

Проведені дослідження показують, що при проектуванні ПЛ інформація про параметри навколишнього середовища дозволить оптимізувати величину потужності, яка буде передаватися по ПЛ.

Висновок. Інформація про параметри навколишнього середовища повинна враховуватися при проектуванні повітряних ліній в рамках концепції Smart Grid, що дозволить вирішити задачу по впровадженню в практику проектування повітряних ліній нового покоління.

Список літератури: 1. Кобец Б.Б. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. / Б.Б. Кобец, И.О. Волкова - М.: ИАЦ Энергия, 2010.-208 с. 2. Стогній Б.С. Интеллектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їх технологічне забезпечення / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, С.П. Денисюк // Технічна електродинаміка. – 2010. – №6. – С. 44–50. 3. Титов Н.Н. Формирование ведомственной системы сбора метеоданных в условиях эффективного оптового рынка электроэнергии/ Н.Н. Титов, Н.М. Черемисин, П.Д. Лежнюк и др. // Праці інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск. Енергетичні ринки: перехід до нової моделі ринку двосторонній контрактів і балансууючого ринку. – 2009. – С. 41–48. 4. Черемисин Н.М. Стратегия выбора оптимального решения при проектировании воздушных линий электропередачи / Н.М. Черемисин, В.И. Романченко, В.В. Черкашина // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця:ВНТУ.- 2012.- №2.- С.115 – 118. 5. Лежнюк П.Д. Повышение эффективности управления режимами электрических сетей на базе мониторинга параметров воздушных линий и окружающей среды / П.Д. Лежнюк, Н.М. Черемисин, В.В. Черкашина и др. // Электрические сети и системы.-Київ: ТОВ "Гнозіс"– 2012. – №5. – С. – 39-46. 6. Черемисин Н.М. Повышение эффективности АСУ ТП подстанций за счет мониторинга параметров воздушных линий и окружающей среды на базе платформы SMART GRID / Н.М. Черемисин, В.М. Зубко, А.В. Холод, В.В. Черкашина // Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка / Технічні науки.-Харків: ХНТУСГ. –2012.– Вип.129.– С.14 – 16. 7. Рокотяна С.С. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / В.В. Ершевич и др. / Под редакцией С.С. Рокотяна и И.М. Шаниро. – М: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с. 8. Правила улаштування електроустановок. – Харків: "Індустрія", 2007.– 416 с.

Поступила в редколлегию 05.03.2013

УДК 621.315

Врахування параметрів навколишнього середовища в задачах проектування повітряних ліній / Черкашина В.В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика; надійність та енергоефективність. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – №.17 (990). – С.161-164. Табл.: 1. Бібліогр.: 8 назв.

В статті показана необхідність урахування інформації про параметрах навколишнього середовища при проектуванні повітряних ліній в рамках концепції Smart Grid, которая позволит решить задачу по внедрению в практику проектирования воздушных линий нового поколения.

Ключевые слова: воздушная линия, мощность, параметры окружающей среды, Smart Grid.

In the article the necessity of account of information is shown about the parameters of environment at the choice of planning air-tracks within the framework of conception Smart Grid, that will allow to decide a task in practice of planning air-tracks new generation.

Keywords: : air-tracks, power, parameters of environment, Smart Grid.

УДК 621.315.2

Л.А. ЩЕБЕНЮК, канд. техн.наук.,проф., НТУ «ХПІ»;
Т.Ю. АНТОНЕЦ, технолог, ЗАТ «Завод Південкабель», Харків

КІНЕТИКА НАГРІВАННЯ 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 зшитотою поліетиленовою ізоляцією.

Ключові слова: силовий високовольтний кабель, тривало допустимий струм, теплоємність.

Вступ. Найважливішою споживчою властивістю силових кабелів, яка визначає його ліквідність, є спроможність до навантаження та перевантаження (в подальшому, - пропускна спроможність). Для високовольтних кабелів з пластмасовою ізоляцією характерними особливостями є: більші, ніж у традиційних маслом наповнених кабелів, площі перерізу жил і товщини ізоляції, що зумовлює одножилну 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. Крім того для них характерна підвищена допустима температура ізоляції, суттєва залежність теплопровідності і теплоємності ізоляції від температури (питома теплоємність поліетилену за температури 20 °С становить 2300 Дж/кг·°С, а за 80 °С становить 3750 Дж/кг·°С). Тому методи визначення пропускної спроможності в режимах реальної експлуатації вимагають, щонайменше, перевірки: і розрахунком, і експериментально.

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] нами запропоновано метод використання 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.

© Л.А.Щебенюк, Т.Ю.Антонец, 2013

Пропускна спроможність силових кабелів визначається процесами тепло і масообміну в кабелі в номінальних умовах і в умовах експлуатації [2]. Найбільш простою і уживаною є експоненційна модель нагрівання кабелю, яка для режиму включення (тобто за температури довкілля $t = 0$; $\tau = 0$) [3]:

$$\tau = \tau_{\max} \cdot [1 - \exp(-t/\beta)], \quad (1)$$

де β – постійна нагрівання, яка дорівнює добутку теплоємності кабелю на його тепловий опір $\beta = C S$, β параметром кінетики нагрівання кабелю.

Ця модель є наближеною. Досвід її застосування свідчить про прийнятну для практичних задач точність за умови, що за її допомогою порівнюють характеристики подібних конструкцій кабелів. Зокрема для теплових розрахунків кабелів у нестационарних режимах, якщо товщина ізоляції невелика відносно розмірів жили [3]. Якщо товщина ізоляції силового кабелю значна, що характерно для високовольтних кабелів, при визначенні перевантажувальної спроможності необхідно врахувати наявність в ізоляції перепаду температур. В такому разі використовують метод зосереджених теплоємностей [4]. Найпростіша модель нагрівання кабелю за застосування цього методу є сумою двох експонент:

$$\tau = P \cdot [S_g \cdot (1 - e^{-g t}) + S_f \cdot (1 - e^{-f t})], \quad (2)$$

де g, f – постійні, складові кінетики нагрівання даного кабелю.

Ціль і задачі дослідження. Порівняти кінетику нагрівання кабелю за моделями (1) і (2) для високовольтного кабелю з пластмасовою ізоляцією АПвПЕг $1 \times 1300 - 220$ з метою визначення впливу теплоємності жили на кінетику нагрівання кабелю за моделлю (2).

Матеріал дослідження. За методом зосереджених теплоємностей ізоляція кабелю представлена у вигляді двох зон із рівними величинами теплового опору $S_{i31} = S_{i32} = S_{i3}/2$, але з різними теплоємностями: $C_{i31} = c_{i3} \cdot \pi \cdot r(R - r)$; $C_{i32} = c_{i3} \cdot \pi \cdot R(R - r)$, де c_{i3} – питома об'ємна теплоємність ізоляції. Відповідну схему наведено на рис.1. Параметри схеми визначає коефіцієнт p (коефіцієнт Ван Вормера [4]: $p = [\ln(R/r)]^{-1} - [(R/r) - 1]^{-1}$; $S_1 = S_{i31}$; $S_2 = S_{i32}$; $C_1 = p C_{i31} + C_{ж}$; $C_2 = (1-p) C_{i31} + C_{i32}$.

При включенні під навантаження при температурі навколишнього середовища, тобто при $t = 0$, $\tau = 0$, перегрів проводу в момент t : описує (2), де $g = [M + (M^2 - N)^{0.5}]/N$; $f = [M - (M^2 - N)^{0.5}]/N$; $M = 0,5[C_1(S_1 + S_2 + S_d) + C_2(S_2 + S_d)]$; $N = C_1 S_1 C_2 (S_2 + S_d)$; $S_g = (g - f)^{-1} [C_1^{-1} - f(S_1 + S_2 + S_d)]$; $S_f = (S_1 + S_2 + S_d) - S_g$, де P – потужність тепловиділення в проводі в кінці короткотермінового (менше 1 години) режиму нагрівання.

Як приклад, для кабелю АПвПЕг $1 \times 1300 - 220$ результати розрахунків кривих нагрівання за моделями (1) і (2) наведені на рис. 2.

Теплові параметри: питомий тепловий опір ізоляції $\sigma_{i3} = 3,7$ °См/Вт, захисних покривів $\sigma_{зп} = 3$ °См/Вт; тепловий опір ізоляції $S_{i3} = 0,424$ °См/Вт; тепловий опір довкілля $S_d = 0,93$ °См/Вт; коефіцієнт теплопередачі в

повітря $\alpha = 8$ Вт/ °См²; теплоємність жили $C_{ж} = 3236$ Дж/°С·м; теплоємність ізоляції, прилеглої до жили $C_{i31} = 4327$ Дж/°С·м; теплоємність зовнішнього шару ізоляції $C_{i32} = 8889$ Дж/°С·м.

Параметри схеми заміщення, в якій теплоємності зображені електричними ємностями (див.рис.1): $S_1 = S_2 = 0,212$ °См/Вт; коефіцієнт Ван Вормера: $p = (\ln(47,9/20,9))^{-1} - ((47,9/20,9) - 1)^{-1} = 0,441$; $C_1 = p C_{i31} + C_{ж} = 5143$ Дж/°С·м; $C_2 = (1-p) C_{i31} + C_{i32} = 11310$ Дж/°С·м.

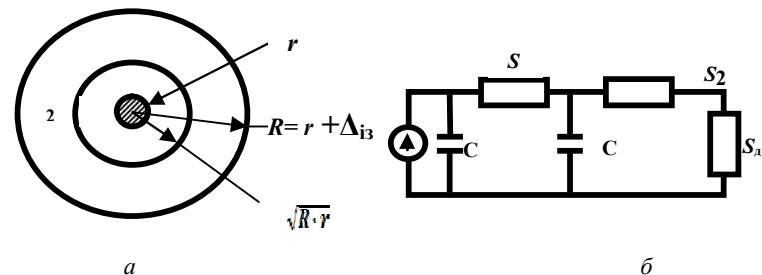


Рис. 1 - Схема моделі нагрівання *a* - ізольованого проводу в повітрі; *б* - відповідна схема заміщення

Рис. 2 свідчить про те, що для високовольтних кабелів з пластмасовою ізоляцією обидві моделі дають практично однакові результати щодо **визначення тривало допустимого струму**. Але для визначення перевантажувальної спроможності таких кабелів необхідне застосування методу зосереджених теплоємностей, оскільки кінетика нагрівання впродовж перших кількох годин перевантаження суттєво залежить від теплоємності жили і прилеглої до неї ізоляції.

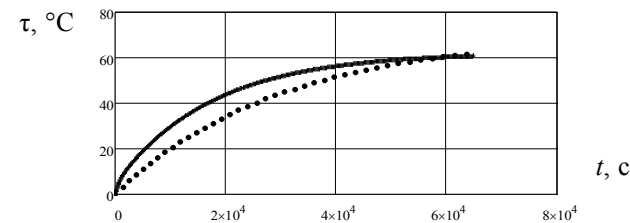


Рис. 2 – Криві перегріву τ кабелю АПвПЕг $1 \times 1300 - 220$ за моделями: пунктир – модель (1); суцільна – модель (2)

Аналіз складових кривих нагрівання кабелю АПвПЕг $1 \times 1300 - 220$ (рис.3), що ілюструють визначення допустимого півгодинного перевантаження і розраховані за моделями (1) і (2), свідчить, що різниця

між значеннями півгодинного перегріву кабелю за традиційною моделлю (1) $\tau\beta$ і

півгодинного перегріву за другою складовою моделі (2) $\tau_2 = P \cdot [S_f \cdot (1 - e^{-f'})]$ не перевищує 2 °С. Такою різницею можна було б знехтувати. Але, по-перше, ця різниця з часом збільшується, а, по-друге, різниця між значеннями півгодинного перегріву кабелю за традиційною моделлю (1) $\tau\beta$ і півгодинного перегріву за сумою складових моделі (2) $\tau = \tau_1 + \tau_2$ перевищує 6 °С і ця різниця з часом збільшується. Тому при визначенні перевантажувальної спроможності високовольтних кабелів з пластмасовою ізоляцією за наведеними результатами розрахунків доцільно використання методу зосереджених теплоємностей (модель (2)).

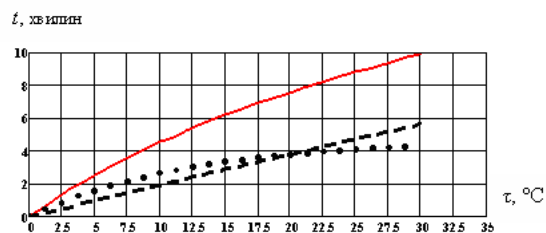


Рис. 3 – Складові кривих нагрівання кабелю АПвПЭг 1×1300 – 220, що ілюструють визначення допустимого півгодинного перевантаження: суцільна: $\tau = \tau_1 + \tau_2$ (модель (2)); пунктир: τ_1 ; штрихова: τ_2

В той же час рекомендація щодо доцільності прямого експериментального чи опосередкованого визначення значень параметрів моделі для розрахунку допустимого струму конкретних кабелів присутня практично в усіх міжнародних і відповідних національних стандартах серії 60287. Вибір значень параметрів і розрахункових моделей має бути обґрунтованим технічно. Економічні складові визначення пропускної спроможності відображені в стандарті ДСТУ ІЕС60287-3-3:2012, але вони стосуються виключно економічних аспектів в умовах експлуатації.

Для експериментального визначення теплових параметрів кабелю, зокрема параметра теплопередачі в оточуюче середовище, в його конструкцію вмонтовано спай чотирьох однакових термопар, які мають лінійну залежність термо-ЕРС аж до температури 350 °С («мідь-константан» з коефіцієнтом термо-ЕРС 0.05 мВ/К). Термопари розташовані в жилі, в ізоляції, в оболонці, і на поверхні кабелю таким чином, щоб мінімально впливати на температуру в місці спаю. Одержані криві нагрівання ізоляції кабелю свідчать про те, що модель (2) теж є наближеною. Для високовольтних кабелів з пластмасовою ізоляцією спостерігається відставання перегріву ізоляції від теоретичного за (2).

Тому необхідне експериментальне дослідження кінетики нагрівання цих, інноваційних для вітчизняної кабельної техніки потужних кабелів з метою побудови моделі, яка б враховувала особливості їх конструкції.

Результати досліджень. 1) Для високовольтних кабелів з пластмасовою ізоляцією відомі розрахункові моделі дають практично однакові результати щодо **визначення тривало допустимого струму** і таким чином діючі нормативні документи є застосовними. 2) Для визначення перевантажувальної спроможності таких кабелів необхідне застосування методу зосереджених теплоємностей, оскільки кінетика нагрівання впродовж перших кількох годин перевантаження суттєво залежить від теплоємності жили і прилеглої до неї ізоляції. 3) Експериментального дослідження кінетики нагрівання цих, інноваційних для вітчизняної кабельної техніки потужних кабелів з метою побудови моделі, яка б враховувала особливості цих кабелів свідчить про те, що модель (2) для високовольтних кабелів з пластмасовою ізоляцією з великим перерізом струмопровідної жили теж є досить наближеною і спостерігається відставання перегріву ізоляції від теоретичного, визначеного за (2).

Список літератури: 1. *Щебенюк Л.А.* До визначення пропускної спроможності високовольтних силових кабелів з пластмасовою ізоляцією. / *Л.А. Щебенюк, Т.Ю. Антоненко* // Вісник НТУ «ХП», – Харків: НТУ «ХП», 2011. – Вип.42.– С. 43 – 46. 2. ДСТУ ІЕС60287-1-1:2012. КАБЕЛІ ЕЛЕКТРИЧНІ. Обчислення номінальної сили струму. Частина 1 – 1. Співвідношення для обчислення номінальної сили струму (коефіцієнт навантаження 100 %) і обчислення втрат. Загальні положення. 3. *Карпушенко В.П.* Силові кабелі низької та середньої напруги. Конструювання, технологія, якість / *В.П. Капушенко, Л.А. Щебенюк, О.А. Науменко, Антоненко Ю.О.*; Харків: Регіон-Інформ.2000.- С. 270 – 289. 4. *Ларина Э.Т.* Силовые кабели и кабельные линии: [учебн. Пособие для вузов] / *Э.Т. Ларина* – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 368 с.

Поступила в редколлегию 05. 0 .2013

УДК 621.315.2

Кінетика нагрівання високовольтних силових кабелів із пластмасовою ізоляцією / *Л.А.Щебенюк, Т.Ю.Антоненко* // Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Харків: НТУ «ХП».– 2013. - №.17 (990). – С.165-169. Бібліогр.:4 назви. Іл.:3.

Виконан аналіз результатів розрахунків пропускної спроможності силових кабелів на напругу 220 кВ. Робота присвячена створенню системи розрахунку допустимого току високовольтних силових кабелів со сшитой поліетиленовою ізоляцією.

Ключевые слова: силовой высоковольтный кабель, длительно допустимый ток, теплоемкость.

The analysis of data of current calculation of the rating of cables at direct voltages up to 220 kV. The work is devoted to creation of a system of method for calculation of the current rating of high-voltage cables.

Keywords: power high-voltage cable, protractedly possible current, heat capacity.