

ПРОБЛЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ КРИТЕРІЇВ ПРИ РОЗРАХУНКУ І КОНСТРУЮВАННІ ВИСОКОВОЛЬТНИХ СИЛОВИХ КАБЕЛІВ ІЗ ПЛАСТМАСОВОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ

Виконано аналіз результатів розрахунку пропускної спроможності силових кабелів на напругу 220 кВ. Робота присвячена створенню системи розрахунку допустимого струму високовольтних силових кабелів із зшитою поліетиленовою ізоляцією.

Выполнен анализ результатов расчетов пропускной способности силовых кабелей на напряжение 220 кВ. Работа посвящена созданию системы расчета допустимого тока высоковольтных силовых кабелей со зшитой полиэтиленовой изоляцией.

Постановка проблеми. Для економічного аналізу технічних рішень необхідним є аналіз так званих "невикористаних можливостей", котрий може бути виконаний тільки шляхом включення економічного аналізу в процес прийняття конкретного технічного рішення. Високовольтні кабелі з пластмасовою ізоляцією є інноваційною продукцією для кабельної техніки України. Ця продукція має принципові відмінності:

- більші, ніж у традиційних маслонаповнених кабелів, площі перерізу жил і товщини ізоляції, що зумовлює одножильну конструкцію кабелю, та як наслідок, особливості їх прокладання і використання, наприклад, прокладання у площині з обов'язковою транспозицією електропровідних екранів при заземленні їх на обох кінцях лінії;

- підвищена гранично допустима температура ізоляції;
- суттєва залежність теплопровідності і теплоємності ізоляції від температури;
- більша ціна інноваційної продукції порівняно з традиційною.

Ці відмінності зумовлюють необхідність, по-перше, їх врахування при визначенні навантажувальної спроможності кабелів, по-друге, включення до відповідних моделей економічної складової з метою економічної оптимізації технічних рішень. Такі кабелі мають ряд переваг і найперша – підвищена робоча температура (до 90 °С), що дозволяє збільшувати навантажувальну спроможність. За цим слід враховувати те, що такі кабелі суттєво нагрівають оточуюче середовище.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для прийняття економічно виважених рішень при визначенні пропускної спроможності нових для вітчизняної кабельної техніки силових високовольтних кабелів з пластмасовою ізоляцією, необхідне вирішення системи рівнянь, які описують конструктивні, електричні, теплові та економічні параметри кабелю. В [1] запропоновано метод використання універсальних і уніфікованих розрахункових моделей процесів тепло і масообміну в високовольтних кабелях з пластмасо-

вою ізоляцією для дослідження їх пропускної спроможності шляхом інтервального оцінювання параметрів моделей.

Наприклад, для одножильного кабелю із зшитою поліетиленовою ізоляцією на напругу 220 кВ використано систему рівнянь, які описують конструктивні, електричні, теплові та економічні параметри і дозволяють обчислити максимальну напруженість радіального електричного поля в однорідній ізоляції, номінальний струм, затрати на матеріал ізоляції, якщо відомі ціна $C_{із}$ одного кілограма матеріалу, питома маса $\gamma_{із}$ і об'єм $V_{із}$ на одиницю довжини.

Таку модель можна назвати трьохвимірною за кількістю простих моделей, що її утворюють і відповідно за кількістю змінних, які одночасно визначають. Ці змінні – тривало допустимий струм кабелю I_n , товщина ізоляції $\Delta_{із}$ і витрати на матеріали для ізоляції жири Z , – одночасно визначаються за різних значень багатьох параметрів, – максимальної напруженості електричного поля в ізоляції кабелю, максимально допустимої температури ізоляції та ін. прості моделі, які складають систему, можна ускладнювати, залежно від необхідності врахування особливостей конструкції кабелю, умов його прокладання і економічних реалій конкретного виробника; до системи можуть і мають бути залучені технологічні моделі, які пов'язують технічні та споживчі параметри кабелю з його технологічними параметрами; очевидно, що зв'язок з економічною складовою системи, а значить і необхідність спільного вирішення, посиляться.

$$\left\{ \begin{aligned} E_{\max} &= \frac{U}{(r_{жс} + \Delta_e) \cdot \ln\left(\frac{r_{жс} + \Delta_e + \Delta_{із}}{r_{жс} + \Delta_e}\right)}; & (1) \\ I_n &= \sqrt{\frac{\Theta_1 - \Theta_2 - P_a \cdot (0,5 \cdot S_{із} + S_{3н} + S_{oc})}{R_g(\Theta_1) \cdot (S_{із} + (1 + k_e) \cdot (S_{3н} + S_{oc}))}}; & (2) \\ Z &= C_{із} \cdot \gamma_{із} \cdot V_{із}, & (3) \end{aligned} \right.$$

де P_a – втрати в ізоляції, U – фазна напруга, $r_{ж}$, Δ_e – радіус жили, товщина напівпровідного екрану; k_e – коефіцієнт втрат в мідному електропровідному екрані кабелю (для іншої конструкції це може бути коефіцієнт спільних втрат в такому екрані і немагнітній броні); θ_1 , θ_2 – максимальна допустима температура жили та температура оточуючого середовища; $S_{із}$, $S_{зп}$, S_{oc} – відповідно, значення теплового опору для ізоляції, захисного покриття, оточуючого середовища; $R_g(\theta_1)$ – електричний опір жили при максимально допустимій температурі.

Ціль і задачі дослідження. Порівняти пропускну спроможність і питомі затрати на ізоляцію для кабелю із зшитою поліетиленовою ізоляцією на напругу 220 кВ, одержані як результати спільного вирішення системи моделей (1) – (3) при різних значеннях товщини ізоляції, максимальній напруженості електричного поля в ній. Мета порівняння: визначити технічну доцільність мінімізації питомих затрат на ізоляцію для кабелю із зшитою поліетиленовою ізоляцією на напругу 220 кВ.

Крім того необхідне визначення інтервалів можливих значень параметрів моделі, виділення серед цих параметрів змінних, які є такими для всіх розрахункових співвідношень.

Основний матеріал дослідження. Формули (1) – (3) взаємопов'язані спільним параметром – товщиною ізоляції $\Delta_{із}$. Для забезпечення надійності кабелю має бути обмежена зверху (не більше) максимальна напруженість електричного поля в ізоляції. Це вимагає обмеження $\Delta_{із}$ знизу (не менше). Очевидно, що чим більше значення $\Delta_{із}$, тим більші затрати на матеріал ізоляції Z і тим більший тепловий опір ізоляції, а отже може бути меншою пропускну спроможність кабелю. Таким чином, тільки спільне вирішення (1) – (3) для конкретної марки кабелю може дозволити вибрати економічно і технічно прийнятне рішення.

Залежність відношення об'єму V ізоляційних матеріалів кабелю до товщини ізоляції $\Delta_{із}$ від $\Delta_{із}$ має мінімум [1], тому з умови $\partial(V/\Delta_{із})/\partial\Delta_{із} = 0$ витікає можливість аналітично оцінити оптимальну за питомою вартістю товщину ізоляції кабелю:

$$\Delta_{із} = \sqrt{\left(\sqrt{\frac{4 \cdot F_n}{\pi \cdot \eta}} + \Delta_{зп} + 2 \cdot \Delta_e \right) \cdot (\Delta_{зп} + 2 \cdot \Delta_e)}, \quad (4)$$

де F_n – площа номінального перерізу жили; η – коефіцієнт заповнення жили.

Залежність оптимальної за питомою вартістю товщини ізоляції кабелю від номінальної площі перерізу жили за (4) наведено на рис. 1. Розрахунки за системою (1) – (3) свідчать про те, що саме використання оптимальної товщини ізоляції дозволяє мінімізувати не тільки питому вартість (в умовних одиницях на один міліметр товщини) ізоляційних матеріалів кабелю із зшитою поліетиленовою ізоляцією на напругу 220 кВ (рис. 1), але й одночасно мінімізувати макси-

мальну напруженість електричного поля в ізоляції (рис. 2).

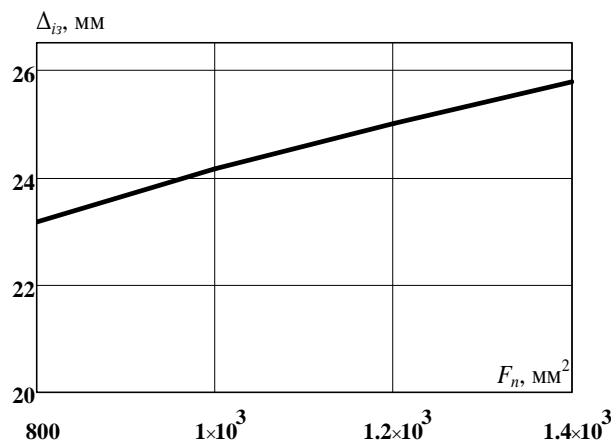


Рис. 1. Залежність оптимальної товщини ізоляції, визначеної за (4), від номінальної площі перерізу струмопровідної жили кабелю із зшитою поліетиленовою ізоляцією на напругу 220 кВ

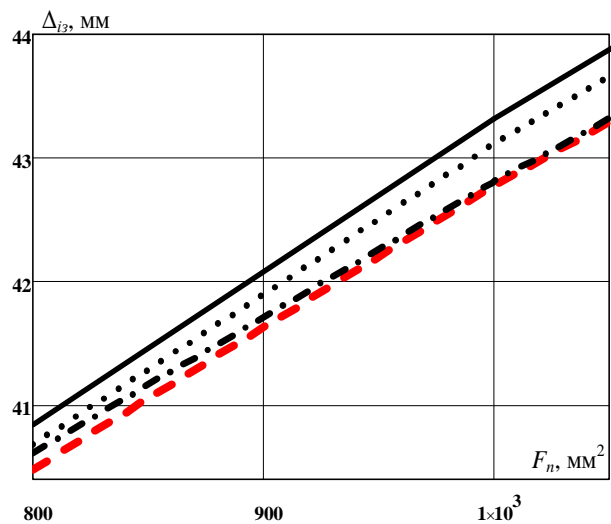


Рис. 2. Залежності питомої вартості в умовних одиницях (на один міліметр товщини) ізоляційних матеріалів від номінальної площі перерізу струмопровідної жили кабелю із зшитою поліетиленовою ізоляцією на напругу 220 кВ: чорні криві відповідають різним товщинам ізоляції в діапазоні від 19 мм (суцільна чорна крива) до 26 мм (штрихпунктирна чорна крива); червона штрихова крива відповідає оптимальним товщинам ізоляції, визначеним за (4), які знаходяться в діапазоні від 23,2 мм до 25,7 мм залежно від площі перерізу жили

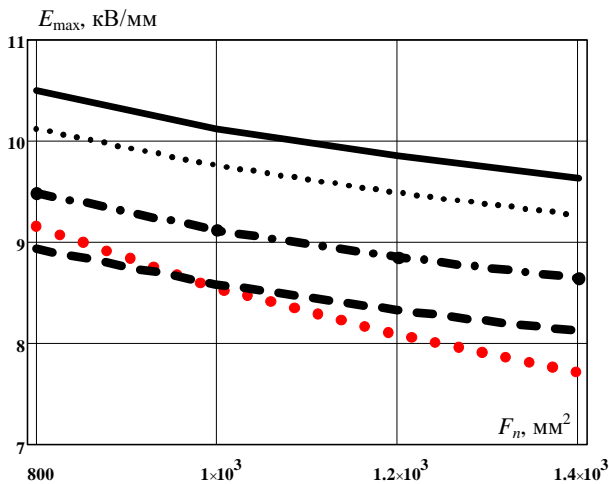


Рис. 3. Залежності максимальної напруженості електричного поля E_{\max} в ізоляції від номінальної площі перерізу F_n струмопровідної жили кабелю із зшитого поліетиленовою ізоляцією на напругу 220 кВ: чорні криві відповідають різним товщинам ізоляції в діапазоні від 19 мм (суцільна чорна крива) до 24 мм (штрихова чорна крива); червона пунктирна крива відповідає оптимальним товщинам ізоляції, визначеним за (4), які знаходяться в діапазоні від 23,2 мм до 25,7 мм залежно від площі перерізу жили

ВИСНОВКИ

1. Використання оптимальної за питомою вартістю товщини ізоляції кабелю дозволяє мінімізувати не тільки питому вартість (в умовних одиницях на один міліметр товщини) ізоляційних матеріалів кабелю із зшитого поліетиленовою ізоляцією на напругу 220 кВ, але й одночасно мінімізувати максимальну напруженість електричного поля в ізоляції.

2. Врахування того, що ізоляція, призначена для використання при більш високих градієнтах, є дорожчою, спричиняє зміщення відповідного мінімуму в бік менших градієнтів порівняно з одержаною. Тому для прийняття конкретних технічних рішень необхідно інформація щодо залежності вартості ізоляції (зокрема, технологічних витрат) від напруженості електричного поля.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Щебенюк Л.А., Антоненко Т.Ю. До визначення пропускної спроможності високовольтних силових кабелів з пластмасовою ізоляцією. // Вісник НТУ "ХПІ". – 2011. – Вип. 42. – С. 43-46.
2. Золотарьов В.М. Системний підхід до управління якістю – фундамент перспективного розвитку підприємства / В.М. Золотарьов // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2002. – № 1. – С. 57-61.

Bibliography (transliterated): 1. SCHebenyuk L.A., Antonec' T.Yu. Do viznachennya propusknoї sprozozhnosti visokovol'tnih silovih kabeliv z plastmasovoyu izolyaciyyu. // Visnik NTU "HPI". - 2011. - Vip. 42. - S. 43-46. 2. Zolotar'ov V.M. Sistemnij pidhid do upravlinnya yakisty - fundament perspektivnogo rozvitku pidpriemstva / V.M. Zolotar'ov // Standartizaciya, sertifikaciya, yakist'. - 2002. - № 1. - S. 57-61.

Надійшла 10.05.2013

Голік О.В., к.т.н., доц.

Национальный технический университет
"Харьковский политехнический институт"
кафедра "Электроизоляционной и кабельной техники"
61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21
тел. (057) 7076663

Golik O.V.

Problems of economic criteria application to calculation and design of high-voltage plastic-insulated power cables.

Results of cable transmitting capacity calculation for voltage of up to 220 kV are analyzed. The work is devoted to creation of a current rating calculation technique for high-voltage cross-linked polyethylene cables.

Key words – high-voltage cables, calculation technique.