

Т.Ю. Антоненко¹, канд. техн. наук., ORCID 0009-0007-2388-2252
 Р.О. Буйний², канд. техн. наук., доцент, ORCID 0000-0002-5432-2924

А.О. Ворущило³, аспірант

О.В. Гай⁴, канд. техн. наук., доцент, ORCID 0000-0001-5460-7260

І.В. Петренко⁴, інженер, ORCID 0009-0009-0490-3569

О.О. Ткаченко⁵, канд. техн. наук., ORCID 0000-0001-7307-7293

¹ПАТ «ЗАВОД ПІВДЕНКАБЕЛЬ»

²Національний університет «Чернігівська політехніка»

³Інститут загальної енергетики НАН України

⁴НЕК «Укренерго»

⁵Інститут енергетичних машин і систем ім. А.М. Підгорного НАН України

ПРО ВТРАТИ ПОТУЖНОСТІ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЕКРАНАХ ОДНОЖИЛЬНИХ КАБЕЛІВ

Вибір способу заземлення екранів екструдованих кабелів середньої, високої та надвисокої напруги передбачає виконання відповідного обґрунтування, елементами якого є втрати потужності в струмовідних жилах і екранах кабелів. Встановлено, що існуючі точні методи розрахунку втрат потужності в екранах одножильних кабелів є достатньо складними, а похибка наближених методів розрахунку може сягати до 30%. Запропоновано достатньо простий алгоритм розрахунку втрат потужності у екранах одножильних кабелів, який базується на підходах стандарту ДСТУ ІЕС 60287-1-1:2009 та забезпечує прийнятну точність для інженерних розрахунків під час проєктування та експлуатації КЛ. Алгоритм враховує можливі способи розташування кабелів у траншеї КЛ: у вершинах рівностороннього трикутника впритул та у площині через один зовнішній діаметр кабелю. Він передбачає розрахунок наведених у екранах струмів, які еквівалентні за втратами потужності. Для оцінки величини технологічних витрат електричної енергії у КЛ запропоновано формули, які враховують також складову втрат у екранах кабелів для різних рівнів інформаційного забезпечення та форму графіка електричного навантаження. Наведені формули для розрахунку технологічних витрат електричної енергії справедливі за симетричного навантаження у жилах КЛ.

На підставі запропонованого алгоритму отримані значення коефіцієнтів втрат для одножильних кабелів з ізоляцією зі зшитого поліетилену середньої, високої та надвисокої напруги з алюмінієвими та мідними жилами усіх типових перерізів, що виробляються заводами-виробниками кабельної продукції. Такі значення дозволять спростити та пришвидшити розрахунки втрат потужності та технологічних витрат електричної енергії у КЛ під час їх проєктування та експлуатації. Пропонується доповнити діючу нормативну документацію запропонованим алгоритмом та таблицями із отриманими значеннями коефіцієнта втрат.

Ключові слова: кабельні лінії, екрани кабелів, втрати потужності, технологічні витрати електричної енергії.

Вступ

Плановані до будівництва об'єкти електричних мереж мають бути технічно можливими та економічно доцільними. Чинні нормативні документи з улаштування кабельних ліній електропередавання (КЛ) середньої, високої та надвисокої напруги [1-2] передбачають для кабелів з екструдованою ізоляцією зі зшитого поліетилену, кожен з яких складається щонайменше з струмовідної жили, ізоляції, екрану та зовнішньої оболонки, такі способи заземлення екранів КЛ:

- 1) з обох кінців;
- 2) з одного кінця;
- 3) з обох кінців із застосуванням їх транспозиції;
- 4) з одного кінця окремих секцій із порушенням неперервності екранів вздовж КЛ;
- 5) комбінацію способів заземлення екранів.

Оскільки [2] передбачає вибір способу улаштування електроустановки на підставі порівняння варіантів, в Україні для вибору найкращого варіанту з N можливих застосовують нормативні документи [3-4], де у якості показника ефективності використовують інтегральний ефект (IE), званий також чистим дисконтованим доходом або NPV (net present value), який обчислюють за формулою [5]:

$$IE_{t,n} = -K_n + \sum_{t=0}^t \frac{R_{t,n} - V_{t,n}}{(1+d)^t}, \quad (1)$$

де K – інвестиції за варіантом n ;

$R_{t,n}$ – вигоди, що досягаються у рік t за варіантом n ;

$V_{t,n}$ – витрати, що здійснюються у рік t за варіантом n ;

d – норма дисконту

t – рік розрахункового періоду.

Найкращий варіант досягає найбільшого IE протягом розрахункового періоду і має, зазвичай, найменший термін окупності.

Спосіб заземлення екранів впливає як на склад і вартість використовуваного обладнання (реалізація способів 2-5 пов'язана з використанням спеціальних муфт і обмежувачів перенапруги нелінійних – ОПН), так і пропускну здатність кабелів КЛ і технологічні витрати електричної енергії (реалізація способу 1 обмежує максимальний струм кабелів через їх додатковий нагрів струмами, що протікають в їх екранах). Це робить розрахунок втрат потужності і енергії важливим елементом обґрунтування вибору способу заземлення екранів кабелів КЛ.

Відповідно до [1-2] заземлення оболонки (екранів) кабелів з обох кінців КЛ використовують у випадках, коли не встановлено спеціальних вимог щодо підвищення пропускну спроможності кабелів або обмеження втрат електроенергії в струмопровідних оболонках (екранах). Згідно з Главою 2.3 ПУЕ цей спосіб слід обов'язково застосовувати для кабельних вставок у ПЛ, якщо вставки мають вихід кабелів на конструкції повітряно-кабельного з'єднання (ПКЗ) з обох кінців (це дає змогу обслуговувати лінійну частину ПКЗ без зняття напруги). У випадках заземлення оболонки (екранів) кабелів з обох кінців КЛ (кабельної вставки) необхідно виконувати перевірку їх стійкості щодо протікання [1-2]:

– тривалих струмів, обумовлених протіканням струмів у жилах кабелів в нормальному режимі роботи;

– тривалих струмів у разі однофазного замикання на землю (ОЗЗ) в мережі з ізолюваною нейтраллю;

– короточасних струмів, обумовлених ОЗЗ в мережі з ефективно або глухозаземленою нейтраллю.

Для КЛ напругою від 6 кВ до 330 кВ у разі заземлення струмопровідних екранів кабелів з обох кінців (спосіб 1) потрібно перевіряти номінальний переріз екрана за значенням наведеного струму від протікання жилою КЛ струму нормального робочого режиму.

Розрахунок наведених струмів в екранах кабелів у разі заземлення струмопровідних екранів кабелів з обох кінців при розташуванні кабелів за схемою «у трикутник» впритул один до одного та за схемою «у площині» на відстані одного діаметра між кабелями унормовано пунктом 2.3.122 ПУЕ-2017 [2], а саме:

«Для КЛ напругою від 6 кВ до 330 кВ у разі заземлення струмопровідних екранів кабелів з обох кінців (див. 2.3.124, спосіб 1) потрібно перевіряти номінальний переріз екрана за значенням наведеного струму від протікання жилою КЛ струму нормального робочого режиму. Значення наведеного струму в екрані в разі розташування кабелів за схемою «у трикутник» впритул один до одного визначають за формулою:

$$I_E = I_{KL} \sqrt{\frac{0,0019}{R_{70}^2 + 0,0019}}, \quad (2.3.2)$$

де I_E – наведений струм екрана, А;

I_{KL} – максимальний робочий струм КЛ, А;

R_{70} – питомий активний опір екрана кабелю за температури 70 °С, Ом/км.

Питомий активний опір екрана кабелю розраховують множенням значення опору за стандартної температури 20 °С на коефіцієнт 1,19 для екрана із міді і 1,2 – для екрана з алюмінію.

Значення наведеного струму в екрані в разі розташування кабелів за схемою «у площині» на відстані одного діаметра між кабелями визначають за формулою:

$$I_E = I_{KL} \sqrt{0,75 \frac{0,017}{R_{70}^2 + 0,017} + 0,25 \frac{0,01}{R_{70}^2 + 0,01}}, \quad (2.3.3)$$

де I_E , I_{KL} , R_{70} – параметри відповідно до формули (2.3.2).

Якщо КЛ напругою від 6 кВ до 35 кВ приєднують до РУ ПС, яка має інші РУ напругою 110 кВ і вище, то номінальний переріз струмопровідних екранів кабелю, який заземлюють з обох кінців приєднанням до заземлювачів ПС, потрібно додатково перевіряти на можливу максимальну величину протікання в них струму однофазного КЗ, яке може виникнути на РУ напругою 110 кВ і вище».

Схожі розрахункові співвідношення використовують автори в [6-8]. Підходи, викладені в [9-10], є складними для використання в інженерній практиці (вимагають спеціалізованого програмного забезпечення), а [11], не зважаючи на анонсовану сферу застосування, взагалі не розглядає питання визначення втрат потужності і енергії в екранах кабелів КЛ. Разом з тим, як показано в [12], похибки відомих наближених розрахунків струмів в екранах кабелів можуть сягати 30%, що не може задовольнити потреби практики.

Метою дослідження є пошук компромісу між точністю та складністю розрахунків втрат електричної потужності та енергії в КЛ загалом і зокрема в екранах одножильних кабелів з екструдованою ізоляцією.

Завданнями досліджень є спрощення наведених у [13] співвідношень для інженерних розрахунків і визначення коефіцієнту втрат в екранах кабелів λ для передбачених в [1, 2] способів прокладання у вигляді таблиць, в яких λ є функцією матеріалу і перерізу жили кабелю, перерізу екрану та способу прокладання.

Матеріал і результати досліджень.

Співвідношення для сил струмів і втрат потужності

Згідно з [13] значення коефіцієнта втрат в оболонці або екрані λ_1 отримують шляхом додавання значень коефіцієнтів втрат λ'_1 , які обумовлені поздовжніми струмами оболонок чи екранів, та вихровими струмами λ''_1 наступним чином:

$$\lambda_1 = \lambda'_1 + \lambda''_1. \quad (2)$$

Відповідно до [13] $\lambda''_1 = 0$ (за винятком кабелів великого перерізу із сегментними жилами типу Мілікен). Для одножильних кабелів з оболонками, з'єднаними з обох кінців електричної секції, слід враховувати лише втрати внаслідок поздовжніх струмів в оболонках (електричною секцією вважають частину траси між точками, в яких з'єднані оболонки або екрани всіх кабелів КЛ).

Втрати в оболонці кабелю обчислюють через загальні втрати у жилі (жилах) із зазначенням у кожному окремому випадку конкретного виду втрат. Для трьох одножильних кабелів (розташованих трикутником), оболонки яких з'єднані на обох кінцях секції, коефіцієнт втрат λ'_1 обчислюють за простою формулою:

$$\lambda'_1 = \frac{R_{\text{екр}}}{R_{\text{жили}}} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{R_{\text{екр}}}{X_E}\right)^2} = \frac{R_{\text{екр}}}{R_{\text{жили}}} \cdot \frac{1}{\frac{X_E^2 + R_{\text{екр}}^2}{X_E^2}} = \frac{R_{\text{екр}}}{R_{\text{жили}}} \cdot \frac{X_E^2}{X_E^2 + R_{\text{екр}}^2}, \quad (3)$$

де X_E – питомий індуктивний опір екрана, Ом/км;

$R_{\text{екр}}$ – питомий активний опір екрана, Ом/км;

$R_{\text{жили}}$ – питомий активний опір жили кабелю, Ом/км.

Значення $R_{\text{екр}}$ і $R_{\text{жили}}$ для температури 70°C і 90°C відповідно приймають за каталогом виробника.

Питомий індуктивний опір екрана, в Ом/км, розраховують за формулою:

$$X_E = 2 \cdot \omega \cdot 10^{-4} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot s}{d_E} \right), \quad (4)$$

де s – середня геометрична відстань між центрами жил кабелів, мм;

d_E – середній діаметр екрану, мм;

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ – кутова частота, рад/с.

Середній діаметр екрану приймають за даними виробника або розраховують за формулою (рис. 1):

$$d_E = D_K - (2 \cdot \delta_o + 2 \cdot \delta_3 + \delta_E), \quad (5)$$

де D_K – зовнішній діаметр кабелю, мм;

δ_o – товщина зовнішньої захисної оболонки кабелю, мм;

δ_3 – загальна товщина шарів між екраном і зовнішньою захисною оболонкою кабелю, мм;

δ_E – товщина екрану, мм.

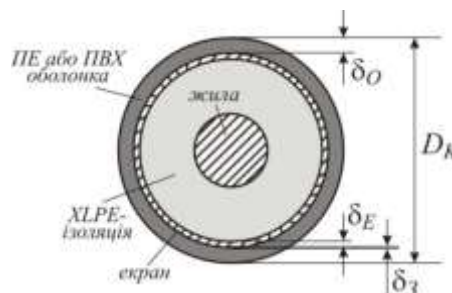


Рисунок 1 – Конструкція одножильного кабелю з ізоляцією зі зшитого поліетилену

За розташування кабелів впритул у вершинах рівностороннього трикутника (рис.2,а) застосовують $s = D_K$, де D_K – зовнішній діаметр кабелю, мм.

Як випливає з наведеного, обчислення коефіцієнту втрат (відповідно і втрат в екранах кабелів) не викликає труднощів у разі розташування кабелів за схемою «у трикутник» впритул.

У разі розташування трьох одножильних кабелів у площині (рис.2, б), де середній кабель рівновіддалений від крайніх, відповідно до [13] розрахунки втрат в екранах ускладнюються.

Коефіцієнт втрат для зовнішнього кабелю з найбільшими втратами (зовнішнього кабелю, що несе відстаючу фазу) λ'_{11} обчислюють за формулою:

$$\lambda'_{11} = \frac{R_{\text{екр}}}{R_{\text{жили}}} \cdot \left[\frac{A^2}{R_{\text{екр}}^2 + A^2} + \frac{0,25 \cdot B^2}{R_{\text{екр}}^2 + B^2} + \frac{2 \cdot R_{\text{екр}} \cdot A \cdot B \cdot X_M}{\sqrt{3} \cdot (R_{\text{екр}}^2 + A^2) \cdot (R_{\text{екр}}^2 + B^2)} \right]; \quad (6)$$

коефіцієнт втрат λ'_{12} для зовнішнього кабелю з найменшими втратами обчислюють за формулою:

$$\lambda'_{12} = \frac{R_{\text{екр}}}{R_{\text{жили}}} \cdot \left[\frac{A^2}{R_{\text{екр}}^2 + A^2} + \frac{0,25 \cdot B^2}{R_{\text{екр}}^2 + B^2} - \frac{2 \cdot R_{\text{екр}} \cdot A \cdot B \cdot X_M}{\sqrt{3} \cdot (R_{\text{екр}}^2 + A^2) \cdot (R_{\text{екр}}^2 + B^2)} \right], \quad (7)$$

а для середнього кабелю коефіцієнт втрат λ'_{1M} обчислюють за формулою:

$$\lambda'_{1M} = \frac{R_{\text{екр}}}{R_{\text{жили}}} \cdot \frac{B^2}{R_{\text{екр}}^2 + B^2}. \quad (8)$$

В рівняннях (6) – (8) згідно з [13]:

$$A = X_E + X_M, \quad (9)$$

$$B = X_E - \frac{X_M}{3}, \quad (10)$$

$$X_M = 2 \cdot \omega \cdot 10^{-4} \cdot \ln(2) = 0,044. \quad (11)$$

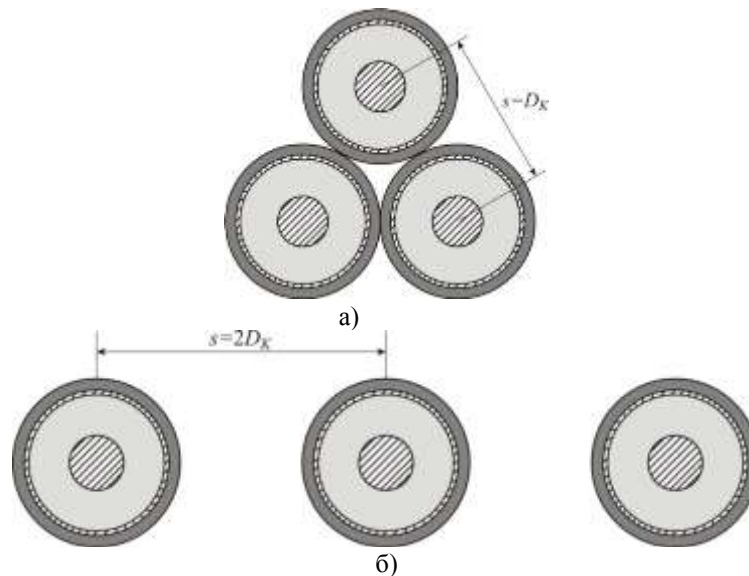


Рисунок 2 – Унормовані розташування кабелів у траншеї [1-2, 14-15]

Як видно, відповідно до [13] порядок розрахунку втрат в екранах одножильних кабелів, розташованих у площині, передбачає послідовне обчислення:

- 1) X_E і X_M ;
- 2) A і B ;
- 3) λ'_{11} , λ'_{12} і λ'_{1M} ;
- 4) струму фази кабелю I ;
- 5) втрат потужності в жилі кабелю ΔP_C ;
- 6) втрат потужності в екрані кожної i -ї фази кабелю ΔP_{Si} ;
- 7) сумарних втрат потужності в КЛ $\Delta P_{\text{КЛ}}$.

Не порушуючи принципів [13] цей порядок можна дещо спростити, якщо увести поняття еквівалентного коефіцієнта втрат $\lambda_{\text{площина}}$, який для передбаченого [1-2, 14-15] випадку розташування кабелів «у площині» через діаметр (коли $s = 2 \cdot D_K$) обчислюється за формулою:

$$\lambda_{\text{площина}} = \frac{\lambda'_{11} + \lambda'_{12} + \lambda'_{1M}}{3} = \frac{1}{3} \cdot \frac{R_{\text{екр}}}{R_{\text{жили}}} \cdot \left(\left[\frac{A^2}{R_{\text{екр}}^2 + A^2} + \frac{0,25 \cdot B^2}{R_{\text{екр}}^2 + B^2} + \frac{2 \cdot R_{\text{екр}} \cdot A \cdot B \cdot X_M}{\sqrt{3} \cdot (R_{\text{екр}}^2 + A^2) \cdot (R_{\text{екр}}^2 + B^2)} \right] + \left[\frac{A^2}{R_{\text{екр}}^2 + A^2} + \frac{0,25 \cdot B^2}{R_{\text{екр}}^2 + B^2} - \frac{2 \cdot R_{\text{екр}} \cdot A \cdot B \cdot X_M}{\sqrt{3} \cdot (R_{\text{екр}}^2 + A^2) \cdot (R_{\text{екр}}^2 + B^2)} \right] + \frac{B^2}{R_{\text{екр}}^2 + B^2} \right) = \frac{1}{3} \cdot \frac{R_{\text{екр}}}{R_{\text{жили}}} \cdot \left(\frac{3 \cdot A^2 \cdot B^2 + 1,5 \cdot R_{\text{екр}}^2 \cdot (A^2 + B^2)}{(A^2 + R_{\text{екр}}^2) \cdot (B^2 + R_{\text{екр}}^2)} \right) = \frac{R_{\text{екр}}}{R_{\text{жили}}} \cdot \left(\frac{A^2 \cdot B^2 + 0,5 \cdot R_{\text{екр}}^2 \cdot (A^2 + B^2)}{(A^2 + R_{\text{екр}}^2) \cdot (B^2 + R_{\text{екр}}^2)} \right). \quad (12)$$

За симетричного навантаження загальні втрати в кабелях $\Delta P_{\text{КЛ}}$ у разі заземлення їх екранів з обох кінців КЛ не перевищить значення, обчисленого за формулою:

$$\Delta P_{\text{КЛ}} = 3 \cdot I_{\text{Ж}}^2 \cdot R_{\text{Ж}(+90^\circ\text{C})} \cdot (1 + \lambda), \quad (13)$$

де $I_{\text{Ж}}$ – сила струму в жилі кабелю, А.

Коефіцієнт втрат λ обчислюють за (3) – у разі розташування кабелів за схемою «у трикутник» впритул або за (12) – у разі розташування кабелів за схемою «у площині» через діаметр.

Отже, з використанням (12) алгоритм обрахування втрат потужності в екранах одножильних кабелів, розташованих у площині, скорочується і передбачає послідовне обчислення:

- 1) X_E і X_M ;
- 2) A і B ;
- 3) $\lambda_{\text{площина}}$;
- 4) струму фази кабелю I ;
- 5) сумарних втрат в КЛ $\Delta P_{\text{кл}}$.

Еквівалентне за втратами в екранах КЛ значення наведеної в екранах сили струму I_{EE} у разі розташування кабелів за схемою «у площині» визначають за формулою:

$$I_{EE} = I_{\text{ж}} \cdot \sqrt{\frac{A^2 \cdot B^2 + 0,5 \cdot (A^2 + B^2) \cdot R_{E(+70^\circ\text{C})}^2}{(A^2 + R_{E(+70^\circ\text{C})}^2) \cdot (B^2 + R_{E(+70^\circ\text{C})}^2)}} = I_{\text{ж}} \cdot \sqrt{\lambda}, \quad (14)$$

а найбільше значення сили струму в екрані кабелю відстаючої фази обчислюють за формулою:

$$I_{E \max} = k \cdot I_{EE}, \quad (15)$$

де $k = 1,16$ – коефіцієнт, визначений за наведеними вище співвідношеннями.

У таблицях додатку до цієї публікації наведено значення коефіцієнтів втрат λ для одножильних кабелів середньої, високої та надвисокої напруги з ізоляцією зі зшитого поліетилену з алюмінієвими та мідними жилами, якими передбачено доповнити [11]. Значення параметрів кабелів, які було використано у розрахунках наведених в додатку коефіцієнтів втрат λ , було прийнято згідно з [14-15].

Відповідно до [11] втрати енергії в елементах електричних мереж належить обраховувати з урахуванням форми графіка навантаження. За рівня інформаційного забезпечення А і симетричного навантаження втрати активної енергії в КЛ, у кВт·год, пропонується обчислювати за формулою:

$$\Delta W_{\text{кл}}^P = 3 \cdot I_{\text{ж}}^2 \cdot R_{\text{ж}(+90^\circ\text{C})} \cdot k_{\Phi}^2 \cdot T_p \cdot (1 + \lambda) \cdot 10^{-3}, \quad (16)$$

де k_{Φ}^2 – квадрат коефіцієнта форми графіка навантаження КЛ [11, 17];

T_p – час роботи КЛ під навантаженням, годин.

За рівня інформаційного забезпечення Б і симетричного навантаження втрати активної енергії в КЛ, у кВт·год, за час від T_1 до T_2 , пропонується обчислювати за формулою:

$$\Delta W_{\text{кл}}^P = 3 \cdot (1 + \lambda) \cdot 10^{-3} \cdot \sum_{T_1}^{T_2} (I_{\text{ж}t}^2 \cdot \Delta T_t \cdot R_{\text{ж}t}), \quad (17)$$

де $I_{\text{ж}t}$ – діюче значення сили струму навантаження жили кабелю протягом t -го проміжку часу з умовно сталим навантаженням;

ΔT_t – тривалість t -го проміжку часу з умовно сталим навантаженням за час від T_1 до T_2 ;

$R_{\text{ж}t}$ – активний опір жили кабелю протягом t -го проміжку часу з умовно сталим навантаженням.

Примітка 1. В [11, 17] значення k_{Φ}^2 наведено для $\Delta T_t = 1$ год.

Примітка 2. У разі відсутності відомостей щодо $R_{\text{ж}t}$ дозволено застосовувати $R_{\text{ж}t} = R_{\text{ж}(+90^\circ\text{C})}$, що дає верхню границю можливих втрат активної енергії.

Висновок. Використання коефіцієнтів втрат λ , наведених у таблицях додатку, спрощує розрахунки втрат потужності та енергії в кабелях без втрати точності.

Список використаної літератури

1. СОУ-Н МЕВ 40.1-37471933-49:2011 Проектування кабельних ліній напругою до 330 кВ. Настанова (зі змінами) (в редакції Наказу Міненергосистеми 26.01.2017 № 82)
2. ПУЕ-2017 Правила улаштування електроустановок.
3. ГKD 340.000.002-97 Визначення економічної ефективності капітальних вкладень в енергетику. Методика. Енергосистеми і електричні мережі.
4. Примірний методика визначення вартості життєвого циклу, затверджена наказом Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України від 28.09.2020 № 1894
5. Ильин Н.М., Лукманова И.Г и др. Управление проектами. – СПб.: «Два-Три», 1996. – 610 с.
6. Методичні вказівки ЦЕП.МУ1-2019 Проектування заземлення екранів кабелів ЗПЕ в мережах 6 - 35 кВ. Дніпро: «Енергопроект». – 2019. – 26 с.
7. Методичні вказівки ЦЕП.МУ2-2019 Проектування заземлення екранів кабелів ЗПЕ в мережах 110 - 330 кВ. Дніпро: «Енергопроект». – 2019. – 20 с.
8. Щепенюк Л.А., Антоненко Т.Ю. До визначення пропускної спроможності високовольтних силових кабелів з пластмасовою ізоляцією // Вісник НТУ «ХПІ». – 2011. – №3. – С. 152-157.
9. Быстров А.В. Разработка методики выбора энергоэффективной системы заземления экранов одножильных силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 6-500 кВ: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» / А.В. Быстров. – Москва, 2014. – 20 с.

10. Дмитриев М.В. Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6-500 кВ. – Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета, 2010. – 154 с.
11. СОУ-Н ЕЕ 40.1-37471933-82:2013 Методичні рекомендації визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання
12. Grinchenko V.S., Tkachenko O.O., Grinchenko N.V. Improving calculation accuracy of currents in cable shields at double-sided grounding of three-phase cable line //Електротехніка і Електромеханіка. – 2017. – №2. – С. 39-42. doi: 10.20998/2074-272X.2017.2.06
13. ДСТУ ІЕС 60287-1-1:2009 (ІЕС 60287-1-1:2001, IDT) Кабелі електричні. Обчислення номінальної сили струму. Частина 1-1. Співвідношення для обчислення номінальної сили струму (коефіцієнт навантаження 100%) і обчислення втрат. Загальні положення.
14. YUZHNCABLE. Силові кабелі з ізоляцією зі зшитого поліетилену на напругу від 6 до 35 кВ. [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <https://yuzhcable.com.ua/downloads-ukr/>
15. YUZHNCABLE. Силові кабелі з ізоляцією зі зшитого поліетилену на напругу від 45 до 330 кВ. [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <https://yuzhcable.com.ua/downloads-ukr/>
16. Альбом типових графіків електричних навантажень електричних мереж, затверджений наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 06.04.2017 № 267. [Електронний ресурс]. Режим доступу до сайту: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245201705.

Додаток

Таблиця 1 – Значення коефіцієнта втрат λ для одножильних кабелів середньої напруги з ізоляцією зі зшитого поліетилену з алюмінієвими жилами

Переріз жил мм ²	У разі розташування кабелів «трикутником впритул» за перерізу екрану, мм ²								У разі розташування кабелів «в площині через діаметр» за перерізу екрану, мм ²							
	16	25	35	50	70	95	120	150	16	25	35	50	70	95	120	150
на напругу 10 кВ																
35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.07
70	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.09	0.10
95	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.12	0.13	0.14
120	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.03	0.05	0.07	0.09	0.12	0.15	0.16	0.17
150	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.04	0.06	0.08	0.11	0.14	0.18	0.20	0.21
185	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.09	0.05	0.07	0.10	0.13	0.18	0.22	0.24	0.26
240	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.10	0.11	0.06	0.1	0.13	0.17	0.23	0.29	0.32	0.34
300	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.12	0.14	0.08	0.12	0.16	0.21	0.28	0.35	0.39	0.41
400	0.02	0.03	0.05	0.06	0.09	0.12	0.14	0.17	0.1	0.15	0.20	0.27	0.36	0.44	0.49	0.52
500	0.03	0.04	0.06	0.08	0.11	0.15	0.18	0.22	0.13	0.19	0.26	0.34	0.46	0.57	0.63	0.67
630	0.03	0.05	0.07	0.09	0.13	0.18	0.22	0.27	0.16	0.24	0.33	0.43	0.57	0.70	0.78	0.83
800	0.04	0.06	0.09	0.12	0.17	0.22	0.27	0.32	0.20	0.3	0.41	0.53	0.72	0.89	0.99	1.05
1000	0.05	0.08	0.11	0.14	0.20	0.28	0.34	0.40	0.25	0.38	0.52	0.68	0.91	1.13	1.26	1.34
на напругу 20 кВ																
35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07
70	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.09	0.10
95	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.13
120	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11	0.14	0.16	0.17
150	0.00	0.01	0.02	0.02	0.04	0.05	0.06	0.07	0.04	0.06	0.08	0.11	0.14	0.17	0.19	0.20
185	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.05	0.07	0.1	0.13	0.17	0.22	0.24	0.25
240	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.09	0.11	0.06	0.09	0.13	0.17	0.23	0.28	0.31	0.33
300	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.08	0.12	0.16	0.21	0.28	0.34	0.38	0.41
400	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.12	0.14	0.17	0.10	0.15	0.2	0.26	0.35	0.44	0.49	0.52
500	0.03	0.04	0.06	0.07	0.11	0.14	0.18	0.21	0.13	0.19	0.26	0.33	0.45	0.55	0.61	0.65
630	0.03	0.05	0.07	0.09	0.13	0.18	0.22	0.26	0.16	0.24	0.32	0.42	0.57	0.70	0.78	0.83
800	0.04	0.06	0.08	0.11	0.16	0.22	0.27	0.32	0.20	0.30	0.4	0.53	0.71	0.88	0.98	1.04
1000	0.05	0.08	0.11	0.14	0.20	0.28	0.34	0.40	0.25	0.38	0.51	0.67	0.90	1.12	1.25	1.33
на напругу 35 кВ																
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.06	0.06	0.06
70	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.09	0.09
95	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.02	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11	0.12	0.13
120	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.03	0.05	0.06	0.08	0.11	0.14	0.15	0.16
150	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.04	0.06	0.08	0.10	0.14	0.17	0.19	0.20

Таблиця 1 – Значення коефіцієнта втрат λ для одножильних кабелів середньої напруги з ізоляцією зі зшитого поліетилену з алюмінієвими жилами (продовження)

Переріз жили, мм ²	У разі розташування кабелів «трикутником впритул» за перерізу екрану, мм ²									У разі розташування кабелів «в площині через діаметр» за перерізу екрану, мм ²								
	16	25	35	50	70	95	120	150		16	25	35	50	70	95	120	150	
185	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08		0.05	0.07	0.10	0.13	0.17	0.21	0.23	0.25	
240	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.10		0.06	0.09	0.13	0.16	0.22	0.28	0.31	0.32	
300	0.02	0.02	0.03	0.05	0.06	0.09	0.11	0.13		0.08	0.11	0.16	0.20	0.27	0.34	0.38	0.40	
400	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.11	0.13	0.16		0.10	0.15	0.20	0.26	0.35	0.43	0.48	0.51	
500	0.03	0.04	0.05	0.07	0.10	0.14	0.17	0.20		0.12	0.18	0.25	0.33	0.44	0.55	0.61	0.65	
630	0.03	0.05	0.07	0.09	0.13	0.17	0.21	0.25		0.15	0.23	0.32	0.42	0.56	0.69	0.77	0.82	
800	0.04	0.06	0.08	0.11	0.16	0.22	0.26	0.31		0.19	0.29	0.40	0.52	0.70	0.87	0.97	1.03	
1000	0.05	0.07	0.10	0.14	0.20	0.27	0.33	0.39		0.25	0.38	0.51	0.67	0.90	1.12	1.25	1.33	

Таблиця 2 – Значення коефіцієнта втрат λ для одножильних кабелів високої напруги з ізоляцією зі зшитого поліетилену з алюмінієвими жилами

Переріз жили, мм ²	У разі розташування кабелів «трикутником впритул» за перерізу екрану, мм ²						У разі розташування кабелів «в площині через діаметр» за перерізу екрану, мм ²					
	95	120	150	185	240	300	95	120	150	185	240	300
на напругу 110 кВ												
185	0.06	0.07	0.08	0.1	0.11	0.12	0.21	0.24	0.25	0.26	0.25	0.23
240	0.07	0.09	0.11	0.12	0.14	0.16	0.28	0.31	0.33	0.33	0.32	0.30
300	0.09	0.11	0.13	0.15	0.18	0.19	0.34	0.38	0.41	0.41	0.40	0.38
350	0.10	0.12	0.15	0.17	0.20	0.22	0.38	0.43	0.45	0.46	0.45	0.42
400	0.11	0.14	0.16	0.19	0.23	0.25	0.44	0.48	0.51	0.53	0.51	0.48
500	0.14	0.17	0.21	0.24	0.28	0.31	0.55	0.62	0.65	0.67	0.65	0.61
630	0.18	0.22	0.26	0.31	0.36	0.39	0.70	0.78	0.83	0.85	0.83	0.78
800	0.22	0.27	0.32	0.38	0.45	0.49	0.88	0.98	1.05	1.08	1.05	0.98
1000	0.28	0.34	0.4	0.47	0.56	0.61	1.12	1.25	1.33	1.37	1.34	1.26
1200	0.33	0.40	0.47	0.56	0.66	0.73	1.33	1.48	1.58	1.62	1.59	1.49
1400	0.37	0.45	0.53	0.63	0.75	0.82	1.51	1.68	1.8	1.85	1.81	1.70
1600	0.41	0.5	0.59	0.7	0.83	0.92	1.69	1.88	2.01	2.07	2.02	1.90
2000	0.51	0.62	0.74	0.87	1.03	1.14	2.10	2.34	2.5	2.58	2.52	2.38
на напругу 150 кВ												
300	0.08	0.1	0.12	0.14	0.17	0.19	0.34	0.37	0.4	0.41	0.40	0.37
350	0.09	0.12	0.14	0.16	0.19	0.21	0.38	0.42	0.44	0.46	0.45	0.42
400	0.11	0.13	0.16	0.18	0.22	0.24	0.43	0.48	0.51	0.52	0.51	0.48
500	0.14	0.17	0.20	0.23	0.27	0.30	0.54	0.61	0.65	0.66	0.65	0.61
630	0.17	0.21	0.25	0.30	0.35	0.38	0.69	0.77	0.82	0.85	0.82	0.77
800	0.22	0.26	0.31	0.37	0.44	0.48	0.87	0.97	1.04	1.07	1.04	0.98
1000	0.27	0.33	0.40	0.47	0.55	0.61	1.12	1.24	1.33	1.37	1.33	1.26
1200	0.32	0.39	0.47	0.55	0.65	0.72	1.32	1.47	1.57	1.62	1.58	1.49
1400	0.36	0.44	0.53	0.62	0.74	0.82	1.50	1.68	1.79	1.85	1.80	1.70
1600	0.40	0.49	0.59	0.70	0.83	0.91	1.68	1.88	2.00	2.06	2.02	1.90
2000	0.50	0.61	0.73	0.86	1.03	1.13	2.10	2.34	2.50	2.57	2.52	2.37

Таблиця 3 – Значення коефіцієнта втрат λ для одножильних кабелів надвисокої напруги з ізоляцією зі зшитого поліетилену з алюмінієвими жилами

Переріз жили, мм ²	У разі розташування кабелів «трикутником впритул» за перерізу екрану, мм ²				У разі розташування кабелів «в площині через діаметр» за перерізу екрану, мм ²			
	95	120	150	185	95	120	150	185
на напругу 220 кВ								
400	0.11	0.14	0.17	0.19	0.44	0.49	0.52	0.53
500	0.14	0.18	0.21	0.25	0.56	0.62	0.66	0.67
630	0.18	0.22	0.26	0.31	0.71	0.79	0.84	0.86
800	0.23	0.28	0.33	0.39	0.89	0.99	1.06	1.08

Таблиця 3 – Значення коефіцієнта втрат λ для одножильних кабелів надвисокої напруги з ізоляцією зі зшитого поліетилену з алюмінієвими жилами (продовження)

Переріз жили, мм ²	У разі розташування кабелів «трикутником впритул» за перерізу екрану, мм ²				У разі розташування кабелів «в площині через діаметр» за перерізу екрану, мм ²			
	95	120	150	185	95	120	150	185
1000	0.29	0.35	0.42	0.49	1.14	1.27	1.35	1.39
1200	0.34	0.41	0.49	0.58	1.35	1.50	1.60	1.64
1400	0.38	0.47	0.56	0.66	1.53	1.71	1.82	1.87
1600	0.43	0.52	0.62	0.73	1.72	1.91	2.04	2.09
на напругу 330 кВ								
500	0.14	0.17	0.20	0.24	0.55	0.61	0.65	0.67
630	0.18	0.21	0.25	0.3	0.7	0.78	0.83	0.85
800	0.22	0.27	0.32	0.38	0.88	0.98	1.04	1.07
1000	0.28	0.34	0.41	0.48	1.13	1.26	1.34	1.38
1200	0.33	0.40	0.48	0.57	1.34	1.49	1.59	1.63
1400	0.37	0.46	0.54	0.64	1.52	1.69	1.81	1.86
1600	0.42	0.51	0.61	0.71	1.70	1.89	2.02	2.08

Таблиця 4 – Значення коефіцієнта втрат λ для одножильних кабелів середньої напруги з ізоляцією зі зшитого поліетилену з мідними жилами

Пере- різ жили мм ²	У разі розташування кабелів «трикутником впритул» за перерізу екрану, мм ²									У разі розташування кабелів «в площині через діаметр» за перерізу екрану, мм ²								
	16	25	35	50	70	95	120	150		16	25	35	50	70	95	120	150	
на напругу 10 кВ																		
35	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.08		
50	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.10	0.11	0.12		
70	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.03	0.05	0.07	0.09	0.12	0.14	0.16	0.16		
95	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.04	0.07	0.09	0.12	0.16	0.19	0.21	0.23		
120	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.10	0.05	0.08	0.11	0.15	0.19	0.24	0.27	0.28		
150	0.02	0.02	0.03	0.04	0.06	0.09	0.10	0.12	0.07	0.10	0.14	0.18	0.24	0.29	0.32	0.34		
185	0.02	0.03	0.04	0.05	0.08	0.10	0.13	0.15	0.08	0.12	0.17	0.22	0.30	0.36	0.40	0.43		
240	0.02	0.04	0.05	0.07	0.10	0.13	0.16	0.19	0.11	0.16	0.22	0.29	0.38	0.48	0.53	0.56		
300	0.03	0.04	0.06	0.08	0.12	0.16	0.19	0.23	0.13	0.20	0.27	0.35	0.47	0.58	0.65	0.68		
400	0.04	0.05	0.08	0.10	0.14	0.19	0.24	0.28	0.17	0.25	0.34	0.44	0.59	0.74	0.82	0.87		
500	0.05	0.07	0.10	0.13	0.18	0.25	0.30	0.35	0.21	0.32	0.43	0.56	0.75	0.94	1.04	1.10		
630	0.05	0.08	0.11	0.15	0.22	0.30	0.36	0.43	0.26	0.39	0.53	0.70	0.93	1.15	1.28	1.36		
800	0.07	0.10	0.14	0.18	0.26	0.35	0.43	0.51	0.31	0.47	0.64	0.84	1.13	1.41	1.57	1.67		
1000	0.08	0.12	0.17	0.23	0.32	0.44	0.54	0.64	0.40	0.61	0.82	1.08	1.45	1.80	2.00	2.13		
на напругу 20 кВ																		
35	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.08		
50	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.10	0.11	0.11		
70	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.03	0.05	0.06	0.08	0.11	0.14	0.15	0.16		
95	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.04	0.06	0.09	0.11	0.15	0.19	0.21	0.22		
120	0.01	0.02	0.03	0.03	0.05	0.06	0.08	0.09	0.05	0.08	0.11	0.14	0.19	0.24	0.26	0.28		
150	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.10	0.11	0.07	0.10	0.13	0.17	0.23	0.29	0.32	0.34		
185	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.10	0.12	0.14	0.08	0.12	0.17	0.22	0.29	0.36	0.40	0.42		
240	0.02	0.03	0.05	0.06	0.09	0.13	0.15	0.18	0.10	0.16	0.21	0.28	0.38	0.46	0.51	0.54		
300	0.03	0.04	0.06	0.08	0.11	0.15	0.18	0.22	0.13	0.19	0.26	0.34	0.46	0.57	0.63	0.67		
400	0.03	0.05	0.07	0.10	0.14	0.19	0.24	0.28	0.16	0.25	0.33	0.44	0.59	0.73	0.81	0.86		
500	0.04	0.07	0.09	0.12	0.17	0.24	0.29	0.34	0.21	0.31	0.42	0.55	0.74	0.91	1.01	1.08		
630	0.05	0.08	0.11	0.15	0.21	0.29	0.35	0.42	0.26	0.39	0.52	0.69	0.92	1.15	1.28	1.36		
800	0.06	0.1	0.13	0.18	0.25	0.35	0.43	0.51	0.31	0.47	0.64	0.83	1.12	1.39	1.55	1.65		
1000	0.08	0.12	0.17	0.23	0.32	0.44	0.54	0.64	0.40	0.60	0.81	1.06	1.43	1.77	1.97	2.10		
на напругу 35 кВ																		
50	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09	0.10	0.11		
70	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.03	0.05	0.06	0.08	0.11	0.13	0.15	0.16		

Таблиця 4 – Значення коефіцієнта втрат λ для одножильних кабелів середньої напруги з ізоляцією зі зшитого поліетилену з мідними жилами (продовження)

Переріз жили мм ²	У разі розташування кабелів «трикутником впритул» за перерізу екрану, мм ²								У разі розташування кабелів «в площині через діаметр» за перерізу екрану, мм ²							
95	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.04	0.06	0.08	0.11	0.15	0.18	0.20	0.21
120	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07	0.09	0.05	0.08	0.11	0.14	0.18	0.23	0.25	0.27
150	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11	0.06	0.09	0.13	0.17	0.23	0.28	0.31	0.33
185	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.08	0.12	0.16	0.21	0.28	0.35	0.39	0.41
240	0.02	0.03	0.05	0.06	0.09	0.12	0.14	0.17	0.10	0.15	0.21	0.27	0.37	0.46	0.51	0.54
300	0.03	0.04	0.06	0.07	0.11	0.15	0.18	0.21	0.13	0.19	0.26	0.34	0.45	0.56	0.62	0.66
400	0.03	0.05	0.07	0.09	0.13	0.18	0.22	0.26	0.16	0.24	0.33	0.43	0.57	0.72	0.80	0.85
500	0.04	0.06	0.09	0.12	0.17	0.23	0.28	0.33	0.2	0.30	0.41	0.54	0.73	0.90	1.00	1.06
630	0.05	0.08	0.11	0.14	0.21	0.28	0.34	0.40	0.25	0.38	0.52	0.68	0.91	1.13	1.26	1.34
800	0.06	0.09	0.13	0.17	0.25	0.34	0.42	0.49	0.31	0.46	0.63	0.82	1.11	1.37	1.53	1.63
1000	0.08	0.12	0.16	0.22	0.31	0.42	0.52	0.62	0.40	0.60	0.81	1.06	1.43	1.77	1.97	2.10

Таблиця 5 – Значення коефіцієнта втрат λ для одножильних кабелів високої напруги з ізоляцією зі зшитого поліетилену з мідними жилами

Переріз жили, мм ²	У разі розташування кабелів «трикутником впритул» за перерізу екрану, мм ²						У разі розташування кабелів «в площині через діаметр» за перерізу екрану, мм ²					
	95	120	150	185	240	300	95	120	150	185	240	300
на напругу 110 кВ												
185	0.09	0.11	0.13	0.16	0.18	0.20	0.35	0.39	0.41	0.42	0.41	0.38
240	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.26	0.46	0.51	0.54	0.55	0.54	0.50
300	0.15	0.18	0.21	0.25	0.30	0.32	0.57	0.63	0.67	0.69	0.67	0.62
350	0.16	0.20	0.24	0.28	0.32	0.35	0.62	0.69	0.73	0.75	0.73	0.69
400	0.19	0.23	0.27	0.32	0.37	0.41	0.72	0.80	0.85	0.87	0.85	0.80
500	0.23	0.29	0.34	0.40	0.47	0.51	0.91	1.01	1.08	1.11	1.08	1.01
630	0.29	0.36	0.43	0.50	0.59	0.64	1.15	1.28	1.36	1.39	1.36	1.27
800	0.35	0.43	0.51	0.60	0.71	0.78	1.40	1.55	1.66	1.70	1.66	1.55
1000	0.44	0.53	0.64	0.75	0.89	0.97	1.78	1.98	2.11	2.17	2.12	1.99
1200	0.50	0.61	0.72	0.85	1.01	1.10	2.02	2.25	2.41	2.48	2.42	2.27
1400	0.57	0.70	0.83	0.98	1.16	1.28	2.35	2.62	2.80	2.88	2.81	2.65
1600	0.64	0.78	0.93	1.10	1.30	1.43	2.64	2.94	3.14	3.23	3.16	2.98
2000	0.72	0.88	1.05	1.24	1.47	1.62	3.00	3.35	3.58	3.68	3.6	3.40
на напругу 150 кВ												
300	0.14	0.17	0.20	0.24	0.28	0.31	0.55	0.62	0.66	0.68	0.66	0.62
350	0.15	0.19	0.22	0.26	0.31	0.34	0.61	0.68	0.72	0.74	0.72	0.68
400	0.18	0.22	0.26	0.30	0.36	0.39	0.71	0.79	0.84	0.86	0.84	0.79
500	0.22	0.27	0.33	0.38	0.45	0.50	0.90	1.00	1.06	1.09	1.07	1.00
630	0.28	0.35	0.41	0.48	0.57	0.62	1.13	1.26	1.34	1.38	1.35	1.26
800	0.34	0.42	0.50	0.58	0.69	0.76	1.38	1.54	1.64	1.68	1.64	1.55
1000	0.43	0.53	0.63	0.74	0.88	0.96	1.77	1.97	2.10	2.16	2.11	1.99
1200	0.49	0.60	0.71	0.84	1.00	1.10	2.01	2.25	2.40	2.47	2.41	2.27
1400	0.56	0.69	0.82	0.97	1.15	1.27	2.34	2.61	2.79	2.87	2.81	2.64
1600	0.63	0.77	0.92	1.09	1.29	1.42	2.63	2.93	3.13	3.22	3.15	2.97
2000	0.72	0.88	1.04	1.23	1.46	1.61	2.99	3.34	3.57	3.68	3.6	3.39

Таблиця 6 – Значення коефіцієнта втрат λ для одножильних кабелів надвисокої напруги з ізоляцією зі зшитого поліетилену з мідними жилами

Переріз жили, мм ²	У разі розташування кабелів «трикутником впритул» за перерізу екрану, мм ²				У разі розташування кабелів «в площині через діаметр» за перерізу екрану, мм ²			
	95	120	150	185	95	120	150	185
на напругу 220 кВ								
400	0.19	0.23	0.27	0.32	0.72	0.81	0.86	0.88
500	0.24	0.29	0.34	0.40	0.92	1.02	1.08	1.11
630	0.30	0.36	0.43	0.51	1.15	1.28	1.36	1.40
800	0.36	0.44	0.52	0.62	1.41	1.57	1.67	1.71
1000	0.46	0.56	0.67	0.78	1.81	2.01	2.14	2.20
1200	0.52	0.63	0.75	0.88	2.05	2.29	2.44	2.50
1400	0.60	0.73	0.87	1.02	2.39	2.66	2.83	2.91
1600	0.67	0.82	0.97	1.14	2.68	2.99	3.18	3.27
на напругу 330 кВ								
500	0.23	0.28	0.33	0.39	0.9	1	1.07	1.1
630	0.29	0.35	0.41	0.49	1.14	1.26	1.35	1.38
800	0.35	0.43	0.51	0.6	1.39	1.55	1.65	1.69
1000	0.45	0.54	0.65	0.76	1.79	1.99	2.12	2.18
1200	0.50	0.62	0.73	0.86	2.04	2.27	2.42	2.49
1400	0.58	0.71	0.85	1.00	2.37	2.64	2.81	2.89
1600	0.65	0.80	0.95	1.12	2.66	2.96	3.16	3.25

T. Antonets¹, Cand. Sc. (Eng.), ORCID 0009-0007-2388-2252

R. Buinyi², Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0002-5432-2924

A. Vorushylo³, Ph. D. student

O. Gai⁴, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0001-5460-7260

I. Petrenko⁴, Engineer, ORCID 0009-0009-0490-3569

O. Tkachenko⁵, Cand. Sc. (Eng.), ORCID 0000-0001-7307-7293

¹PJSC “PIVDENKABEL PLANT”

²Chernihiv Polytechnic National University

³Institute of General Power Engineering of NAS of Ukraine

⁴NPC “Ukrenergo”

⁵Anatolii Pidhornyi Institute of power machines and systems of NAS of Ukraine

ABOUT POWER AND ELECTRICAL ENERGY LOSSES IN SINGLE-CORE CABLE SCREENS

The choice of the method of grounding the screens of extruded medium, high and extra-high voltage cables involves the implementation of an appropriate justification, the elements of which are power losses in the current-carrying conductors and cable screens. It is shown that the existing exact methods for calculating power losses in the screens of single-core cables are quite difficult, and the error of approximate calculation methods can reach 30%. A simple algorithm for calculating power losses in single-core cable screens is proposed, based on the approaches of the DSTU IEC 60287-1-1:2009 standard and providing acceptable accuracy for engineering calculations during the design and exploitation of cable power lines. The algorithm takes into account possible ways of placing cables in the cable line trench: trefoil phase formation and flat phase formation. It involves calculating the currents induced in the screens, equivalent in terms of power losses. To estimate the amount of electrical energy losses in cable lines, formulas have been proposed that also take into account the component of losses in cable screens for different levels of information support and the shape of the electrical load graph. The given formulas for calculating electrical energy losses are valid for symmetrical load in the cores of cable power line.

Based on the proposed algorithm, the values of loss factors were obtained for single-core cables with cross-linked polyethylene insulation of medium, high and ultra-high voltage with aluminum and copper cores of all typical cross-sections produced by cable manufacturing plants. The obtained values of the coefficients will simplify and speed up the calculation of power losses and electrical energy losses in cable lines during their design and exploitation. It is proposed to supplement the current regulatory documentation with the proposed algorithm and tables with the obtained values of the loss coefficient.

Keywords: cable lines, cable screens, power losses, electrical energy losses.

References

1. SOU-N MEV 40.1-37471933-49:2011 Design of cable lines with voltage up to 330 kV. Guidelines (as amended) (as amended by the Order of the Ministry of Energy and Coal Industry of 01/26/2017 № 82)
2. PUE-2017 Rules for the arrangement of electrical installations.
3. GKD 340.000.002-97 Determination of the economic efficiency of capital investments in the energy sector. Methodology. Energy systems and electrical networks.
4. An exemplary methodology for determining life cycle cost, approved by the order of the Ministry of Economic Development, Trade and Agriculture of Ukraine dated 09/28/2020 № 1894
5. Ilyin N.M., Lukmanova I.G. et al. Project management. – SpB.: “Dva-Try”, 1996. – 610 p.
6. Methodological instructions ICEP.MU1-2019 Design of grounding of ZPE cable shields in networks 6 - 35 kV. Dnipro: “Energoproekt”. – 2019. – 26 p.
7. Methodological instructions ICEP.MU2-2019 Design of grounding of ZPE cable shields in networks 110 - 330 kV. Dnipro: “Energoproekt”. – 2019. – 20 p.
8. Schebenyuk L.A., Antonets T.Yu. To determine the carrying capacity of high-voltage power cables with plastic insulation // Bulletin of NTU “KhPI”. – 2011. – № 3. – P. 152-157.
9. Bystrov A.V. Development of a technique for choosing an energy-efficient system for grounding shields of single-core power cables with cross-linked polyethylene insulation for a voltage of 6-500 kV: autoref. thesis for the application candidate degree technical Science: 05.09.03 "Electrical complexes and systems" / A.V. Bystrov – Moscow, 2014. – 20 p.
10. Dmitriev M.V. Grounding of shields of single-phase power cables 6-500 kV. – St. Petersburg: Polytechnic University Publishing House, 2010. – 154 p.
11. SOU-N EE 40.1-37471933-82:2013 Methodological recommendations for determining the technological costs of electric energy in transformers and power transmission lines
12. Grinchenko V.S., Tkachenko O.O., Grinchenko N.V. Improving calculation accuracy of currents in cable shields at double-sided grounding of three-phase cable line //Electrical Engineering and Electromechanics. – 2017. – № 2. – P. 39-42. doi: 10.20998/2074-272X.2017.2.06
13. DSTU IEC 60287-1-1:2009 (IEC 60287-1-1:2001, IDT) Electric cables. Calculation of nominal current. Part 1-1. Ratio for calculating the rated current (100% load factor) and calculating losses. General provisions.
14. YUZHicable. Power cables with cross-linked polyethylene insulation for voltage from 6 to 35 kV. [Electronic resource]. Available at: <https://yuzhcable.com.ua/downloads-ukr/>
15. YUZHicable. Power cables with cross-linked polyethylene insulation for voltage from 45 to 330 kV. [Electronic resource]. Available at: <https://yuzhcable.com.ua/downloads-ukr/>
16. Album of typical graphs of electrical loads of electrical networks, approved by the order of the Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine dated 06.04.2017 № 267. [Electronic resource]. Site access mode: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245201705.

Надійшла: 01.04.2025

Received: 01.04.2025