

В.М. ЗОЛОТАРЬОВ, докт. техн. наук, ЗАТ "Завод Південкабель",
Харьков

Т.Ю. АНТОНЕЦЬ, ЗАТ "Завод Південкабель", Харьков

Л.А. ЩЕБЕНЮК, канд. техн. наук., проф., НТУ "ХПІ", Харьков

ДО ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ В МЕТАЛЕВИХ ЗАХИСНИХ ЕЛЕМЕНТАХ ВИСОКОВОЛЬТНИХ КАБЕЛІВ З ІЗ ЗШИТОЮ ПОЛІЕТИЛЕНОВОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ

The analysis of results of computations of losses in electrowire screens and metal plastic covers of power cables by 220 kV with the sewed polyethylene isolation is made.

Виконано аналіз результатів розрахунку витрат в електропровідних екранах і металопластикових оболонках силових кабелів напругою 220 кВ зі зшитою поліетиленовою ізоляцією.

Выполнен анализ результатов расчета потерь в электропроводящих экранах и металлопластиковых оболочках силовых кабелей напряжением 220 кВ со сшитой полиэтиленовой изоляцией.

Постановка проблеми. Кабелі на напругу 220 кВ із зшитою поліетиленовою ізоляцією є інноваційною продукцією вітчизняної кабеліної техніки. Надійність і пропускна спроможність цих кабелів визначається процесами тепло і масообміну в кабелі. В практиці для визначення пропускної спроможності користуються, як правило, готовими таблицями, які є досить уніфіковані для цілих груп кабелів і стосуються номінальних умов експлуатації. Виникнення аварійних режимів в системах електропостачання, елементами яких є ці кабелі, зумовлює необхідність застосування достатньо великих площ перерізу електропровідних екранів. З іншого боку більша площа перерізу електропровідного екрану зумовлює і більшу вартість кабелю, і більші втрати в екранах, і, відповідно, додаткове нагрівання кабелю. Тому питання визначення витрат в електропровідних екранах і інших металевих захисних елементах конструкції нових кабелів на напругу 220 кВ із зшитою поліетиленовою ізоляцією є актуальним для забезпечення їх надійності і конкурентоспроможності.

Аналіз літератури. Пропускна спроможність силових кабелів визначається втратами в елементах конструкції і, відповідно, процесами

тепло і масообміну в кабелі в умовах експлуатації. Практично застосовні розрахункові моделі включають дуже велику кількість припущень і експериментально визначених оцінок конкретних параметрів моделі, які визначаються особливостями конструкції кабелю [1]. Рекомендація щодо доцільності прямого експериментального, чи опосередкованого через конструктивні особливості елементів кабелю, визначення параметрів моделі для розрахунку присутня практично в усіх міжнародних і відповідних національних стандартах серії 60287 [2]. Тому практичне визначення пропускної спроможності для інноваційної продукції за цією нормативною базою вимагає, перш за все, визначення втрат в елементах конструкції кабелю. Зокрема втрат в металевих захисних елементах, оскільки ці втрати є індукційними за своєю природою і тому пропорційними втратам в жилі. Отже їх величина безпосередньо обмежує пропускну спроможність кабелю.

Ціль роботи. Розробка розрахункових моделей для визначення втрат в металевих захисних елементах нових кабелів на напругу 220 кВ із зшитою поліетиленовою ізоляцією на основі використання універсальних нормативних моделей [2] і особливостей конструкції цих кабелів. Порівняння результатів розрахунків із відомими оцінками для традиційних конструкцій високовольтних кабелів.

Одержані результати. На рис. 1 наведені результати розрахунку за допомогою традиційних моделей (1) і (2) тенденцій змінювання коефіцієнтів втрат в мідних електропровідних екранах силових кабелів із поліетиленовою зшитою ізоляцією на напругу 220 кВ і площею перерізу мідної багатопроволочної жили 625 мм^2 . Прийнято, що кабелі прокладені в площині в повітрі за температури 25°C , за гранично допустимої температури жили 90°C .



Рис. 1. Залежності коефіцієнту втрат в електропровідному екрані (а) і тривало допустимого струму (б) від товщини ізоляції (для максимальної напруженості електричного поля від 7 кВ/мм до 12 кВ/мм): позначення **m** стосується середнього кабелю при прокладанні трьох одножильних в площині; практично застосовними для розглянутого кабелю є товщини ізоляції від 20 мм до 25 мм.

Оскільки максимальна напруженість електричного поля суттєво залежить від площі перерізу жили, а товщина ізоляції кабелів даного типу дещо відрізняється у різних виробників, розрахунок виконано в діапазоні значень напруженості від 7 кВ/мм до 12 кВ/мм. В традиційних моделях (1) і (2) для розрахунку коефіцієнтів втрат в металевих екранах чи оболонках, щонайменше два параметри, – опір жили R і опір екрану R_e суттєво залежать від розподілу температури в кабелі, а він, в свою чергу, залежить від товщини ізоляції і, відповідно пов'язаний із максимальною напруженістю електричного поля. Тому оцінка за (1) і (2) можлива лише при вирішенні системи рівнянь, яка включає електричні і теплові рівняння.

Така система рівнянь запропонована нами в [3]. В ній для розрахунків використано найпростіші моделі радіального електричного і теплового полів в однорідній ізоляції одножильного кабелю з багатопроволочною мідною жилою несементної конструкції з коефіцієнтом заповнення 0,95. Основні джерела тепла – жила з електричним опором змінному струму промислової частоти, ізоляція з тангенсом кута діелектричних втрат не більшим 0,1 %, мідний електропровідний екран сумарною товщиною 0,8 мм. Використані лінійні залежності від температури електричного опору провідників. Теплопровідність захисних покриттів та навколишнього середовища прийняті незмінними.

Таким чином, навіть в разі застосування гранично спрощених моделей визначення пропускної спроможності нових для вітчизняної кабельної техніки силових високовольтних кабелів із зшитю поліетиленовою ізоляцією, необхідне одночасне застосування моделей, які описують конструктивні, електричні, теплові та економічні параметри кабелю. Результати рішення моделі в [3] для різних значень максимальної напруженості електричного поля в ізоляції кабелю перерізом 625 мм² на напругу 220 кВ свідчать, що зменшення напруженості, наприклад, з 10 кВ/мм до 8 кВ/мм вимагає збільшення товщини ізоляції майже в півтори рази і при цьому на декілька відсотків зменшується пропускна спроможність кабелю. Причому пропускна спроможність зменшується нелінійно.

Коефіцієнти втрат в електропровідних екранах крайніх (λ) і середнього (λ_m) кабелів визначені такими формулами [2]:

$$\lambda = \frac{\rho(R_e\pi)^{-1}10^6}{[2(r + \Delta i + \Delta/2) - e]} \left[\frac{0,75P^2}{R_e^2 + P^2} + \frac{0,25\left(P - \frac{X_m}{0,75}\right)^2}{R_e^2 + \left(P - \frac{X_m}{0,75}\right)^2} + \frac{2 \cdot 3^{-0,5}\left(P - \frac{X_m}{0,75}\right)R_e X_m P}{\left[R_e^2 + \left(P - \frac{X_m}{0,75}\right)^2\right](R_e^2 + P^2)} \right]; \quad (1)$$

$$\lambda_m = \frac{\rho(R_e\pi)^{-1}10^6}{[2(r + \Delta i + \Delta/2) - e]} \frac{0,25\left(P - \frac{X_m}{0,75}\right)^2}{R_e^2 + \left(P - \frac{X_m}{0,75}\right)^2}, \quad (2)$$

де R , R_e – активний електричний опір жили і опір екрану, відповідно; P , X_m – визначені такими формулами:

$$P = \frac{\mu_0}{2\pi} \omega \ln \left[\frac{2(r + \Delta i + \Delta)}{(r + \Delta i + \Delta/2)} \right] + X_m ; \quad X_m = \frac{\mu_0}{2\pi} \omega \ln 2 ,$$

r , e , Δi , Δ – конструктивні параметри, відповідно: радіус жили з напівпровідним екраном, товщина мідного екрану, товщина ізоляції, товщина захисних покриттів.

Результати, наведені на рис. 2, свідчать про те, що

– втрати в електропровідних екранах високовольтних кабелів із поліетиленовою зшитою ізоляцією, в принципі, можуть бути значними (до 50 % втрат у жилах і більше) і тому, по-перше, потрібне дослідження впливу всіх конструктивних, теплових і електричних параметрів, а також умов прокладання на відповідні коефіцієнти втрат; по-друге, необхідна експериментальна перевірка прийнятності традиційних розрахункових моделей для визначення таких втрат;

– при прокладанні в площині втрати в електропровідних екранах крайніх кабелів суттєво більші за відповідні втрати в середньому кабелі; в принципі, такий результат є очікуваним, оскільки коефіцієнти взаємодукації для крайніх кабелів більші, але різниця між значеннями λ і λ_m в розглянутому прикладі настільки значна, що ставить задачу про оптимізацію взаємного розташування кабелів при прокладанні;

– тривало допустимий струм для крайніх кабелів суттєво більший, ніж для середнього, що свідчить про те, що умови відведення тепла від зовнішньої поверхні кабелю є вагомішими, ніж втрати в електропровідних екранах, для температурного режиму його роботи; різниця між значеннями I і I_m в розглянутому прикладі є суттєвою і зумовлює необхідність врахування режимів роботи конкретної системи електропостачання, елементом якої є (чи має бути) даний кабель.

Оскільки втрати в металевих елементах кабелю, що охоплюють жилу є пропорційними до втрат в жилі, то, наприклад, коефіцієнт втрат в металевій оболонці, – це відношення потужності втрат в оболонці до потужності втрат в жилі:

$$P_{об} = k_{об} P_{ж} = k_{об} I^2 R_{ж} , \quad (3)$$

і рівняння теплового балансу запишеться так:

$$\theta_{ж} - \theta_{oc} = I^2 P_{ж} S_{із} + 3 I^2 P_{ж} (1 + k_{об}) (S_{зн} + S_{oc}) , \quad (4)$$

де $k_{об}$ – коефіцієнт індукційних втрат в електропровідному екрані; I – струм у жилі кабелю, А; $R_{ж}$ – опір жили за температури $\theta_{ж}$.

Тоді допустимий струм навантаження:

$$I = \sqrt{\frac{\Theta_{\text{ж}} - \Theta_{\text{ос}}}{3R_{\text{ж}} \cdot \left[\frac{1}{3} S_{\text{із}} + (1 + k_{\text{об}}) (S_{\text{зп}} + S_{\text{ос}}) \right]}} \quad (5)$$

Очевидно те, що технічне рішення має прийматись з урахуванням електричної, теплової та економічної моделей, які складають систему. Вона дозволяє одночасно враховувати конструктивні, електричні, теплові і економічні параметри кабелю. Модель можна ускладнювати, залежно від необхідності врахування особливостей конструкції кабелю, умов його прокладання і економічних реалій конкретного виробника.

Результати розрахунків за такою моделлю, представленою в [3], наведено на рис. 2.

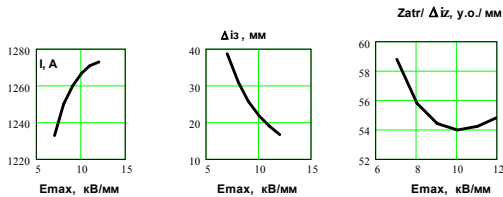


Рис. 2. Результати спільного рішення електричної, теплової і економічної моделей для різних значень максимальної напруженості електричного поля в ізоляції одножильного кабелю на напругу 220 кВ з площею перерізу жили 625 мм² і зшитою поліетиленовою ізоляцією.

Те, що зменшення напруженості електричного поля за рахунок збільшення товщини ізоляції зумовлює збільшення витрат на матеріали, є тривіальним і впливає з моделі радіального електричного поля при змінному струмові. Досить виразний оптимум питомих витрат на матеріали в діапазоні товщини ізоляції від 9,5 мм до 10,5 мм (рис. 2, в). і відповідність цього діапазону тому факту, що при подальшому зменшенні товщини ізоляції практично не зростає пропускна спроможність кабелю (рис. 2, а) є важливим результатом саме спільного вирішення окремих відомих розрахункових моделей, які описують конструктивні, електричні, теплові та економічні параметри кабелю. Результати, наведені на рис. 2 одержані для такого ж кабелю, але прокладеного окремо і без врахування втрат в електропровідному екрані.

Такий підхід можна назвати методом використання багатомірних моделей, які складаються з універсальних і уніфікованих розрахункових моделей процесів тепло і масообміну в високовольтних кабелях з пластмасовою ізоляцією для дослідження їх пропускної спроможності шляхом інтервального оцінювання параметрів моделей.

Таким чином, навіть в разі застосування відомих простих моделей для визначення пропускної спроможності нових для вітчизняної кабельної техніки силових високовольтних кабелів з пластмасовою ізоляцією, за одночасного застосування моделей, які описують конструктивні, електричні, теплові та економічні параметри кабелю, дозволяє аналізувати цілий спектр можливих технічних рішень щодо пропускної спроможності даного конкретного кабелю. При цьому застосування сучасної обчислювальної техніки і стандартного програмного забезпечення виключають проблеми виконання розрахунків.

З усіх застосованих спрощень при виборі моделі тільки несегментальна конструкція жили зменшує пропускну спроможність кабелю, але суттєво ускладнює його технологію виготовлення, що потребує окремого розгляду. Інші спрощення дають можливість аналізувати по суті "найкращий сценарій" щодо тенденцій змінювання споживчих властивостей кабелю.

Висновки. 1. Показано, що визначення втрат в електропровідному екрані силового високовольтного кабелю із зшитю поліетиленою ізоляцією можливе тільки з одночасним визначенням пропускної спроможності шляхом спільного вирішення моделей, які описують конструктивні, електричні, теплові та економічні параметри.

2. При прокладанні в площині втрати в електропровідних екранах крайніх кабелів суттєво більші за відповідні втрати в середньому кабелі; різниця між значеннями відповідних втрат настільки значна, що ставить задачу про оптимізацію взаємного розташування кабелів при прокладанні.

3. Тривало допустимий струм для крайніх кабелів суттєво більший, ніж для середнього, що зумовлює необхідність врахування режимів роботи конкретної системи електропостачання, елементом якої є (чи має бути) даний кабель.

Список літератури: 1. Силові кабелі низької та середньої напруги. Конструювання, технологія, якість: [підруч. для студ. вузів] / В.П.Карпушенко, Л.А.Щебенюк, Ю.О.Антонець, О.А.Науменко. – Харків: Регіон-інформ, 2000. – 376 с. 2. ДСТУ ІЕС 60287 – 1, 2, 3. Електричні кабелі. Розрахунок номінального струму. 3. Щебенюк Л.А., Антонець Т.Ю. До визначення пропускної спроможності високовольтних силових кабелів з пластмасовою ізоляцією // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 7. – С. 111-115.

*Надійшла до редколегії 21.02.2012
Рецензент д.т.н., проф. Гурин А.Г.*