

МЕТОД РОЗРАХУНКУ ПОВІТРЯНИХ ПРОМІЖКІВ ЕЛЕМЕНТІВ ОПОР НАПРУГОЮ 220-750 КВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ БЕЗПЕЧНОГО ВИКОНАННЯ РЕМОНТНИХ РОБІТ ПІД НАПРУГОЮ

В. М. Кутін, д.т.н., проф.

Вінницький національний технічний університет

Хмельницьке шосе, 95, 21021, м. Вінниця, Україна

В. М. Стискал, асп., інж.

Публічне акціонерне товариство «Вінницяобленерго»

вул. 1-го Травня, 2, 21050, м. Вінниця, Україна

E-mail: styskalvm@ukr.net

Розглядається питання дослідження ізоляційних проміжків «провід – стійка опори» проміжних опор порталного типу напругою 220-750 кВ з метою визначення безпечного виконання робіт під напругою для крайньої фази.

Ключові слова: виконання робіт під напругою, ізоляційні проміжки.

Вступ. Для всіх розроблених технологій виконання робіт під напругою (ВРН) [1] суттєвим та загальним є те, що електромонтер, який виходить на потенціал проводу, постійно знаходить у проміжку «провід – стійка опори», величина якого залежить від багатьох факторів. Тому основною і головною 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.

Аналіз попередніх досліджень. Розрахунок ізоляційних проміжків елементів опор 220–750 кВ проводиться на етапі проектування [2]. Для ВРН дане питання раніше не досліджувалось.

Мета роботи. Оцінити ізоляційні проміжки елементів опор для формування умов безпеки при виконанні ремонтних робіт під напругою 220-750 кВ.

Матеріал і результати дослідження. Розглянемо випадок виконання ремонтних робіт під напругою на крайній фазі проміжних опор порталного типу. Ізоляційна відстань $D_{із}$ «провід – стійка опори» при відсутності в цьому проміжку монтерського стільця і відсутності вітру може бути визначена (рис. 1) за наступною формулою:

$$D_{із} = A_0 - 0,5\lambda - \delta, \quad (1)$$

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.

Відповідно рис. 1, δ та $\operatorname{tg}\alpha$ можуть бути визначені як:

$$\delta = H_1 \operatorname{tg}\alpha; \quad (2)$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{r_n - r_a}{H_{on}}, \quad (3)$$

де H_1 – довжина гірлянди ізоляторів; r_n – радіус нижньої частини стійки опори; r_a – радіус верхньої частини стійки опори; H_{on} – довжина стійки опори.

Для циліндричних стійок опори $\delta=0$.

Фактична відстань «провід – стійка опори» буде відрізнятися від ізоляційної відстані $D_{із}$ на величину

монтерського стільця і величину зміщення проводу під дією вітрових навантажень A_1 .

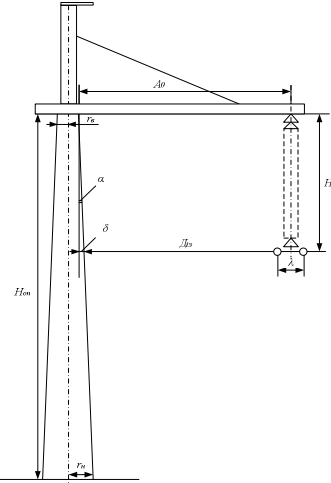


Рисунок 1 – Схема визначення ізоляційної відстані $D_{із}$ «провід – опора» на конусоподібних і пірамідальних стійках

З рис. 2 очевидно, що

$$D_{ф} = D_{із} - B - A_1, \quad (4)$$

де B – ширина монтерського стільця, рівна 860 мм [3].

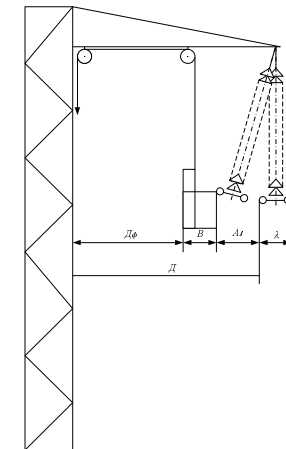


Рисунок 2 – Схема визначення фактичної відстані $D_{ф}$ «провід – стійка опори» при наявності в проміжку монтерського стільця з людиною
З рис. 3 A_1 визначається як

$$A_1 = H_c \sin \beta, \quad (5)$$

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

З цього ж рисунку бачимо, що величина кута відхилення пропорційна силі вітрового тиску на провід P_v і обернено пропорційна відновлювальній силі, тобто вазі прольоту проводу G_{np} та гірлянди G_c .

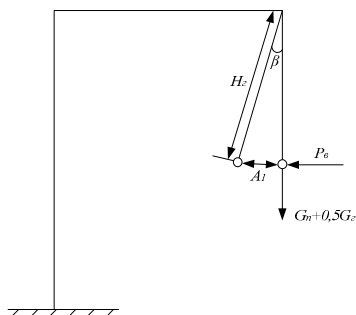


Рисунок 3 – Схема визначення кута відхилення гірлянди під дією вітрового навантаження

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{P_v}{G_{np} + 0,5G_c}; \quad (6)$$

$$P_v = C_x s \frac{v^2}{16} \sin^2 \varphi, \quad (7)$$

де C_x – аеродинамічний коефіцієнт, який для проводів діаметром 20 мм і вище дорівнює 1,1 [4]; s – діаметральний переріз суми всіх проводів розщепленої фази прольоту проводу:

$$s = nd'l = dl, \quad (8)$$

де n – кількість проводів у розщепленій фазі; d' – діаметр одного проводу розщепленої фази; l – довжина прольоту лінії електропередачі (ЛЕП); φ – кут між віссю ЛЕП і напрямком вітру; $\frac{v^2}{16}$ – швидкісний натиск вітру [5]; d – сумарний діаметр усіх проводів розщепленої фази.

Порівняємо отримане значення D_ϕ з допустимими значеннями D_o . Якщо D_ϕ вийшло меншим, ніж допустиме значення, то виконувати роботи під напругою не можна. Однак у зв'язку з тим, що граничні умови по параметрам вітру (напрямок і швидкість) у процесі виконання робіт під напругою далеко не завжди мають місце, доцільно для даного типу опори визначити їх значення, при яких забезпечуються безпечність ВРН. Для цього знайдемо максимально допустиме значення зміщення проводу λ_o під дією вітрового навантаження (рис. 4):

$$\lambda_o = D_{i3} - B - D_o. \quad (9)$$

У залежності від конструкції опори і ширини монтерського стільця λ_o може приймати як додатні, так і від'ємні значення. Порівняємо допустиме значення λ_o та фактичне відхилення проводу під дією вітру. Якщо $\lambda_o - A_1 > 0$, то розрахунок припиняється і робиться висновок про придатність конструкції опори в даних умовах для виконання робіт під напругою. Якщо $\lambda_o - A_1 < 0$, то необхідно

визначити максимальну швидкість або напрямок вітру, при яких можливе ВРН без відхилення від вимог безпеки.

З виразів (6) та (7), приймаючи $\varphi = 90^\circ$, можна визначити максимальну швидкість вітру, при якій можливе ВРН:

$$v' = \sqrt{\frac{16\lambda_o(G_{np} + 0,5G_c)}{H_c d C_x}}. \quad (10)$$

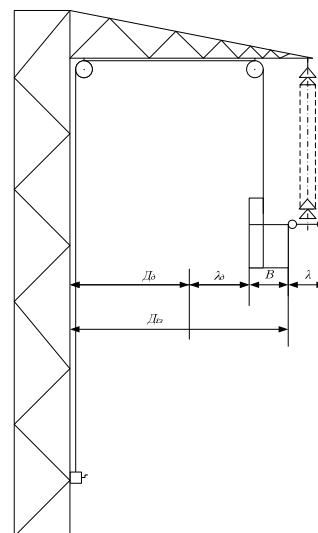


Рисунок 4 – Схема визначення допустимого максимального відхилення проводу λ_o під дією вітрового навантаження

З цих самих виразів (6) та (7) визначимо напрямок вітру з максимальною швидкістю 10 м/с, при якому можливе виконання робіт без порушення техніки безпеки:

$$\varphi = \arcsin \sqrt{\frac{16\lambda_o(G_{np} + 0,5G_c)}{H_c d C_x v^2}}. \quad (11)$$

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 при 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. У цій ситуації монтерський стілець повинен розміщуватись з однієї сторони від проводу й різко зменшує відстань «провід – стійка опори» та «провід – внутрішній зв'язок». При наявності вітру провід відхиляється в одну сторону, зменшуючи відстані з однієї сторони, проте збільшуючи відстані з іншої, куди можна розмістити монтерський стілець. Найбільше відхилення, яке бажано мати, дорівнює половині ширини монтерського стільця і половині кроку розщепленої фази, тобто коли проміжок «монтерський стілець – внутрішній зв'язок» буде однаковим з обох сторін.

Це можливо тоді, коли середина монтерського

стілця при його русі вверх буде переміщуватись по осі симетрії опори. При аналізі ізоляційних проміжків на крайніх фазах розглядався випадок, коли монтерський стілець дотикався до фазного проводу, оскільки на шляху руху монтерського стілця вверх ніяких конструкцій, що змінюють величину ізоляційного проміжку, не зустрічається. Для середньої фази залізобетонної опори порталного типу з внутрішніми зв'язками рух монтерського стілця пов'язаний з перетином з внутрішніми зв'язками. При цьому відстань від монтерського стілця до внутрішнього зв'язку буде меншою, ніж від стілця до стійки опори. Довжина фактичного D_{ϕ} ізоляційного проміжку буде залежати від того, по якій траєкторії буде рухатись монтерський стілець, тобто по осі симетрії опори чи при зміщенні її в сторону від довжини проміжку Π , при якому виконується вирівнювання потенціалів монтерського стілця і фазного проводу, висоти самої конструкції монтерського стілця та інших факторів.

Розглянемо випадок, коли гірлянда знаходиться в вертикальному положенні (рис. 5).

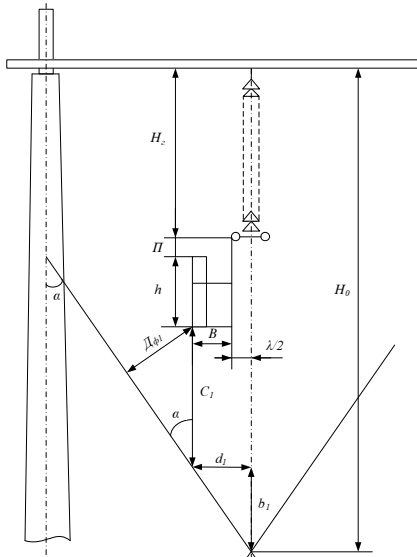


Рисунок 5 – Схема визначення $D_{\phi 1}$ середньої фази «провід – внутрішній зв'язок» при вертикальному положенні гірлянди в момент вирівнювання потенціалів проводу і монтерського стілця

З рис. 5 очевидно, що $D_{\phi 1}$ визначається як:

$$D_{\phi 1} = C_1 \sin \alpha;$$

$$C_1 = H_0 - H_2 - \Pi - h - b_1; \quad b_1 = \frac{d_1}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{B + 0,5\lambda}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Тоді

$$D_{\phi 1} = \left(H_0 - H_2 - \Pi - h - \frac{B + 0,5\lambda}{\operatorname{tg} \alpha} \right) \sin \alpha, \quad (12)$$

де H_0 – відстань від траверси до точки перетину внутрішніх зв'язків опори; H_2 – довжина гірлянди; h – висота монтерського стілця, що дорівнює 1600 мм; Π – відстань від монтерського стілця до проводу фази, за якої відбувається перенос потенціалу фази на монтерський стілець. Ці відстані для різних класів напруги приведені в табл. 1 [1];

B – ширина монтерського стілця, що дорівнює 860 мм; λ – крок розщеплення фазного проводу; α – кут між віссю стійки опори і внутрішнім зв'язком.

Таблиця 1 – Відстані для різних класів напруги

Клас напруги, кВ	330	500	750
Значення Π , мм	500	700	1000

Для випадку, коли монтерський стілець рухається по осі симетрії опори, а гірлянда відхилена від вертикального положення (рис. 6), у момент вирівнювання потенціалів ізоляційна відстань $D_{\phi 2}$ «монтерський стілець – внутрішній зв'язок» визначається:

$$D_{\phi 2} = C_2 \sin \alpha;$$

$$C_2 = H_0 - H_2 - \Pi - h - b_2; \quad b_2 = \frac{d_2}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{0,5B}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Тоді

$$D_{\phi 2} = \left(H_0 - H_2 - \Pi - h - \frac{0,5B}{\operatorname{tg} \alpha} \right) \sin \alpha. \quad (13)$$

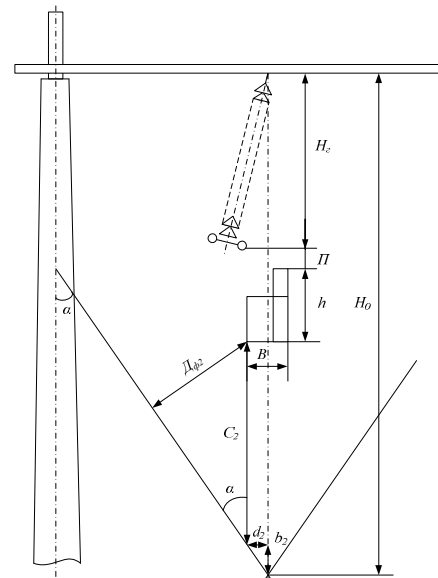


Рисунок 6 – Схема визначення $D_{\phi 2}$ середньої фази при відхиленні фазного проводу в момент вирівнювання потенціалів проводу і монтерського стілця

Аналогічно може бути визначена ізоляційна відстань між монтерським стільцем і внутрішнім зв'язком опори для положення монтерського стілця на проводі. У випадку, коли гірлянда ізоляторів знаходиться у вертикальному положенні, а траєкторія руху монтерського стілця зміщена в сторону стійки опори, ізоляційна відстань $D_{\phi 3}$ (рис. 7) визначається за формулою:

$$D_{\phi 3} = C_3 \sin \alpha;$$

$$C_3 = H_0 - H_2 - 0,5h - b_3; \quad b_3 = \frac{d_3}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{B + 0,5\lambda}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Тоді

$$D_{\phi 3} = \left(H_0 - H_z - 0,5h - \frac{B + 0,5\lambda}{\operatorname{tg} \alpha} \right) \sin \alpha. \quad (14)$$

Для відхиленої гірлянди, коли монтерський стілець рухається по осі симетрії опори і досягає фазного проводу, ізоляційна відстань $D_{\phi 4}$ «монтерський стілець на проводі – внутрішній зв'язок» визначається аналогічно попередньому випадку (рис. 8):

$$D_{\phi 4} = C_4 \sin \alpha;$$

$$C_4 = H_0 - H_z - 0,5h - b_4; \quad b_4 = \frac{0,5B}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Тоді

$$D_{\phi 4} = \left(H_0 - H_z - 0,5h - \frac{0,5B}{\operatorname{tg} \alpha} \right) \sin \alpha. \quad (15)$$

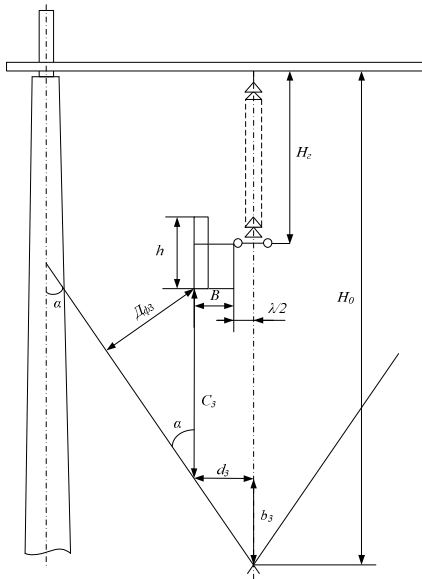


Рисунок 7 – Схема визначення $D_{\phi 3}$ середньої фази «провід – внутрішній зв'язок» при вертикальному положенні гірлянди в момент знаходження монтерського стільця на проводі

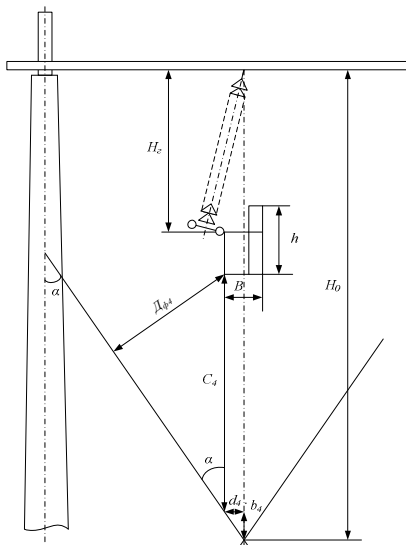


Рисунок 8 – Схема визначення $D_{\phi 4}$ середньої фази при відхиленні фазного проводу в момент знаходження монтерського стільця на проводі

Аналізуючи усі розглянуті випадки, бачимо, що для однієї опори всі розміри будуть постійними, за виключенням довжини гірлянди. 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 стоек. Для забезпечення безпеки ВРН на середній фазі необхідно знімати внутрішні зв'язки.

Виконаємо розрахунок ізоляційного проміжку «провід – стійка опори» при знятому одному внутрішньому зв'язку. Якщо траєкторія руху монтерського стільця співпадає з віссю симетрії опори, то ізоляційна відстань знаходиться по методиці визначення $D_{\phi 2}$ та $D_{\phi 4}$, оскільки відстані від обох внутрішніх зв'язків до монтерського стільця однакові і зняття будь-якого внутрішнього зв'язку не впливає на величину ізоляційного проміжку.

Розглянемо випадок, коли знятий один внутрішній зв'язок, а траєкторія руху монтерського стільця зміщена в сторону від вісі симетрії опори (рис. 9). Відстань «монтерський стілець – внутрішній зв'язок опори» в момент вирівнювання потенціалів монтерського стільця і фазного проводу визначається як:

$$D_{\phi 5} = C_5 \sin \alpha;$$

$$C_5 = H_0 - H_z - \Pi - h + b_5; \quad b_5 = \frac{d_5}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{0,5\lambda}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Тоді

$$D_{\phi 5} = \left(H_0 - H_z - \Pi - h + \frac{0,5\lambda}{\operatorname{tg} \alpha} \right) \sin \alpha. \quad (16)$$

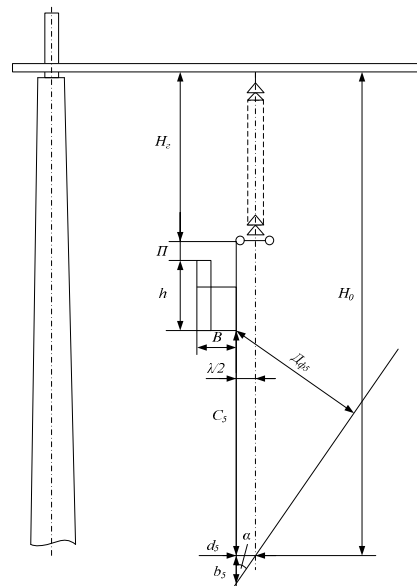


Рисунок 9 – Схема визначення $D_{\phi 5}$ середньої фази в момент вирівнювання потенціалів монтерського стільця та проводу при одному знятому внутрішньому зв'язку

Для випадку розташування монтерського стільця на проводі ізоляційний проміжок $D_{\phi 6}$ «провід – внутрішній зв’язок» визначається з рис. 10:

$$D_{\phi 6} = C_6 \sin \alpha;$$

$$C_6 = H_0 - H_z - 0,5h + b_6; \quad b_6 = \frac{d_6}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{0,5\lambda}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Тоді

$$D_{\phi 6} = \left(H_0 - H_z - 0,5h + \frac{0,5\lambda}{\operatorname{tg} \alpha} \right) \sin \alpha. \quad (17)$$

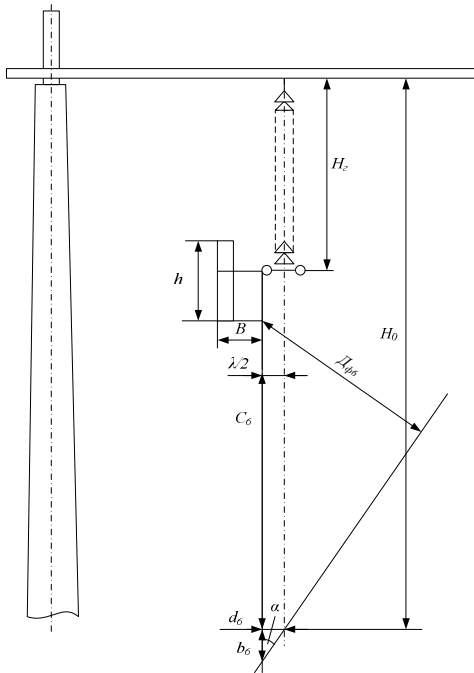


Рисунок 10 – Схема визначення $D_{\phi 6}$ середньої фази в момент знаходження монтерського стільця на проводі при одному знятому внутрішньому зв’язку

Порівнюючи отримані результати з допустимими величинами, бачимо, що і у випадку, коли знятий один внутрішній зв’язок, умови безпеки ВРН виконуються не в усіх випадках, особливо в момент вирівнювання потенціалів.

Визначимо величини ізоляційних проміжків «провід – стійка опори» при знятих обох внутрішніх зв’язках.

Для випадку, коли гірлянда знаходиться у вертикальному положенні, а монтерський стілець зміщений у сторону однієї з опор (рис. 11), фактичні відстані $D_{\phi 7}$ та $D_{\phi 8}$ визначаються за виразами:

$$D_{\phi 7} = A_0 - H_1 \operatorname{tg} \delta - B - 0,5\lambda; \quad (18)$$

$$D_{\phi 8} = A_0 - H_2 \operatorname{tg} \delta - 0,5\lambda, \quad (19)$$

де A_0 – відстань від стійки опори до осі кріплення гірлянди; δ – кут конусності опори.

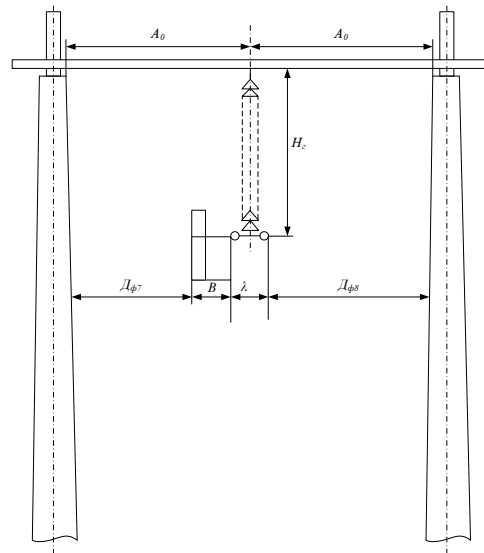


Рисунок 11 – Схема визначення величини ізоляційного проміжку «провід – стійка опори» без внутрішніх зв’язків при вертикальному положенні гірлянди ізоляторів

При відхиленій гірлянці і русі монтерського стільця по вісі симетрії опори (рис. 12) ізоляційні проміжки $D_{\phi 9}$ – «провід – стійка опори» та $D_{\phi 10}$ – «монтерський стілець – стійка опори» визначаються:

$$D_{\phi 9} = A_0 - H_z \operatorname{tg} \delta - \lambda - 0,5B; \quad (20)$$

$$D_{\phi 10} = A_0 - H_z \operatorname{tg} \delta - 0,5B. \quad (21)$$

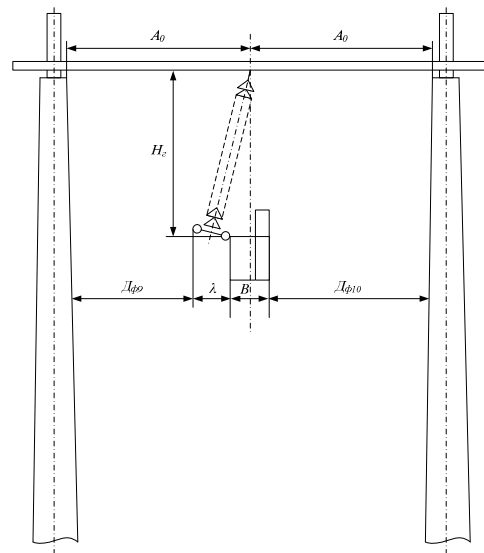


Рисунок 12 – Схема визначення величини ізоляційного проміжку «провід – стійка опори» без внутрішніх зв’язків при відхиленій гірлянці і русі монтерського стільця по вісі симетрії опори

В обох розглянутих випадках ізоляційні відстані від проводу до стійки опори і від проводу з монтерським стільцем до стійки опори визначаються тільки для моменту знаходження монтерського стільця на проводі.

Висновки. Запропоновано метод розрахунку ізоляційних проміжків «провід – стійка опори» для проміжних опор порталного типу напругою 220–750 кВ, який дає можливість оцінити ізоляційні проміжки елементів опор для формування умов безпеки при виконанні ремонтних робіт під напругою.

ЛІТЕРАТУРА

1. Типовая инструкция по работам под напряжением на промежуточных опорах и в пролетах воздушных линий электропередачи напряжением 220–750 кВ. ТИ 34-70-069-87. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1988.

2. Технологические карты производства работ под напряжением на ВЛ 220–750 кВ / Под ред. Е.И. Удада. – К.: Техника, 1988. – 200 с.

3. Буслова Н.В., Винославский В.Н., Денисенко Г.И., Перхач В.С. Электрические системы и сети. – К.: Вища школа, 1986. – 584 с.

4. Глазунов А.А., Глазунов А.А. Электрические сети и системы. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 367 с.

5. Кульматицкий О.И., Кутин В.М. Безопасность линий электропередачи. – К.: Техника, 1991. – 112 с.

Стаття надійшла 09.06.2011 р.

Рекомендовано до друку д.т.н., проф.

Сінчуком О.М.

МЕТОД РАСЧЕТА ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ ЭЛЕМЕНТОВ ОПОР НАПРЯЖЕНИЕМ 220-750 КВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ БЕЗОПАСНОГО ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТНЫХ РАБОТ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

В. М. Кутин, д.т.н., проф.

Винницкий национальный технический университет

Хмельницкое шоссе, 95, 21021, г. Винница, Украина

В. М. Стыскал, асп., инж.

Публичное акционерное общество «Винницаоблэнерго»

ул. 1-го Мая, 2, 21050, г. Винница, Украина

E-mail: styskalvm@ukr.net

Рассматривается вопрос исследования величины изоляционных промежутков «провод – стойка опоры» промежуточных опор порталного типа напряжением 220–750 кВ с целью определения безопасного производства работ под напряжением для крайней фазы.

Ключевые слова: производство работ под напряжением, изоляционные промежутки.

220-750 KV TRANSMISSION TOWERS ELEMENTS AIR INTERVALS CALCULATION METHOD FOR DETERMINATION OF HOT-LINE REPAIR WORKS SAFE IMPLEMENTATION POSSIBILITY

V. Kutin, D.Sc. (Eng.), Prof.

Vinnitsa National Technical University

Khmelnytske shose, 95, 21021, Vinnitsa, Ukraine

V. Styskal, post-grad., eng.

Public Joint Stock Company «Vinnitsaoblenergo»

vul. 1 Travnnya, 2, 21050, Vinnitsa, Ukraine

The 220–750 kV portal type intermediate transmission towers «wire - transmission tower leg» isolating intervals research question is examined with the aim hot-line works safe implementation determination for an extreme phase.

Key words: implementation of hot-line works, isolating intervals.