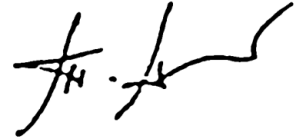


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Антонець Тарас Юрійович



УДК 620.179.148:621.315.2

**МЕТОД І ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮ КОРОТКОЧАСНОЇ
ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ВИСОКОВОЛЬТНОГО
КАБЕЛЮ В УМОВАХ ВИРОБНИЦТВА**

**Спеціальність 05.11.13 – прилади і методи контролю
та визначення складу речовин**

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі електроізоляційної та кабельної техніки Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Золотарьов Володимир Михайлович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків,
професор кафедри електроізоляційної та кабельної
техніки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Сахацький Віталій Дмитрович,
Харківський національний автомобільно-
дорожній університет,
професор кафедри метрології та безпеки
життєдіяльності

кандидат технічних наук, доцент
Хорошайло Юрій Євгенійович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки,
професор кафедри проектування та експлуатації
електронних апаратів

Захист відбудеться: 30.06.2016 р. о 14:30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.09 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий « 26 » 05 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Глоба С. М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. До недавнього часу основним типом кабелів високої напруги були маслонаповнені кабелі низького та високого тиску. Але освоєння технології виробництва високовольтних кабелів з ізоляцією зі зшитого поліетилену (ЗПЕ-кабелі) і безперечні переваги цих кабелів перед традиційними зумовили їх повсюдне застосування у всіх розвинених країнах і помітне скорочення використання інших типів кабелю.

Чим більше ЗПЕ-кабель стає популярнішим, тим більше ставляться питання щодо правильного обслуговування, випробування та діагностики як на етапі приймально-здавальних випробувань, так і при подальшій експлуатації. Тому вітчизняна нормативна база по випробуванням ЗПЕ-кабелів потребує подальшого удосконалення з залученням досвіду заводів-виробників кабелів.

Першочергово доцільно провести оцінку експлуатаційних характеристик ЗПЕ-кабелів, тобто реальної навантажувальної та перевантажувальної здатності. Оскільки є прецеденти, коли конкретний кабель в конкретних умовах прокладання не в змозі передати потужність, що заявлена заводом-виробником.

В світовій практиці використовується пряма оцінка експлуатаційної здатності кабелю в вигляді довготривалих випробувань, так званих long term test, тобто ресурсними випробуваннями. Велика тривалість (річні або дворічні) і значна вартість роблять ці випробування недоступними до використання в реальному виробництві.

Таким чином, науково-практична задача розробки оперативного методу контролю перевантажувальної здатності кабелів в поточному виробництві на етапі випробувань є актуальною. Це дозволяє підвищити швидкодію та достовірність неруйнівного контролю перевантажувальної здатності високовольтних кабелів та визначити напрям дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі електроізоляційної та кабельної техніки НТУ «ХПІ». Здобувач, як виконавець, брав участь у науково-дослідних держбюджетних роботах: «Розроблення стандартів, гармонізованих з міжнародними та європейськими» (Держспоживстандарт України, м. Київ ДР № 1148/92873), ДР № 767/81888 НТУ «ХПІ» та ДП «УкрНДНЦ», м. Київ, «Дослідження ефективності технологічного контролю в забезпеченні надійності кабельно-провідникової продукції в умовах діючого виробництва з метою розширення впровадження інноваційних продуктів в енергосистеми України» (ПАТ «ЗАВОД «ПІВДЕНКАБЕЛЬ», м. Харків, ДР № 81085).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення швидкодії і достовірності неруйнівного контролю перевантажувальної здатності високовольтного кабелю в умовах виробництва шляхом використання диференційного методу вимірювання температури елементів конструкції та використання додаткової тепло ізолюючої оболонки.

Для досягнення цієї мети поставлені наступні задачі:

1. Визначити особливості розподілу температури в високовольтному кабелі з використанням аналогії електричного і теплового поля на основі мате-

матичного моделювання розподілу градієнта температури та експериментальних випробувань.

2. Експериментально визначити закономірності для параметрів тепловіддачі з поверхні кабелю в повітрі.
3. Розробити метод контролю короткочасної перевантажувальної здатності кабелю в умовах виробництва.
4. Розробити систему технологічного контролю для визначення кількісного показника короткочасної перевантажувальної здатності кабелю в умовах виробництва.

Об'єкт дослідження – процес випробування високовольтного силового кабелю при нагріві струмом перевантаження в умовах виробництва для визначення показника короткочасної перевантажувальної здатності.

Предмет дослідження – метод і пристрій, що підвищують швидкодію і достовірність технічного контролю короткочасної перевантажувальної здатності високовольтного кабелю в умовах виробництва.

Методи дослідження базуються на використанні: методу теплового балансу кабелю у стаціонарному режимі, моделі радіального електричного поля ізоляції; методу зосереджених теплоємностей; аналогії електричного і теплового поля для визначення розподілу температури в конструкції кабелю; критеріїв подібності теплових процесів і закону Стефана-Больцмана для визначення параметрів охолодження кабелю в повітрі; математичної статистики для визначення розсіювання експериментальних даних.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Запропонована багатовимірна модель оптимізації товщини ізоляції високовольтного силового кабелю. Встановлено, що існує діапазон товщини ізоляції, в межах котрого за зменшенням товщини ізоляції пропускна здатність кабелю може знижуватися до 3%.
2. Отримано аналітичний опис градієнта теплового потенціалу в елементах конструкції кабелю. Встановлено, що найбільше значення градієнта теплового потенціалу на водоблокуючому шарі, котрий в конструкції грає роль теплового бар'єру.
3. Обґрунтовано перспективний спосіб визначення параметрів тепловіддачі для кабелю в повітрі за допомогою багатовимірної моделі, котра являє собою систему рівнянь і дозволяє виконати експериментальну перевірку отриманих значень в умовах виробництва.
4. Розроблено модель нагріву жили в початковий період включення кабелю, котра дозволяє оцінити короткочасну перевантажувальну здатність кабелю. Визначена стала нагріву жили, яка залежить тільки від параметрів кабелю, і є критерієм короткочасної перевантажувальної здатності.

Практичне значення отриманих результатів для галузей електроенергетики та кабельної техніки полягає у розробці моделі технічного контролю оцінки оптимальної товщини ізоляції високовольтних ЗПЕ-кабелів при прокладанні в повітрі з точки зору пропускної здатності, напруженості електричного поля і вартості матеріалу ізоляції.

Визначення параметрів тепловіддачі для кабелю, прокладеного в повітрі, дає змогу в оперативному плані виконати аналітичну перевірку отриманих значень в умовах виробництва.

Запропоновано перспективний метод неруйнівного контролю короткочасної перевантажувальної здатності кабелю, який полягає в нагріві кабелю струмом перевантаження в конкретних умовах оточуючого середовища і вимірюванні температури елементів конструкції кабелю.

Розроблено провід для заземлення, що є частиною комплексу апаратури для реалізації запропонованого методу неруйнівного контролю (Пат. 64306 Україна, МПК H01B 7/02 (2006.01))

Результати роботи використано при розробці державних стандартів України, узгоджених з європейськими і світовими стандартами в сфері контролю характеристик кабелів і проводів.

Розроблений оперативний метод впроваджено на ПАТ «ЗАВОД «ПІВДЕНКАБЕЛЬ» та використано в навчальному процесі кафедри електроізоляційної і кабельної техніки НТУ «ХПІ» за спеціальністю 7.0906.04 «Техніка і електрофізика високих напруг» в практичних і лабораторних заняттях за курсами «Кабельна техніка», «Технологія виготовлення проводів», «Надійність і діагностика ізоляції».

Особистий внесок здобувача. Всі основні теоретичні і практичні результати дисертаційної роботи, що винесені на захист, отримані здобувачем особисто. Серед них: розробка багатовимірної моделі оптимізації товщини ізоляції високовольтного силового кабелю; спосіб експериментального визначення параметрів тепловіддачі для кабелю, що прокладений в повітрі; в умовах діючого виробництва виконано експериментальне дослідження кривих нагріву кабелів на напругу 35 і 110 кВ; розробка моделі нагріву жили в початковий період роботи кабелю; удосконалення методу контролю короткочасної перевантажувальної здатності високовольтного кабелю з ізоляцією зі зшитого поліетилену; розробка комплексу апаратури для реалізації оперативного методу неруйнівного контролю перевантажувальної здатності кабелю.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідались на: Міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків, 2010, 2012, 2013 рр.) та науково-технічній раді ПАТ «ЗАВОД «ПІВДЕНКАБЕЛЬ» (2013, 2014, 2015 рр.).

Публікації. Основний зміст дисертації відображено у 17 наукових публікаціях, з них: 12 статей у наукових фахових виданнях України (2 – у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз), 1 стаття у закордонному періодичному фаховому виданні, 1 патент України, 3 на наукових конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатку. Загальний обсяг дисертації становить 137 сторінок, з них: 68 рисунків по тексту; 4 таблиці по тексту; списку використаних джерел з 102 найменувань на 10 сторінках, 1 додатку на 4 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі відзначена актуальність теми дослідження, зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, вказана наукова новизна та практичне значення роботи, розглянуто особистий внесок здобувача у друкованих роботах із співавторами, наведена апробація роботи та її структура.

У першому розділі виконано аналіз сучасних методів визначення пропускну здатності силових кабелів та особливості силових високовольтних кабелів із зшитого поліетиленовою ізоляцією.

Діючи нормативні документи (серія стандартів IEC 60287) встановлює розрахунок номінального струму (current rating 100 % load factor) на основі стаціонарного теплового балансу за умови обмеження необмежено тривалої температури жили. Більшість розрахункових співвідношень включають параметри, що визначаються експериментально. І всі стандарти серії IEC 60287 рекомендують уточнення цих параметрів для конкретних кабелів і конкретних умов прокладання.

ЗПЕ-кабелі є інноваційною продукцією вітчизняної кабельної техніки. У цих кабелів є ряд особливостей конструкції, які впливають на їх пропускну здатність: більші, ніж у традиційних маслом наповнених кабелів, значення площі перерізу жил, товщини ізоляції і товщини напівпровідних екранів монолітних з ізоляцією, це зумовлює суттєву залежність динаміки нагріву від теплоємності жили і ізоляції; більша, ніж у традиційних маслом наповнених кабелів, допустима температура ізоляції (90 °C), що зумовлює високі значення допустимого струму і значно збільшує втрати енергії за робочих температур, а це вимагає окремого розгляду економічних аспектів; суттєва залежність теплопровідності і теплоємності поліетиленової ізоляції від температури; відсутність масивних металевих захисних покривів, що полегшує конструкцію, але зумовлює необхідність поперечної герметизації кабелю. Наявність водоблокуючих елементів конструкції з високим питомим тепловим опором (до 50 °C·м/Вт) суттєво змінює динаміку нагріву ЗПЕ-кабелю.

Для врахування цих особливостей доцільним є створення мультимірної моделі оптимізації товщини ізоляції високовольтного ЗПЕ-кабелю, яка б включала три підходи: модель для визначення максимальної напруженості електричного поля в ізоляції; модель теплового балансу в стаціонарному режимі для визначення номінального струму жили; та модель збільшення вартості ізоляції за збільшення максимальної напруженості електричного поля в ній.

Врахування збільшення ціни на ізоляцію при збільшенні допустимої максимальної напруженості електричного поля в принципі дозволяє прийняти оптимальне технічне рішення. Але нетривіальною особливістю є можливість наявності максимуму на залежності номінального струму від допустимої максимальної напруженості електричного поля, тобто при зменшенні товщини ізоляції, номінальний струм зменшується. Це зумовило доцільність аналізу теплового поля в ЗПЕ-кабелі.

Таким чином, обґрунтовано розробку мультимірної моделі оптимізації товщини ізоляції, яка забезпечує баланс між пропускну здатністю кабелю, максимальною напруженістю електричного поля в ізоляції і вартістю ізоляції.

Ця особливість зумовлена відносно великими діаметрами високовольтних ЗПЕ-кабелів, за яких відведення тепла з поверхні кабелю залежить від різних складових.

Діючі нормативні документи встановлюють розрахунок номінального струму на основі стаціонарного теплового балансу за умови обмеження тривало допустимої температури жили, тому існуючі методи розрахунку нагріву кабелю дають однакові результати для тривалого часу дії струму. Але силові кабелі в реальності ніколи не працюють в такому режимі. Для ЗПЕ-кабелю на 110 кВ розрахункова температура жили через дві години після включення за двома різними моделями відрізняється на 30 °С. Така різниця виключає використання цих моделей для визначення короткочасної перевантажувальної здатності без експериментальної перевірки. Виникають певні питання щодо впливу динаміки зміни температури в ізоляції, прилеглої до жили, та деградацію кабелю в нестаціонарних режимах роботи.

Таким чином, є необхідність у визначенні кількісного критерію оцінки динаміки нагріву жили в умовах поточного виробництва і співставленні його з результатами вимірювання залежності тангенса кута діелектричних втрат і інтенсивності часткових розрядів для виявлення дефектів у високовольтній ізоляції із зшитого поліетилену.

Другий розділ присвячено дослідженню можливості використання аналогії процесів переносу зарядів і переносу тепла для визначення розподілу напруженостей теплового поля в елементах конструкції ЗПЕ-кабелю.

За аналогією з процесом переносу зарядів при постійному струмі перенос тепла через однорідний елемент конструкції кабелю описується інтегральним співвідношенням

$$\oint \lambda E_T dS = P, \quad (1)$$

де P – потужність стаціонарного теплового потоку на одиницю довжини кабелю; S – площа поверхні, через яку проходить потік тепла; λ – питома теплопровідність матеріалу елемента; E_T – напруженість теплового поля.

Поперечний переріз кабелю має осьову симетрію, для i – того елемента конструкції кабелю градієнт теплового потенціалу:

$$E_T(x) = \frac{P}{2\pi x \lambda_i} \quad \text{чи} \quad -\frac{d\tau}{dx} = \frac{P}{2\pi x \lambda_i}, \quad (2)$$

де $\frac{d\tau}{dx}$ – градієнт теплового потенціалу; для радіального поля $\frac{d\tau}{dx} = \frac{d\tau}{dr}$.

Різниця температур між жилою і поверхнею кабелю $\tau = \theta_{\text{ж}} - \theta_{\text{пов}}$ дорівнює сумі різниць температур $\Delta \tau_i$ на всіх елементах конструкції кабелю

$$\tau = \Delta \tau_1 + \Delta \tau_2 + \dots + \Delta \tau_n = \frac{P}{2\pi} \left(\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r_1}{r_{\text{ж}}} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_2}{r_1} + \dots + \frac{1}{\lambda_n} \ln \frac{r_n}{r_{n-1}} \right), \quad (3)$$

де n – кількість врахованих елементів в конкретній конструкції.

Абсолютне значення градієнта теплового потенціалу в i – ому елементі конструкції кабелю має вигляд

$$\frac{d\tau}{dr} = \frac{2\pi(\theta_{\text{ж}} - \theta_{\text{пов}})}{r\lambda_i \left(\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r_1}{r_{\text{ж}}} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_2}{r_1} + \dots + \frac{1}{\lambda_n} \ln \frac{r_n}{r_{n-1}} \right)}, \quad (4)$$

де r – радіус в діапазоні від r_{i-1} до r_i ; і після заміни $\frac{1}{\lambda_i} = \sigma_i$, σ_i – питомий тепловий опір матеріалу i – того елемента.

На основі (4) одержано аналітичний опис розподілу градієнта теплового потенціалу $d\tau/dr$ в елементах конструкції ЗПЕ-кабелю (рис.1).

Інтегрування функції градієнта перегріву (4) дозволяє отримати аналітичний опис розподілу температури в елементах конструкції кабелю у вигляді кусочно-неперервної функції (рис.2)

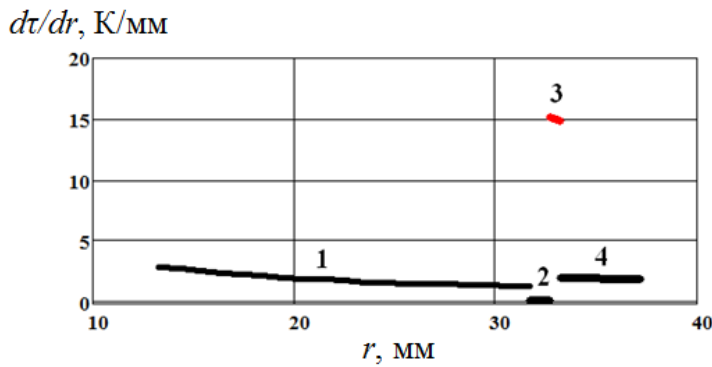


Рисунок 1 – Розподіл градієнта теплового потенціалу в елементах конструкції ЗПЕ-кабелю в номінальному режимі: 1– ізоляція; 2 – мідний екран; 3 – водоблокуючий шар; 4 – оболонка

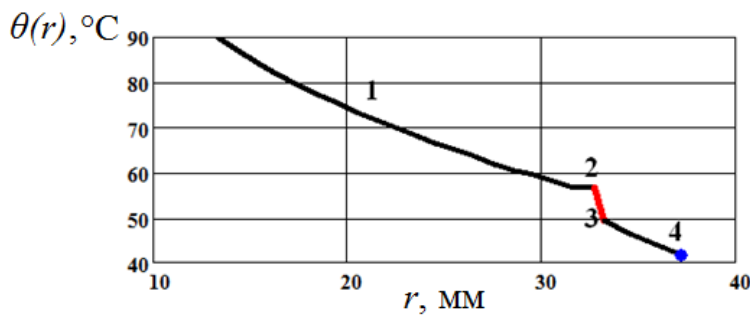


Рисунок 2 – Розподіл температури в елементах конструкції ЗПЕ-кабелю у вигляді кусочно-неперервної функції: 1– ізоляція; 2 – мідний екран; 3 – водоблокуючий шар; 4 – оболонка.

В стаціонарному режимі значення градієнта теплового потенціалу $d\tau/dr$ і розподілу температури в елементах конструкції ЗПЕ-кабелю є взаємозалежними зі значенням номінального струму, який залежить від теплофізичних параметрів середовища. Для врахування всіх цих впливів в конкретних умовах випробування запропонована мультимірна модель для визначення теплофізичних параметрів відведення тепла з поверхні кабелю. Модель представляє собою систему трьох співвідношень: рівняння теплового балансу (5), тепловий закон Ома (7) та співвідношення у вигляді кусочно-неперервної функції для аналітичного опису розподілу температури в кабелі (6):

$$I = \sqrt{\frac{\theta_g - \theta_{oc}}{R(\theta_g) \left[S_{i3} + S_v + S_{3п} + \frac{1}{\pi d h(\Delta\theta_s)^{1/4}} \right]}}, \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \theta_g - \int_{r_g}^{r_1} \frac{(\theta_m - \theta_{oc} - \Delta\theta_s) \sigma_{и3}}{2\pi(S_{i3} + S_v + S_{3п})} \frac{dx}{x} &= \Delta\theta_s + \theta_{oc} + \int_{r_m}^{r_2} \frac{(\theta_g - \theta_{oc} - \Delta\theta_s) \sigma_v}{2\pi(S_{i3} + S_v + S_{3п})} \frac{dx}{x} + \\ &+ \int_{r_2}^{r_3} \frac{(\theta_g - \theta_{oc} - \Delta\theta_s) \sigma_{3п}}{2\pi(S_{i3} + S_v + S_{3п})} \frac{dx}{x}, \end{aligned} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta\theta_s &= I^2 \cdot R(\theta_g) \cdot \frac{1}{\pi d h(\Delta\theta_s)^{1/4}}, \end{aligned} \right. \quad (7)$$

де rm – радіус по мідному екрану; $S_{із}$, S_v , $S_{зп}$ – відповідно тепловий опір ізоляції, водоблокуючого шару і захисного покриття.

Результати розрахунків на основі моделі (5)-(7) для кабелю АПвЕВнгд – 110 кВ 1×500/95 представлені на рис. 3. Розрахунки виконано за умови температури повітря 10 °С в приміщенні і максимальної температури в стаціонарному тепловому режимі від 55 до 90 °С.

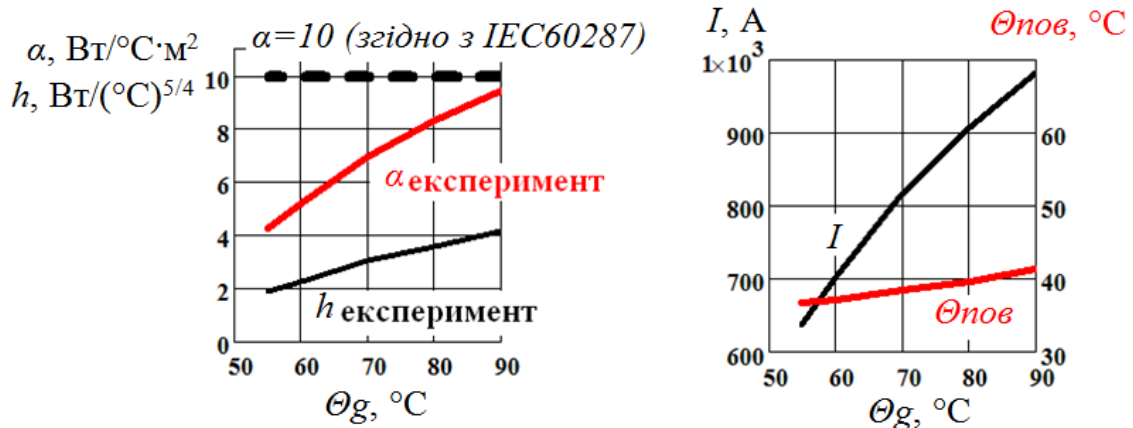


Рисунок 3 – Номінальний струм і параметри тепловіддачі з поверхні ЗПЕ-кабелю: θ_g , $\theta_{пов}$ – відповідно температури жили та поверхні, °С; α , h – відповідно коефіцієнт теплового розсіювання (згідно з IEC60287) та коефіцієнт тепловіддачі з поверхні.

Таким чином, в ізоляції ЗПЕ-кабелю рівномірний розподіл градієнту теплового потенціалу (1,5 – 1,8) К/мм; найбільше значення градієнту у водоблокуючому шарі, який виконує роль локального теплового бар'єру і зумовлює слабе зменшення градієнту в ізоляції; практично нульовий градієнт теплового потенціалу в мідному екрані, що є наслідком високої теплопровідності міді. Це зумовлює доцільність вимірювання температури саме в мідному екрані при проведенні експериментів для зменшення систематичної похибки вимірювань.

Міжнародні стандарти серії IEC 60287 рекомендують перевірку значень параметрів тепловіддачі в конкретних умовах прокладання. За відсутності такої можливості коефіцієнт тепловіддачі слід приймати 10 Вт/°С м². Але силові кабелі практично ніколи не працюють в номінальному режимі, про що свідчать наведені на рис.3 результати. Оскільки в жодному реальному режимі рекомендоване значення коефіцієнту тепловіддачі не є застосовним.

Розроблена мультимірна модель (5,6,7) дає можливість оперативного визначення стану кабелю та дозволяє виконати експериментальну перевірку значень.

Третій розділ присвячено дослідженню динаміки нагріву високовольтного силового кабелю із зшитю поліетиленовою ізоляцією.

Запропоновано модель нагріву жили на початку роботи кабелю. Модель є розв'язком диференційного рівняння другого степеня для теплового балансу впродовж адіабатного нагріву кабелю

$$\Theta(t) = \Theta_{oc} + \frac{\Theta_{ж}^* - \Theta_{oc}}{e^{x_2 t^*} - 1} (e^{x_2 t} - 1), \quad (8)$$

де x_2 – корінь характеристичного рівняння, що не залежить від умов оточуючого середовища.

Корінь рівняння при перетворенні $\beta_{жс} = (-x_2)^{-1}$ визначає сталу часу нагріву жили. Тому це значення може бути співставлене з оцінками динаміки нагріву жили за методом зосереджених теплоємностей та за класичною моделлю нагріву в кабельній техніці.

В таблиці 1 наведено порівняння результатів розрахунку сталої нагріву жили, визначеної за різними моделями для кабелю АПвЕВнгд 1×500/95 – 110.

Таблиця 1 – Порівняння результатів розрахунку

Стала часу нагріву жили, визначена за різними моделями, с		
Класична модель кабельної техніки	Метод зосереджених теплоємностей (сума двох експонент)	Розроблена модель нагріву
$\tau_{max} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\beta_{жс}}}\right)$	$PS_g \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\beta_{1жс}}}\right) + PS_f \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\beta_{2жс}}}\right)$	$\frac{\Theta_{жс}^* - \Theta_{ос}}{e^{\frac{t}{\beta_{жс}}} - 1} \times (e^{\frac{t}{\beta_{жс}}} - 1)$
$\beta_{жс} = 2,98 \cdot 10^4$	$\beta_{1жс} = 4,6 \cdot 10^2$ $\beta_{2жс} = 1,5 \cdot 10^4$	$\beta_{жс} = 1,9 \cdot 10^3$

Чим більше значення сталої часу нагріву $\beta_{жс}$, тим більша перевантажувальна здатність кабелю. Тому різниця між оцінками, наведеними в таблиці, проаналізована і перевірена в умовах поточного виробництва.

Основний висновок з натурних експериментів полягає в тому, що на початку нагріву високовольтного ЗПЕ-кабелю температура жили зростає швидше, ніж це впливає з існуючих моделей нагріву силових кабелів. Одночасно з нагрівом жили нагрівається і прилегла до неї ізоляція, в якій найбільші напруженості електричного поля і внутрішні механічні напруги. Тому стала часу нагріву жили є кількісним показником не тільки короткочасної перевантажувальної здатності, але є характеристикою, що відображає інтенсивність процесів деградації ізоляції.

Для визначення теплофізичних параметрів відведення тепла з поверхні кабелю виконано розрахунки із застосування критеріїв подібності теплових процесів. Результати розрахунків для реального діапазону перегріву наведено на рис. 4.

Встановлено: із збільшенням діаметра кабелю вклад конвективної складової відведення тепла з поверхні зменшується; при незначній різниці температур поверхні та оточуючого середовища $\Delta\Theta_s$, меншій за 10 К, конвективна складова тепловідведення менша за складову випромінювання.

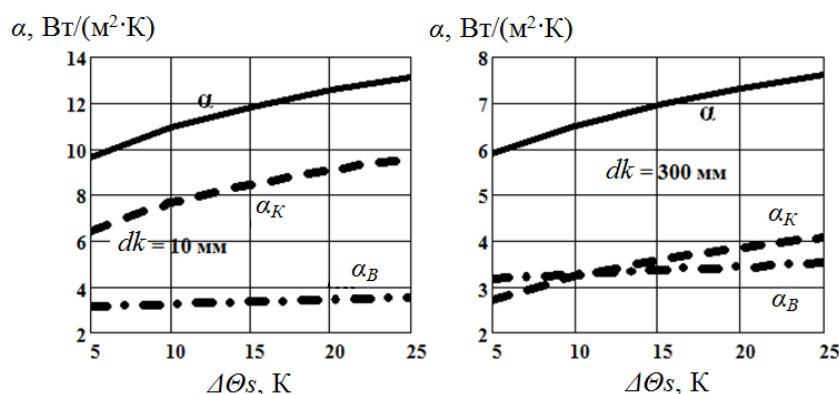


Рисунок 4 – Складові конвекції та випромінювання коефіцієнту відведення тепла з поверхні для кабелів різних діаметрів

На рис. 5 наведено співставлення результатів розрахунку параметрів тепловіддачі з результатами експериментальної перевірки на поточному виробництві за допомогою розробленої мультимірної моделі.

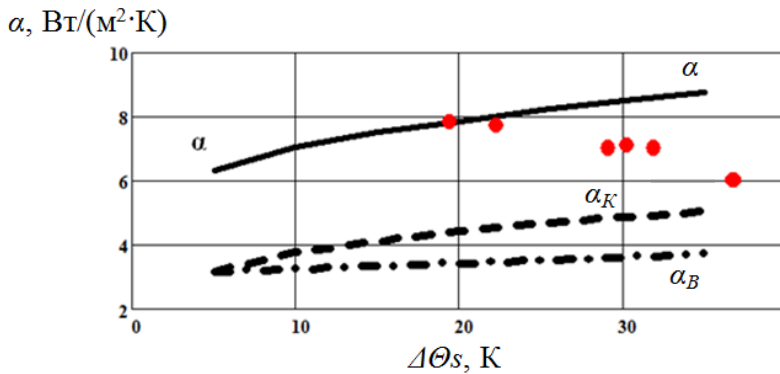


Рисунок 5 – До порівняння теоретичних і експериментальних оцінок коефіцієнта тепловіддачі для кабелю АПвЕВнгд на напругу 110 кВ в приміщенні за температури повітря 10 °С

Співставлення теоретично визначених значень коефіцієнту теплопередачі α з результатами експерименту підтвердило достатню для практичного застосування точність запропонованого способу визначення α за допомогою мультимірної моделі.

Таким чином, теоретичний розрахунок дає можливість реально оцінити коефіцієнт тепловіддачі для кабелів, що прокладені у повітрі. Відзначено, що і теоретичний розрахунок, і експериментальні вимірювання менші, ніж рекомендоване у міжнародному стандарті ІЕС 60287 значення коефіцієнту тепловіддачі ($\alpha=10$ Вт/м² К). З іншого боку, дані на рисунку 5 свідчать про те, що експериментальне уточнення значення α є доцільним для реальних умов експлуатації кабелів.

Виконано теоретичні розрахунки взаємного електромагнітного впливу струмів в кабелях трьохфазної системи. При прокладанні трьох одножильних кабелів в трьохфазну систему умови їх охолодження відрізняються від умов охолодження одиночного кабелю. А також проведено експериментальні дослідження теплового режиму трьох одножильних кабелів, розташованих у площині впритул. Результати вимірювання температури наведені на рисунку 6.

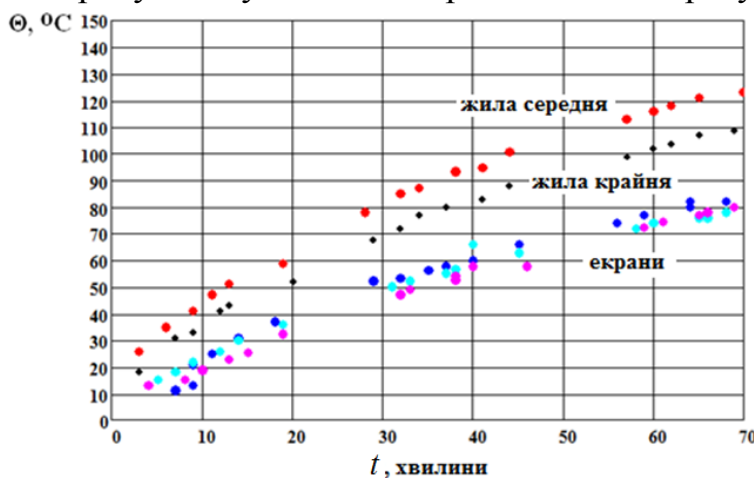


Рисунок 6 – Результати вимірювання температури в процесі нагріву трьох одножильних кабелів АПвЕгаПу на напругу 35 кВ, розташованих в горизонтальній площині впритул.

За розрахунками для кабелю на напругу 35 кВ з перерізом жили 70 мм² (розташування трьох фаз горизонтально впритул) при струмі в крайніх фазах 312А в се ренії фазі – 300А. В експерименті одержані значення: 312А, 303А.

Відзначено, що температура жили середнього кабелю є меншим значенням струму є суттєво більшою. Ця різниця з часом збільшується і після години нагріву становить $(15 \pm 1) ^\circ\text{C}$. В такому разі нагрів всіх трьох кабелів залежить тільки від взаємодії теплових полів в кабелях і навколо них.

Таким чином, при розташуванні трьох одножильних кабелів в площині впритул з однонапрямленими струмами і за відсутності повздовжніх струмів в екранах практично забезпечена симетрія струмів в кабелях. Випробування для визначення перевантажувальної здатності можуть бути виконані на одному кабелі за умови, що його номінальний струм визначений для середнього з трьох, прокладених в одній площині.

Розрахунки із застосування критеріїв подібності теплових процесів дозволили визначити теоретичну умову тривалості адіабатного періоду нагріву, для котрого запропонована модель нагріву жили є застосовною: конвективна складова коефіцієнту тепловіддачі не більше складової випромінювання ($\alpha_k \leq \alpha_\epsilon$).

Експериментальна перевірка вказаної тривалості: виміряна температура поверхні кабелю має не більше, ніж на $4 ^\circ\text{C}$ перевищувати температуру оточуючого середовища ($\Delta\theta_s \leq 4 ^\circ\text{C}$). Для забезпечення однакових умов для кабелів різних діаметрів передбачено накладання додаткової теплоізолюючої оболонки для досягнення зовнішнього діаметру конструкції 100 мм. Додаткова оболонка дозволяє також зменшити час нагріву кабелю.

Четвертий розділ присвячено розробленню методу контролю короткочасної перевантажувальної здатності високовольтного силового кабелю зі зшитою поліетиленовою ізоляцією.

Значення коефіцієнта чверть-годинної перевантажувальної здатності як відношення струму перевантаження до номінального струму визначено за експоненційною моделлю нагріву жили кабелю в адіабатний період:

$$K_{0,25} = I_n / I_n = [1 - \exp(-t/\beta)]^{-0,5}, \text{ де } t = 900 \text{ с; } \beta = \beta_{ж}. \quad (9)$$

В таблиці 2 співставленні оцінки сталої часу нагріву та відповідні значення коефіцієнту чверть-годинної перевантажувальної здатності, що отримано різними методами. Стала часу нагріву жили $\beta_{ж}$ та коефіцієнт чверть-годинної перевантажувальної здатності $K_{0,25}$ є показниками короткочасної перевантажувальної здатності кабелю, які чутливі до конструктивних і технологічних відмінностей ЗПЕ-кабелів.

Таблиця 2 – Співставлення оцінок сталої часу нагріву та коефіцієнту чверть-годинної перевантажувальної здатності

Тип кабелю	Стала часу нагріву жили $\beta_{ж}$, с	Коефіцієнт чверть-годинної перевантажувальної здатності $K_{0,25} = I_n / I_n$
АПВЕНгд $1 \times 500 - 110$, $\Delta i_3 = 16$ мм	$1,90 \cdot 10^3$	1,63
АПВЕНгд $1 \times 500 - 110$, $\Delta i_3 = 17$ мм	$1,98 \cdot 10^3$	1,68
АПВЕНгПу $1 \times 70/16-35$	$3,68 \cdot 10^2$	1,05

Характеристики $\beta_{ж}$ і $K_{0,25}$ можуть бути визначені для будь-якого конкретного кабелю з прийнятними для діючого виробництва затратами часу і коштів.

Тому запропоновано використовувати їх для технологічного контролю. Ці характеристики стосуються області ізоляції ЗПЕ-кабелю, яка в нестационарному тепловому режимі має найбільшу температуру, співпадає з областю найбільшої напруженості електричного поля, а в режимі перевантаження характеризується найбільш швидким зростанням температури. Останнє зумовлює зростання внутрішніх механічних напруг в ізоляції.

На рис. 7 зображена блок-схема запропонованого методу контролю. Блок 2 відображає нагрів кабелю струмом I_H , що розраховано згідно з нормативним документом ІЕС60287. Кабель знаходиться в додатковій теплоізоляційній оболонці, розрахунок и накладання котрої передбачено блоками 2.1 і 2.2. Для кабелю в оболонці струм I_H буде струмом перевантаження. Визначення показника короточасної перевантажувальної здатності згідно запропонованій моделі нагріву жили відображає блок 3. В блоці 4 зображено поєднання запропонованого методу з існуючими електричними випробуваннями ЗПЕ-кабелів, які виконуються в одному комплексі і використовуються при аналізі результатів випробувань.

Швидкість зростання температури в період адіабатного нагріву жили і прилеглого прошарку ізоляції визначається аналітично як регресія експериментальних точок нагріву в початковий період нагріву кабелю.

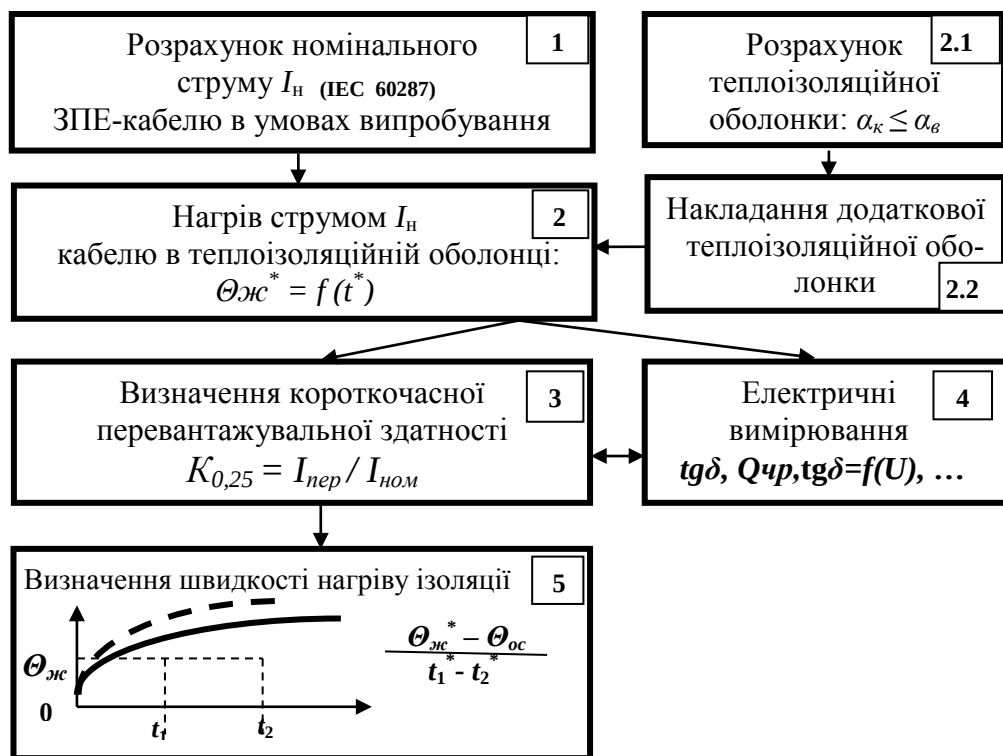


Рисунок 7 – Блок-схема методу контролю короточасної перевантажувальної здатності високовольтного силового ЗПЕ-кабелю в умовах виробництва.

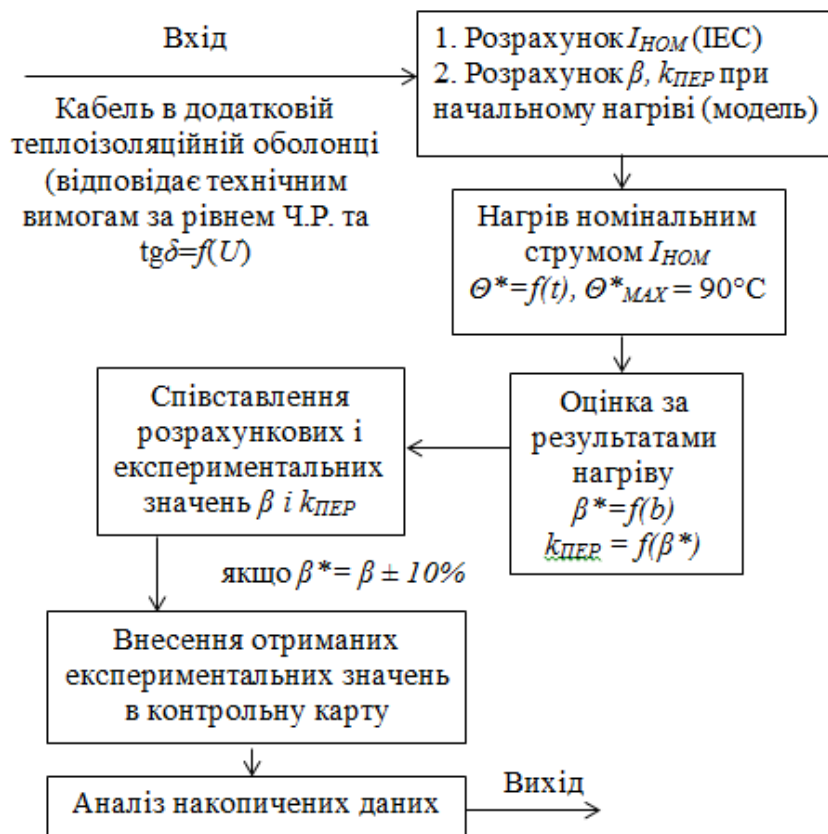


Схема алгоритму прийняття рішення для оцінки кривої перевантажувальної здатності за допомогою розробленого методу приведена на рис. 8. Контроль продукції, котра відповідає технічним умовам, для накопичення даних дозволяє виконувати технічний контроль на виробництві, тобто проводити аналіз рівня технології.

Рисунок 8 – Схема алгоритму прийняття рішення для оцінки кривої перевантажувальної здатності

Для реалізації розробленого методу контролю короточасної перевантажувальної здатності запропоновано схему для адіабатного нагріву кабелю (рис.9).

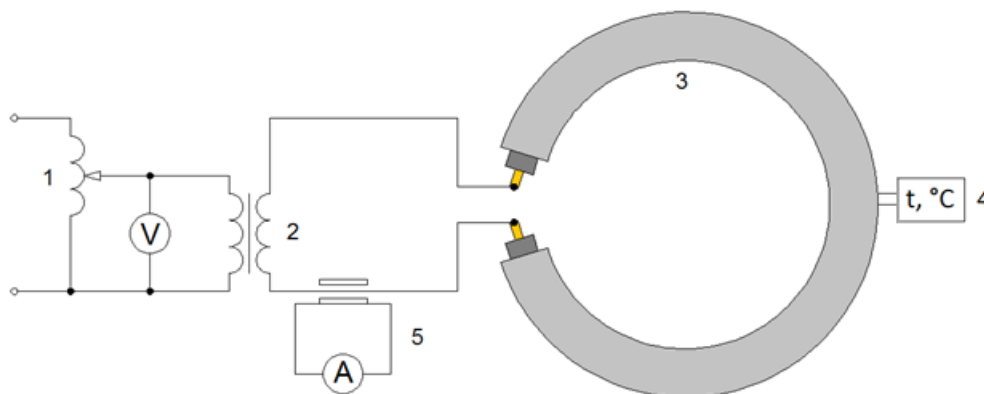


Рисунок 9 – Схема для адіабатного нагріву ЗПЕ-кабелю: 1- латр для регулювання напруги; 2 – трансформатор нагрівний; 3 – кабель в теплоізоляційній оболонці; 4 – цифровий термодатчик на жилі і екрані; 5 – амперметр;

При розробці схеми нагріву використано запатентований провід для заземлення. Цифровий температурний датчик виконано на основі напівпровідникового датчика DS18B20. Принцип дії: датчик містить два генератора, частота одного з котрих залежить від температури, а другого – не залежить. Частоти двох генераторів порівнюються, і відповідне значення температури представляється

бінарним кодом. Дані поступають на мікроконтролер, обробляються, і значення температури виводиться на індикатор. Процес обробки та передачі триває максимум 750 мс.

Передача даних по однопровідній шині (протокол 1-wire). Кожен датчик має свій унікальний 64-бітний код, це дає можливість підключення до одного мікроконтролера практично необмеженій кількості датчиків. Мікроконтролер за цим кодом опитує по черзі кожен датчик і виводить температуру на дисплей.

Амперметр представляє собою вимірювальні кліщі, котрі дають можливість вимірювання струму в жилах кабелю без розриву ланцюга. Така гальванічна розв'язка дозволяє достатньо просто проводити вимірювання в високовольтних ланцюгах.

Система контролю короткочасної перевантажувальної здатності ЗПЕ-кабелів інтегрується в існуючу систему контрольних випробувань на виробництві.

Для зменшення руйнівної дії на ізоляцію ЗПЕ-кабелів спостерігається чітка тенденція зниження рівня випробувальної напруги і частоти з одночасним збільшенням тривалості випробувань і впровадження неруйнівних методів контролю. Таким чином, запропонований метод є шагом на шляху насичення випробувань ЗПЕ-кабелів неруйнівними діагностичними процедурами.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-практична задача розробки оперативного методу контролю короткочасної перевантажувальної здатності ЗПЕ-кабелів в поточному виробництві.

Основні результати роботи:

1. Отримано аналітичний опис градієнта теплового потенціалу в елементах конструкції кабелю. Встановлено, що найбільше значення градієнта теплового потенціалу на водоблокуючому шарі, котрий в конструкції грає роль теплового бар'єру.

Обґрунтовано розробку мультивимірної моделі оптимізації товщини ізоляції. За результатами розроблено рекомендації: для кабелю на 110 кВ з перерізом жили від 500 мм² до 800 мм², прокладеному в повітрі, доцільне збільшення товщини ізоляції до (17 – 18) мм з метою забезпечення стабільної пропускної здатності кабелю; для кабелю на 220 кВ з перерізом жили (500 – 1200) мм², прокладеному в повітрі, доцільним є плюсовий допуск на товщину ізоляції.

Розроблено модель нагріву високовольтного кабелю, котра описує його короткочасну перевантажувальну здатність. Параметр моделі відображає сталу нагріву кабелю, тому його значення може бути співставлене з результатами розрахунків за існуючими моделями.

Визначено, що стала часу запропонованої моделі не залежить від умов оточуючого середовища, тобто є якісною характеристикою самого кабелю.

2. Вдосконалено спосіб визначення параметрів тепловіддачі для кабелю у повітрі за рахунок використання розробленої мультивимірної моделі, яка дає можливість експериментальної перевірки розрахункових значень параметрів.

3. Запропоновано оперативний метод оцінки короткочасної перевантажувальної здатності високовольтного кабелю. Застосування додаткової теплоізоляційної оболонки дозволяє: уніфікувати умови проведення випробувань для різних кабелів, а також виключити вплив оточуючого середовища; зменшити час випробувань, що дозволяє проводити їх на кожній будівельній довжині.

Диференційний метод вимірювання температури елементів конструкції кабелю дозволяє усунути адитивну похибку. Таким чином, метод дозволяє підвищити швидкодію і достовірність контролю перевантажувальної здатності високовольтного силового кабелю.

4. Розроблено систему технологічного контролю для визначення кількісного показника короткочасної перевантажувальної здатності кабелю в умовах виробництва. Система інтегрується в існуючий на виробництві комплекс випробувань і дає важливу додаткову інформацію про перевантажувальну здатність ЗПЕ-кабелів.

Запропоновано комплекс апаратури, котрий включає сертифіковані прилади та обладнання. Здобуто патент на провід для заземлення, а також запропоновано спосіб і пристрій для нанесення на кабель додаткової теплоізоляції.

5. Результати роботи впроваджені у промислове виробництво силових кабелів ПАТ «ЗАВОД «ПІВДЕНКАБЕЛЬ» та у навчальний процес кафедри електроізоляційної та кабельної техніки НТУ «ХП».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Антоненц Т. Ю. Математическая модель для расчета наведенных напряжений на экранах кабелей / Т. Ю. Антоненц, С. Ю. Антоненц, В. М. Золотарев, А. А. Науменко // Вісник НТУ «ХП». – Харків НТУ «ХП», 2010. – № 18. – С. 3-8.

Здобувачем розроблена математична модель наведених напруг на екранах однофазних силових кабелів з урахуванням моделі розсіювання.

2. Антоненц Т. Ю. До визначення пропускної спроможності високовольтних силових кабелів з пластмасовою ізоляцією / Л.А. Щебенюк, Т.Ю. Антоненц // Вісник НТУ «ХП». – Харків НТУ «ХП», 2011. – № 41. – С. 134-139.

Здобувачем розроблена математична модель процесу для визначення пропускної спроможності високовольтних кабелів з пластмасовою ізоляцією.

3. Антоненц Т. Ю. Визначення перевантажувальної спроможності силового кабелю, прокладеного в приміщенні / Л. А. Щебенюк, Т. Ю. Антоненц, І. С. Кочін // Вісник НТУ «ХП». – Харків НТУ «ХП», 2011. – № 60. – С. 97-102.

Здобувачем експериментально оцінено кратність півгодинного перевантаження силового кабелю, прокладеного в повітрі.

4. Антоненц Т. Ю. До визначення втрат в металевих захисних елементах високовольтних кабелів із зшитю поліетиленовою ізоляцією /

В. М. Золотарьов, Т. Ю. Антонець, Л. А. Щебенюк, // Вісник НТУ «ХП». – Харків НТУ «ХП», 2012. – № 3. – С. 77-82.

Здобувачем виконано аналіз результатів розрахунку втрат в електропрвідних екранах і металевих елементах конструкції силових кабелів з ізоляцією зі зшитого поліетилену на напругу 220 кВ.

5. Т. Ю. Антонець. Використання економічних розрахункових моделей для прийняття технічного рішення щодо пропускної спроможності високовольтних силових кабелів з пластмасовою ізоляцією / Л. А. Щебенюк, Т. Ю. Антонець // Вісник НТУ «ХП». – Харків НТУ «ХП», 2012. – № 23. – С. 160-165.

Здобувачем запропоновано модель для прийняття технічного рішення щодо пропускної спроможності високовольтних силових кабелів з пластмасовою ізоляцією.

6. Антонець Т. Ю. Кінетика нагріву високовольтних силових кабелів з пластмасовою ізоляцією / Л. А. Щебенюк, Т. Ю. Антонець // Вісник НТУ «ХП». – Харків НТУ «ХП», 2013. – № 17. – С. 167-171.

Здобувачем виконано порівняльний аналіз кінетики нагріву високовольтного силового кабелю за двома різними моделями.

7. Антонець Т. Ю. Динаміка нагріву високовольтних силових кабелів із пластмасовою ізоляцією / В. М. Золотарьов, Т. Ю. Антонець // Електротехніка і електромеханіка. – Харків: НТУ ХП, 2013. – №4. – С. 52-53.

Здобувачем виконано аналіз результатів розрахунку пропускної спроможності та динаміки нагріву силових кабелів на напругу 220 кВ

8. Антонець Т. Ю. Влияние проводимости экранов на диэлектрические потери в кабелях / В. М. Золотарев, В. В. Золотарев, С. В. Бузько, Т. Ю. Антонец, А. А. Науменко // Вісник НТУ «ХП». – Харків НТУ «ХП», 2014. – № 21. – С. 50-54.

Здобувачем встановлена залежність тангенсу кута діелектричних втрат від провідності екранів силових кабелів з пластмасовою ізоляцією.

9. Антонець Т. Ю. Отечественные типы пожаробезопасных кабелей разработки ПАО «ЗАВОД «ЮЖКАБЕЛЬ» и требования, предъявляемые к ним / В. М. Золотарев, Т. Ю. Антонец, В. П. Карпушенко, А. А. Науменко // Вісник НТУ «ХП». – Харків НТУ «ХП», 2014. – № 21. – С. 42-50.

Здобувачем наведено основні напрямки розробок пожежобезпечних кабелів і проводів, а також вимоги до них за пожежною безпекою.

10. Антонець Т. Ю. До визначення розподілу температури в високовольтних силових кабелях із пластмасовою ізоляцією / Л. А. Щебенюк, Т. Ю. Антонець // Вісник НТУ «ХП». – Харків НТУ «ХП», 2014. – № 41. – С. 64-70.

Здобувачем запропоновано і експериментально перевірено модель для визначення розподілу температури в високовольтних силових кабелях із пластмасовою ізоляцією.

11. Антонець Т. Ю. До визначення навантажувальної спроможності високовольтних силових кабелів із пластмасовою ізоляцією / Л. А. Щебенюк, Т. Ю. Антонець // Вісник НТУ «ХП». – Харків НТУ «ХП», 2014. – № 56. – С. 138-144.

Здобувачем досліджено експериментальні криві нагріву кабелю на напругу 110 кВ. Показано, що пропускна спроможність кабелю із зменшенням товщини ізоляції може збільшуватись та зменшуватись, що зумовлено особливливістю конструкції цих кабелів.

12. Antonets Taras. K zjištění přípustné proudové zatížitelnosti za specifických podmínek instalace/pokládání pro vysokonapěťové kabely s XLPE izolací // Modern Science – Moderní věda. – Praha. – České Republika, Nemoros. – 2015. – № 5. – С. 178-184.

13. Антонець Т. Ю. Дослідження нагріву силових кабелів із зшитю поліетиленовою ізоляцією на напругу до 110 кВ / Т. Ю. Антонець, Ю. М. Веприк, Л. А. Щебенюк // Електротехніка і електромеханіка. – Харків: НТУ ХПІ, 2015. – №6. – С. 55-58.

Здобувачем виконано аналіз впливу розташування трьох одножильних кабелів зі зшитю поліетиленовою ізоляцією в площині на нагріву цих кабелів.

14. Пат. 64306 Україна, МПК H01B 7/02 (2006.01). Провід для заземлення / Золотарьов В. М., Карпушенко В. П., Антонець Т. Ю., Чопов Є. Ю., Науменко О.А.; заявник та патентовласник ЗАКРИТЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО “ЗАВОД “ПІВДЕНКАБЕЛЬ” – № u 2011 02424 заявл. 01.03.11; опубл. 10.11.11, Бюл. № 21.

15. Антонець Т. Ю. Определение наведенных напряжений в кабельных линиях 6...330 кВ из трех однофазных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена / В. М. Золотарев, С. Ю. Антонец, Т. Ю. Антонец, А. А. Науменко // Тези доповідей XVIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я», Ч.IV, (Харків, 12–14 травня 2010 р.) – Х.: НТУ «ХПІ», 2010. – С. 82.

Здобувачем розроблена методика аналітичного визначення напруг на мідних екранах кабельних ліній з потужних одножильних кабелів на напругу 6...330 кВ з використанням моделі розсіяння.

16. Антонець Т. Ю. До визначення втрат в екранах високовольтних кабелів із зшитю поліетиленовою ізоляцією / Л. А. Щебенюк, Т. Ю. Антонець // Тези доповідей XX Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я», (Харків, 15–17 травня 2012 р.) – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – С. 237.

Здобувачем виконано аналіз втрат в екранах одножильних силових кабелів із зшитю поліетиленовою ізоляцією

17. Антонець Т. Ю. Втрати в електропровідних екранах одножильних кабелів зі зшитю поліетиленовою ізоляцією / Т. Ю. Антонець, Є. Д. Нікіфоров// Тези доповідей XXI Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я», Ч.II, (Харків, 29–31 травня 2013 р.) – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – С. 171.

Здобувачем виконано аналіз втрат в екранах одножильних силових кабелів із зшитю поліетиленовою ізоляцією

АНОТАЦІЇ

Антонець Т. Ю. Метод і пристрій контролю короткочасної перевантажувальної здатності високовольтного кабелю в умовах виробництва. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2016 р.

Дисертація присвячена розробці методу контролю короткочасної перевантажувальної здатності високовольтного силового кабелю в умовах виробництва та необхідний комплекс апаратури для його експериментального підтвердження. Запропоновано модель нагріву жили в початковий період нагріву кабелю. Модель дозволила кількісно характеризувати короткочасну перевантажувальну здатність кабелю і порівнювати її з короткочасною перевантажувальною здатністю, одержаною за допомогою відомих моделей нагріву кабелю.

Виконано теоретичні та експериментальні дослідження для визначення теплофізичних параметрів відведення тепла з поверхні кабелю в приміщенні та дослідження залежності нагріву кабелю від відстані між фазами при прокладанні в площині.

Запропоновано кількісний показник короткочасної перевантажувальної здатності високовольтного кабелю зі зшитою поліетиленовою ізоляцією для контролю виготовлених кабелів в умовах виробництва. Перевірено розроблений метод оперативного неруйнівного контролю показників короткочасної перевантажувальної здатності на прикладі ЗПЕ-кабелю на напругу 35 кВ.

Ключові слова: диференційний метод вимірювання температури, метод зосереджених теплоємностей, цифровий напівпровідниковий датчик температури, неруйнівний контроль, стала часу нагріву, параметри тепловідведення з поверхні, багатовимірна модель.

Антонець Т. Ю. Метод и устройство контроля кратковременной перегрузочной способности высоковольтного кабеля в условиях производства. На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – приборы и методы контроля и определения состава веществ. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2016.

Диссертация посвящена разработке метода контроля кратковременной перегрузочной способности высоковольтного силового кабеля в условиях производства и необходимый комплекс аппаратуры для его экспериментального подтверждения.

Предложена модель нагрева жилы в начальный период нагрева кабеля, которая является решением дифференциального уравнения второй степени для теплового баланса в течение адиабатного нагрева кабеля.

Модель позволила количественно характеризовать кратковременную перегрузочную способность кабеля и сравнивать ее с кратковременной перегрузочной способностью, полученной с помощью известных моделей нагрева кабеля.

Выполнены теоретические и экспериментальные исследования для определения теплофизических параметров отвода тепла с поверхности кабеля в помещении, а также исследование зависимости нагрева кабеля от расстояния между фазами при прокладке в плоскости.

Предложен простой способ по определению параметров теплоотдачи, который представляет собой систему уравнений и позволяет выполнить экспериментальную проверку значений параметров.

Предложен количественный показатель кратковременной перегрузочной способности высоковольтного кабеля со сшитой полиэтиленовой изоляцией для контроля изготовленных кабелей в условиях производства.

Данный показатель не зависит от условий окружающей среды, а значит, является качественной характеристикой самого кабеля.

Создан и опробован комплекс аппаратуры для определения показателя кратковременной перегрузочной способности высоковольтного кабеля в условиях производства.

Проверен разработанный метод оперативного неразрушающего контроля показателей кратковременной перегрузочной способности на примере СПЭ-кабеля на напряжение 35 кВ.

Ключевые слова: дифференциальный метод измерения температуры, метод сосредоточенных теплоемкостей, цифровой полупроводниковый датчик температуры, неразрушающий контроль, постоянная времени нагрева, параметры теплоотдачи с поверхности, многомерная модель.

Antonec T. Y. Method and device for control of the short-term overload capacity of high voltage cable in the conditions of production. Manuscript.

Dissertation for the degree of Ph. D. in Engineering Science, specialty 05.11.13 – Devices and methods of testing and materials structure determination. – National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov, 2016.

The thesis is devoted to the developing of control method of the short-term overload capacity of high voltage cable in the conditions of production and the required complex of equipment for the verification of method.

It was proposed the quantitative criterion of the short-term overload capacity of high voltage cable with cross linked polyethylene insulation for the control of the manufacturing cables in the conditions of production. It was created and proofed the complex of equipment for determination the criterion of the short-term overload capacity of high voltage cable in the conditions of production.

The developed prompt method of the nondestructive testing of the quantitative criteria of the short-term overload capacity was tested on the 35 kV XLPE-cable.

Key words: temperature measuring differential method, lumped heat capacities method, digital semi-conductive temperature sensor, nondestructive testing, heating time constant, surface heat dissipation parameters, multidimensional model.

Підписано до друку 20.05.2016 р. Формат 60×84/16
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman
Друк офсетний. Ум. друк. Арк. 0,691. Обл. вид. арк. 0,938
Тираж 100 прим. Замовлення № 13

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4№022953)

М. Харків, вул. Мистецтв, 3 літер Б-1

Тел. 7-170-354

www.modelist.in.ua