'єкта і безпомилково визначати час його заміни. Ці обставини вимагають широкого впровадження екранувальних комплектів для виконання робіт під напругою спільно з пристроями безпосереднього контролю його стану.

Аналіз діагностичної моделі екранувального комплекту дозволив виділити параметри, що характеризують його захисні властивості в процесі його експлуатації. До них відносяться: електрична провідність матеріалу комплекту  $\gamma E$ , відстань між провідниками матеріалу  $l$  та їх радіус  $r_0$ , а також відношення  $l$  до  $r_0$ , та розміри комплекту у відповідних координатних осях.

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



- **ДЯКУЮ ЗА УВАГУ**
- **ДОПОВІДЬ ЗАКІНЧЕНО**