

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

**ГОНТАР ЮЛІЯ ГРИГОРІВНА**



УДК 620.179

**МЕТОД КОНТРОЛЮ СТРУМОВИХ ПЕРЕВАНТАЖЕНЬ  
В СИЛОВИХ КАБЕЛЯХ СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ**

Спеціальність 05.11.13 – прилади і методи контролю  
та визначення складу речовин

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі електроізоляційної та кабельної техніки Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник** доктор технічних наук, професор  
**Гурин Анатолій Григорович,**  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»,  
професор кафедри електроізоляційної та кабельної  
техніки.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, старший науковий співробітник  
**Большаков Володимир Борисович,**  
Академія Метрології України, віце-президент;

кандидат технічних наук  
**Білянін Роман Володимирович,**  
ПАТ «ЗАВОД ПІВДЕНКАБЕЛЬ»,  
начальник виробничо-диспетчерського відділу.

Захист відбудеться: «12» травня 2021 року о 12<sup>30</sup> на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.09 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

Автореферат розісланий « 08 » квітня 2021 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Іван КОСТЮКОВ

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Основою систем електропостачання промислових підприємств, комунальних та побутових об'єктів є кабельні лінії середньої напруги. Світові тенденції їх розвитку полягають у використанні в електричних мережах силових кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену (ЗПЕ). Це обумовлено рядом технічних переваг ЗПЕ-кабелів: їх підвищеною надійністю, чудовими діелектричними властивостями (висока електрична міцність, низький  $\tan \delta$ , низька діелектрична проникність  $\epsilon$ , внаслідок цього, мала ємність), підвищеною робочою температурою, що дозволяє збільшити струмові навантаження як в стаціонарному режимі експлуатації, так і в аварійному.

При модернізації існуючих та проектуванні нових розподільчих мереж найважливішою є інформація про величину гранично допустимих струмів навантаження, що визначається саме за температурою струмопровідних жил кабелів. При значному перевищенні рівня нагрівання провідників (вище допустимого) струм навантаження повинен бути скоригований, що важливо для ефективного функціонування лінії в складі енергосистеми.

Більшість організацій і підприємств, які стикаються з питаннями діагностики та технічного обслуговування ЗПЕ-кабелів, керуються досвідом закордонних колег і рекомендаціями заводів-виробників кабельної продукції. Наразі досвід виробників показує, що першочерговим є проведення оцінки експлуатаційних характеристик ЗПЕ-кабелів, а саме реально допустимого перегріву ізоляції ще на етапі приймально-здавальних випробувань. В світі використовуються типові ресурсні випробування long term для оцінки експлуатаційної здатності кабелю, проте в реальному виробництві такі випробування є практично недоступними через свою довготривалість і значну вартість.

Таким чином, актуальною науково-практичною задачею є розробка оперативного методу контролю струмових перевантажень в силових кабелях середньої напруги в поточному виробництві ще на етапі випробувань, вирішенню якої і присвячено дисертаційне дослідження.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана на кафедрі «Електроізоляційна та кабельна техніка» в НТУ «ХП». Здобувач, як виконавець, брала участь у виконанні науково-дослідної госпдоговірної роботи з Державним підприємством «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» Держспоживстандарту України (м. Київ) «Гармонізація національних стандартів з міжнародними та європейськими» (№ 81980).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розроблення методу контролю здатності до струмових перевантажень силових кабелів середньої напруги із зшитою поліетиленовою ізоляцією в умовах реального виробництва.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- На основі математичного моделювання та експериментальних випробувань дослідити процес нагрівання кабелю з ізоляцією із зшитого поліетилену з урахуванням особливостей їх конструкції.

- Дослідити вплив технологічних особливостей виготовлення ЗПЕ-кабелів середньої напруги на розподіл електричного поля в системі ізоляції.

- Визначити динаміку нагрівання типової конструкції кабелю середньої напруги з ізоляцією із зшитого поліетилену.

- Розробити метод контролю струмових перевантажень силового кабелю в умовах виробництва.

- Визначити залежності коефіцієнту допустимого струмового перевантаження в силовому кабелі в діапазоні значень параметрів для номінального та аварійного режимів.

*Об'єкт дослідження* – процес випробування силового кабелю середньої напруги з ізоляцією із зшитого поліетилену при нагріві струмом перевантаження в умовах виробництва для визначення показників його перевантажувальної здатності.

*Предмет дослідження* – метод оцінювання параметрів перевантажувальної здатності силових кабелів середньої напруги із зшитою поліетиленовою ізоляцією в експлуатаційних режимах тривалого струмового навантаження.

**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; методу конформних перетворень для аналізу картини електричного поля; математичної статистики для визначення розсіювання експериментальних даних.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

- удосконалено математичну модель для визначення параметрів тривалого струмового навантаження ЗПЕ-кабелю за рахунок введення в систему рівнянь аналітичного виразу для визначення коефіцієнту розсіяння тепла, що дозволило врахувати особливості конструкції конкретного кабелю;

- отримав подальшого розвитку метод визначення навантажувальної здатності силових кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену, що дозволив врахувати певні умови прокладання та експлуатації;

- обґрунтовано обмеження гранично допустимої температури тривалого струмового навантаження, яка є критерієм визначення перевантажувальної здатності ЗПЕ-кабелів, що дозволило забезпечити підвищення експлуатаційної надійності;

- вперше запропоновано та експериментально підтверджено метод контролю допустимих струмових перевантажень шляхом визначення постійної нагрівання кабелю струмом перевантаження, що дозволило розширити перелік

неруйнівних діагностичних випробувань та удосконалити технічний контроль в умовах виробництва;

- вперше розроблено метод визначення діапазону можливих режимів тривалого струмового навантаження для конкретної конструкції кабелю, що дозволило визначати часові та температурні межі при заданому коефіцієнті перевантаження.

**Практичне значення отриманих результатів** для галузей електроенергетики та кабельної техніки полягає у розробці оперативного методу струмових перевантажень в кабелях середньої напруги з ізоляцією із зшитого поліетилену, який полягає в нагріві кабелю струмом перевантаження в конкретних умовах і вимірюванні температури елементів конструкції кабелю.

Розроблено спосіб визначення дефектів в ізоляції силових кабелів, (Пат. 77272 Україна, МПК G01N 27/00 (2013.01).

Результати роботи використано при розробці державних стандартів України, гармонізованих з європейськими і світовими стандартами в сфері контролю характеристик кабелів і проводів. Розроблений метод контролю струмових перевантажень в силових кабелях середньої напруги впроваджено на кабельному заводі ТОВ «ЄВРОПАН» (м. Київ) та в навчальному процесі кафедри електроізоляційної і кабельної техніки НТУ «ХПІ» при підготовці бакалаврів та магістрів за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», а саме в курсах «Основи кабельної техніки», «Розрахунок і конструювання силових кабелів і проводів», «Техніка випробувань електроізоляційних, кабельних та оптоволоконних систем».

**Особистий внесок здобувача.** Всі основні теоретичні і практичні результати дисертаційної роботи, що винесені на захист, отримані здобувачем особисто. Серед них: удосконалення методу контролю струмових перевантажень силового кабелю середньої напруги з ізоляцією зі зшитого поліетилену; експериментальне дослідження динаміки нагрівання кабелів середньої напруги в умовах навчальної лабораторії та діючого виробництва; розробка методу визначення параметрів граничного перевантаження ЗПЕ-кабелю середньої напруги в умовах виробництва на етапі приймально-здавальних випробувань.

**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, 2011 р., 2013р., 2014р., 2015р., 2016 р.), «Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика» (SIEMA, м. Харків, 2009 р., 2010 р., 2013р.), «Проблеми електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» (м. Харків, 2016 р), «Енергоефективність та енергетична безпека електроенергетичних систем (EEES-2020)» (м. Харків, 2020 р.).

**Публікації.** Основний зміст дисертації відображено у 16 наукових публікаціях, з них: 7 статей у наукових фахових виданнях України (3 – у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз), 2 статті у

закордонних періодичних спеціалізованих наукових виданнях), 1 патент України на корисну модель, 6 доповідей на наукових конференціях.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з анотації двома мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 141 сторінку, з них: 52 рисунки по тексту, 8 таблиць по тексту, списку з 108 використаних джерел на 12 сторінках, 2 додатків на 8 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** відзначено актуальність теми дисертаційного дослідження, сформульовано мету, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, вказано наукову новизну, обґрунтовано практичне значення роботи, розглянуто особистий внесок здобувача у друкованих роботах із співавторами, наведено дані про апробацію одержаних результатів роботи та її структура.

У **першому розділі** на підставі огляду літератури проведено аналіз розвитку конструкцій силових кабелів із зшитою поліетиленовою ізоляцією. Проаналізовано фактори старіння ізоляції ЗПЕ-кабелів. За результатами аналізу, встановлено, що основними причинами, які впливають на термін служби кабельної лінії є електричні, теплові, механічні пошкодження та вплив оточуючого середовища. Разом з тим, дані про кількість кабелів, що виходять з ладу саме через перегрів, фактично відсутні, однак температура - один з основних факторів, що призводить до інтенсивного теплового старіння полімерної ізоляції. В свою чергу, температура ізоляції залежить від навантаження кабелю, тривалості навантаження та умов експлуатації, тому головна технічна характеристика пропускної спроможності кабелю – це тривало допустимий струм в нормованих умовах експлуатації. Проведений аналіз діючих нормативних документів, до яких можна віднести серію стандартів ІЕС 60287. За результатами аналізу визначено, що більшість розрахункових співвідношень для визначення номінального струму за умови необмежено тривалої температури жили включає параметри, визначені напівемпірично. Це зумовлює потребу в уточненні цих параметрів для конкретних кабелів і певних умов прокладання.

Проведений аналіз життєвого циклу ЗПЕ-кабелю. Встановлено, що під час експлуатації відсутні будь-які актуарні тривалості життя та 100%-ве розуміння факторів, які визначають межі часу використання силових кабелів. Таким чином, виникає необхідність в оцінці та прогнозуванні роботи мережі на основі даних про експлуатаційні характеристики ЗПЕ-кабелів.

На підставі існуючих у світовій практиці типових ресурсних випробувань для проведення такої оцінки виявлено необхідність створення оперативного методу контролю параметрів навантажувальної здатності силових кабелів середньої напруги, оскільки вони є більш масовою продукцією і мають

перспективне застосування в умовах реальної експлуатації силових кабельних мереж в Україні.

**Другий розділ** присвячено визначенню пропускної здатності силового кабелю середньої напруги АПвЕгаПу 1×70 – 35 кВ за умови дотримання енергетичного балансу, збереження якого є основою технічних рішень в стаціонарних, перехідних і аварійних режимах роботи електроізоляційних систем і пристроїв. На підставі аналізу існуючих методів розрахунку встановлено, що більшість методів базується на використанні емпіричних залежностей та коефіцієнтів, що обмежує їх застосування певним діапазоном впливаючих факторів.

Запропоновано для визначення тривало допустимого струму навантаження  $I_n$  використовувати математичну модель, в основу якої покладена аналогія процесів переносу зарядів і процесу перенесення тепла. Встановлено, що для застосування моделі та урахування теплового балансу мають бути визначені три основні складові:

- потужність тепловиділення;
- потужність теплового потоку, який може бути переданий в конструкції кабелю;
- потужність теплового потоку, який може бути переданий з поверхні кабелю в оточуюче середовище.

Розрахунок потужності теплового потоку, який може бути переданий від кабелю до оточуючого середовища визначено як

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

де  $\lambda$  – питома теплопровідність матеріалу;  $E_T$  – напруженість теплового поля;  $S$  – площа поверхні, через яку проходить тепловий потік;  $P$  – потужність теплового потоку на одиницю довжини кабелю.

Потужність тепловиділення кабелю  $P_k$  є сумою втрат в жилі  $P_g$  і в металевих елементах конструкції (екрані)

$$P_k = P_g + P_e = I^2 R_g(\Theta_g) + I^2 R_g(\Theta_g) k_e, \quad (2)$$

де  $k_e$  – коефіцієнт взаємодукції між жилою та екраном;  $R_g(\Theta_g)$  – електричний опір жили за температури жили в стаціонарному режимі навантаження.

Було сформовано систему трьох рівнянь, яка дає можливість визначати навантажувальну здатність кабелю в повітрі без застосування складних ітераційних процедур спільно з графічними номограмами, передбаченими стандартом міжнародної електротехнічної комісії. Запропоновано в систему рівнянь ввести аналітичний вираз для визначення коефіцієнту розсіяння тепла, що дозволило врахувати особливості конструкції конкретного кабелю та задане обмеження гранично допустимої температури  $\Theta_{гр}$  (рис. 1). Встановлено, що використання формули для визначення  $h$  як функції діапазону теплофізичних параметрів конвективного охолодження і випромінювання нагрітого кабелю, з одного боку, і функції параметрів струмового навантаження кабелю, з іншого, є

абсолютно необхідним для визначення струмових перевантажень кабелю в реальних стаціонарних режимах експлуатації.

Математична модель визначення теплових параметрів ЗПЕ-кабелю в тривалому струмовому режимі експлуатації була записана як система рівнянь з трьома невідомими  $I$ ,  $h$ ,  $\Delta\Theta_s$  і заданою змінною  $\Theta_{гр}$ .

Використання системи рівнянь (3) дозволяє визначити параметри стаціонарного теплового режиму конкретного кабелю за будь-якого струму навантаження. Це суттєво розширює можливості аналізу параметрів теплового балансу в реальних умовах експлуатації.

$$\begin{cases} I = \sqrt{\frac{\Delta\Theta}{R \cdot \left( \sum_{i=1}^n S_i + \frac{(h \cdot \Delta\Theta_s^{0,25})^{-1}}{\pi \cdot d} \right)}}; \\ \Delta\Theta_s = \Delta\Theta - I^2 \cdot R \cdot \sum_{i=1}^n S_i; \\ h = \left( \frac{c \cdot p \cdot d^3 \cdot g \cdot \nu^{-1} \cdot \lambda^{-1}}{273 + \Delta\Theta_s / 2} \right)^m \cdot \frac{\lambda \cdot C_1}{d} + \varepsilon_1 \cdot \frac{\phi \cdot C_0}{\Delta\Theta_s^{1,25}} \cdot \left[ (\Theta_{гр} - I^2 \cdot R \cdot \sum_{i=1}^n S_i + 273)^4 - (\Theta_{oc} + 273)^4 \right], \end{cases} \quad (3)$$

де  $I$  – тривало допустимий струм навантаження, А;  $h$  – коефіцієнт теплового розсіяння,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}^{5/4}$ ;  $\Delta\Theta_s$  – різниця температур між поверхнею кабелю і повітрям оточуючого середовища  $\Delta\Theta_s = \Theta_s - \Theta_{oc}$ ;  $\Delta\Theta = \Theta_{гр} - \Theta_{oc}$ , де  $\Theta_{гр}$  – температура в заданому тривалому режимі навантаження;  $g$  – прискорення вільного падіння  $\text{м}/\text{с}^2$ ;  $\nu$  – кінематична в'язкість повітря,  $\text{м}^2/\text{с}$ ; питома теплопровідність повітря,  $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$ ;  $c$  – питома теплоємність повітря,  $\text{Дж}/\text{кг} \cdot \text{К}$ ;  $C_1$ ,  $m$  – параметри критерію Нуссельта, який визначається порядком добутку коефіцієнтів Грасгофа  $Gr$  і Прандтля  $Pr$ ;  $C_1 = 0,54$ ;  $m = 0,25$ ;  $C_0$  – постійна Стефана-Больцмана,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}^4$ ;  $S_i$  – тепловий опір  $i$ -ого елемента конструкції кабелю,  $\text{К} \cdot \text{м}/\text{Вт}$ .

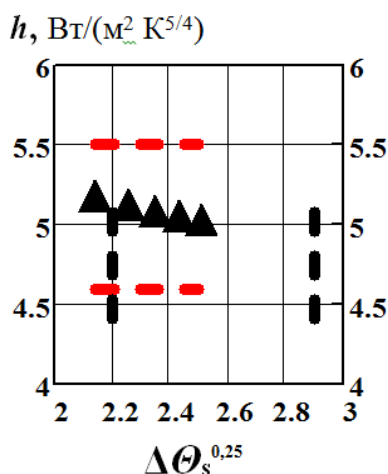


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнту розсіяння тепла з поверхні дослідного кабелю в повітрі від параметру  $\Delta\Theta_s$  (штрихові лінії – діапазон, зазначений в стандарті IEC 60287)

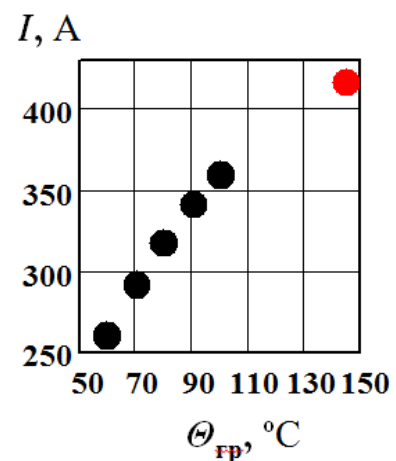


Рисунок 2 – Залежність тривалого струмового навантаження від заданої граничної температури експлуатації і струм експериментально визначеної динаміки нагрівання кабелю в режимі перевантаження  $k=1,3$



З метою підтвердження адекватності отриманих розрахункових співвідношень було проведено експериментальне дослідження динаміки нагрівання силового кабелю АПвЕгаПу 1×70 – 35 кВ, довжиною 10 м за температури оточуючого середовища 8°C (рис. 3–5).



Рисунок 3 – Зразок кабелю АПвЕгаПу 1×70-35 кВ для проведення досліджень

Принципова схема експериментальної установки представлена на рис. 4. В умовах навчальної лабораторії кафедри електроізоляційної та кабельної техніки НТУ «ХПІ» за температури оточуючого середовища 24°C проведено дослідження динаміки нагрівання кабелю з паперовою просоченою ізоляцією марки ААШв 1×75 – 10 кВ, яке підтвердило прийнятність застосованої моделі.

Проведений розрахунок динаміки нагрівання даних кабелів за допомогою двохпараметричної експоненційної моделі (параметр масштабу  $\tau_{max} = \Theta_{гр} - \Theta_{oc}$  і параметр форми експоненти  $\beta$ ). Враховано умову теплового балансу, відповідно до якої тепло, що виділяється в жилі при проходженні по ній незмінного струму, йде на нагрівання самого кабелю та відводиться в навколишнє середовище

$$Pdt = Cd\theta + (\theta - \theta_{oc})dt/S, \quad (4)$$

де  $P$  – потужність тепловиділення в жилі, що дорівнює  $P = \tau_{max}/S$  в стаціонарному тепловому режимі;  $t$ ,  $\theta$  – змінні, відповідно час і поточна температура;  $C$  – теплоємність кабелю;  $S$  – тепловий опір;  $\tau$  – поточний перегрів жили відносно температури оточуючого середовища  $\tau = \theta - \theta_{oc}$ .

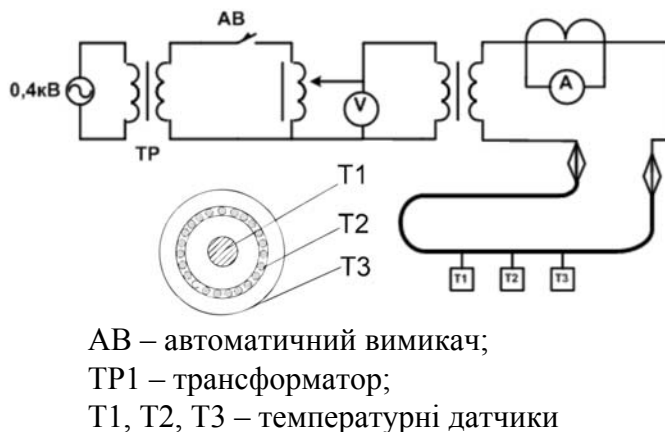


Рисунок 4 – Принципова схема експериментальної установки для нагрівання в повітрі кабелю АПвЕгаПу – 1×70–35 кВ

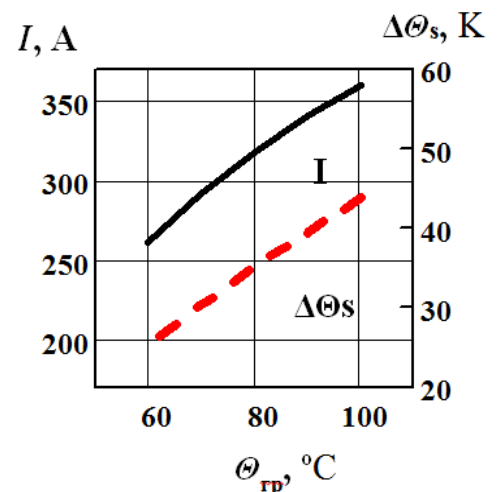


Рисунок 5 – Залежність різниці температур між поверхнею кабелю і температурою оточуючого середовища

Експериментально визначені криві нагрівання обох кабелів наведено на рис. 6.

Для даних типів конструкцій кабелів визначена стала нагрівання  $\beta$ , яка орієнтовно розрахована як добуток теплоємності на тепловий опір. Експериментально  $\beta$  може бути оцінена як параметр експериментально визначеної лінійної функції часу  $t$

$$\ln[1 - (\theta^* - \theta_{oc}^*) / (\theta_{гр}^* - \theta_{oc}^*)] = -t^* / \beta. \quad (5)$$

Встановлено, що за можливості, слід віддати перевагу експериментальному визначенню динаміки нагрівання конкретного кабелю в визначених умовах. Точність експериментальної оцінки визначено за допомогою статистичної моделі тренду з помилкою

$$x_i = f(t_i) + \delta_i, \quad (6)$$

де  $t_i$  – детермінована змінна, яка є часом нагрівання, який в даному разі є часом вимірювання температури;  $f(t_i)$  – детермінована функція (тренд);  $\delta_i$  – випадкова величина (похибка).

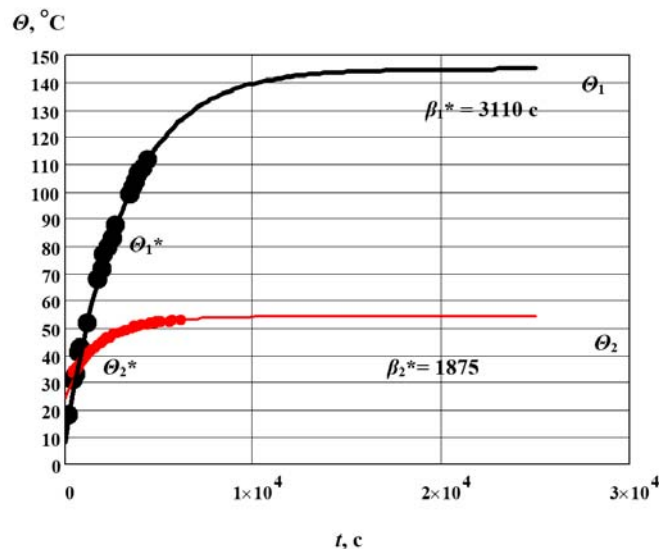


Рисунок 6 – Експериментально визначений масив значень часу нагрівання  $t^*$  і відповідних значень температури ( $\theta_1$  – ЗПЕ-кабель марки АПВЕгаПу –1×70 – 35 кВ;  $\theta_2$  – кабель марки ААШВ 1×75 – 10 кВ)

Значення  $\delta_i$  є незалежними, однаково і нормально розподіленими; функція  $f(t)$  задана формулою або алгоритмом обчислень і залежить від ряду невідомих параметрів  $c_1, \dots, c_k$ , значення яких визначено методом максимальної правдоподібності. Оскільки функція лінійна, для кожного  $t$  значення  $x$  нормально розподілене з середнім  $x_{cp} = a + b(t - t_{cp})$  і середньоквадратичним  $\sigma$ . Оцінки невідомих параметрів  $a$ ,  $b$  і  $\sigma$  визначено як:

$$a^* = x_{cp}; \quad (7)$$

$$b^* = \frac{\sum(t_i - t_{cp})(x_i - x_{cp})}{[\sum(t_i - t_{cp})^2]}; \quad (8)$$

$$\sigma^* = \left\{ n^{-1} \sum [x_i - a^* - b^*(t_i - t_{cp})]^2 \right\}^{0.5}. \quad (9)$$

Для невеликої кількості вимірювань достовірні  $p$ -процентні границі для  $x$  при заданому  $t$  визначає розподіл Стюдента з  $n-2$  ступенями свободи

$$a^* + b^*(t - t_{cp}) \pm \gamma_p \sigma^*(n-2)^{-0.5} \left[ 1 + (t-t_{cp})^2 n / \sum (t_i - t_{cp})^2 \right]^{0.5}.$$

Для нагрівання кабелю АПВЕгаПу лінійна функція для тренду

$$\ln[1 - (\theta^* - \theta_{oc}^*) / (\theta_{гр}^* - \theta_{oc}^*)] = -\beta^{-1} \cdot t^*, \quad (10)$$

де  $\theta_{oc}^*$  і  $\theta_{гр}^*$  – експериментально визначені незмінні в межах конкретної задачі параметри, тому після заміни отримаємо:

$$\begin{aligned} \tau &= \theta^* - \theta_{oc}^*; \\ \tau_{max} &= \theta_{гр}^* - \theta_{oc}^*; \\ x &= \ln[1 - \tau / \tau_{max}], \end{aligned} \quad (11)$$

де  $\tau$  – перегрів жили кабелю відносно оточуючого середовища, а функція тренду пряма, що проходить через початок координат:  $x = -\beta^{-1} \cdot t$ .

Точність експериментальної оцінки  $\beta$  визначено за допомогою статистичної моделі тренду з помилкою за допомогою комп'ютерної апроксимації експериментально визначеного лінеаризованого вектору функції  $\theta^* = f(t^*)$  у вигляді параметрів прямої  $A$  і  $b$ , а діапазону для  $x$  за так званим «правилом трьох сігм», яке за нормального розподілу відповідає двосторонній ймовірності довіри 99 %

$$x = A + b \cdot (t_i) \pm 3 \cdot \sigma_x, \quad (12)$$

$$\text{де } \sigma_x = \left[ (n-1)^{-1} \sum_{i=0}^n (x_i - x_{cp})^2 \right]^{0.5}.$$

Проведено аналіз результатів розрахунку сталої нагріву жили, визначеної за різними моделями для кабелю АПВЕгаПу-1×70 – 35 кВ. Виходячи з розрахунків, для подальшого використання надійною оцінкою сталої нагрівання  $\beta$  в повітрі за температури 8 °С прийняті середні оцінки: 3013 с ≤  $\beta$  ≤ 3110 с.

За результатами розрахунків встановлено, що експериментальні точки і криві нагрівання, визначені за оцінками сталої нагрівання кабелю з рівнем ймовірності довіри не менше 95 % практично співпадають.

Порівняння орієнтовно розрахованих оцінок сталої нагрівання двох типів кабелів середньої напруги з результатами оцінювання відповідних значень як параметрів лінійної функції (5) за результатами вимірювання динаміки нагрівання жил цих кабелів свідчить про те, що орієнтовний розрахунок сталої нагрівання кабелів середньої напруги відображає особливості їх конструкції, не вимагає тривалого експерименту і дозволяє тим самим оперативно і адекватно оцінити вплив конструкції кабелю на динаміку його нагрівання, використовуючи двохпараметричну експоненту.

**Третій розділ** присвячено дослідженню технологічних особливостей кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену, проаналізовано процес накладання пластмаси за допомогою екструдера. Проведено аналіз впливу структури напівпровідного екрану на розподіл електричного поля в ізоляції ЗПЕ-кабелю на напругу 35 кВ.



Рисунок 7 – Мікрофотографія місця пробою ЗПЕ-кабелю на межі напівпровідний екран-ізоляція

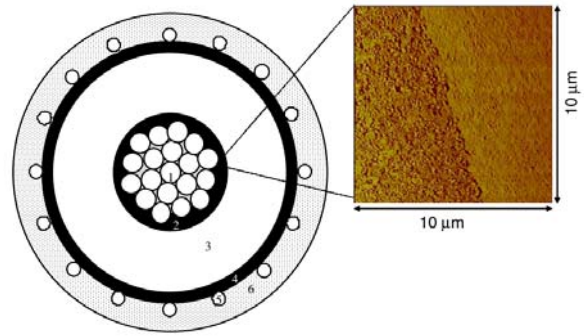


Рисунок 8 – Типова конструкція ЗПЕ-кабелю середньої напруги та мікрофотографія поверхні розділу між напівпровідним екраном та ізоляцією.

Встановлено, що за умови застосування в напівпровідних екранах пічної сажі (більш дисперсної) замість ацетиленової на границі екран-ізоляція можуть виникати місця локального посилення електричного поля, які призводять до деградації ізоляції (рис. 7).

Аналітично досліджено вплив розміру часток сажі в матеріалі для напівпровідного екрану ЗПЕ-кабелю на напруженість електричного поля в прилеглий до нього ізоляції за допомогою методу конформних перетворень. Для ізоляції кабелю рішення полягає в конформному перетворенні геометричних розмірів системи (рис. 8) в площині  $Z(x, jy)$  за допомогою дрібно-лінійної функції в розміри в площині  $W(u, jv)$ :

$$u = \frac{x}{(x^2+y^2)}; v = -\frac{y}{(x^2+y^2)}. \quad (13)$$

Умову Коші-Рімана при цьому виконано: в усіх точках обох площин при перетворенні зберігаються кути і розтягування відстаней (конформність напруженості поля).

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{y^2-x^2}{(x^2+y^2)^2}, \quad \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{-2xy}{(x^2+y^2)^2}. \quad (14)$$

За допомогою дрібно-лінійного конформного перетворення будь-яке коло в комплексній площині  $Z(x, jy)$  перетворюється на коло в комплексній площині  $W(u, jv)$ . При застосування методу подвійного конформного перетворення аналітично побудовано картину електричного поля будь-яких паралельних циліндричних провідників у площині  $Z(x, jy)$ :  $dU = -E_w dW = -E_z dZ$ .

Розроблено програми обчислень за допомогою подвійного конформного перетворення для визначення розподілу напруженості електричного поля з урахуванням того, що діелектрик складається з шарів з різними електрофізичними параметрами. Результати аналітичного рішення для дослідження розподілу напруженості електричного поля в ізоляції наведено на рис. 9-10.

Напруженість  $E_z$  електричного поля в площині  $Z$  у відповідній точці  $K$  ізоляції кабелю з координатами  $x_K, y_K$

$$E_{wK} = U / (x_K^2 + y_K^2)^{0,5} \ln(a/\rho), \quad (15)$$

де координати  $x_K$  і  $y_K$ , параметри  $a$  та  $\rho$  (радіус більшого та меншого коаксіального циліндру) залежать від розміру частки сажі;  $U$  – різниця потенціалів (така ж як у площині  $W$ ).

За результатами дослідження встановлено, що концентрація напруженості поля навколо мінімального за розміром дефекту на поверхні екрану спостерігається на відстані 0,2...0,3 мм і становить 40 % від максимального значення на відстані не більше 0,5 мм. Найбільша напруженість електричного поля зосереджена на відстані від дефекту 0,1...0,2 мм. На основі отриманих результатів рекомендовано використовувати надгладкі екрани по жилі та по ізоляції, тобто використовувати ацетиленову сажу.

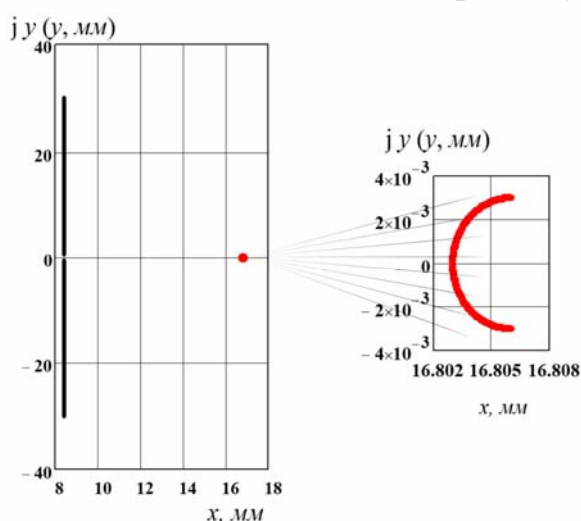


Рисунок 9 – Зображення геометричних розмірів математичної моделі частки сажі на поверхні напівпровідного екрану кабелю АПвЕгаПу 1×70 – 35 кВ в площині  $Z(x, y)$

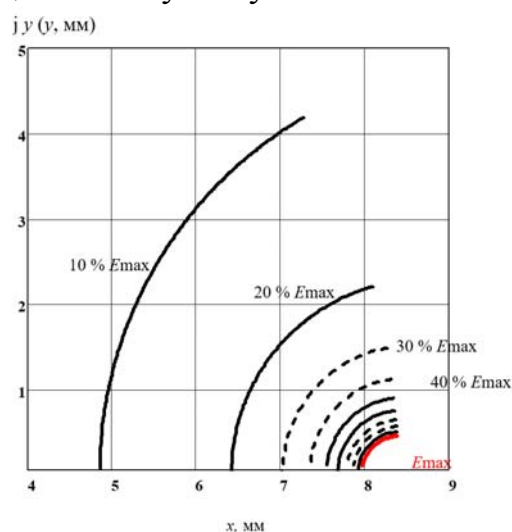


Рисунок 10 – Еквіпотенціальні лінії електричного поля навколо частки сажі ( $r = 3$  мкм) на поверхні напівпровідного екрану кабелю АПвЕгаПу 1×70–35 кВ в площині  $Z(x; y)$

Проаналізовано також процес дегазації ЗПЕ-кабелю, який є неодмінною частиною технологічного процесу. За результатами аналізу протоколу термогравиметричного аналізу встановлено, що вміст газової фракції, яка залишилася після 7 днів дегазації при підвищеній температурі 60°C від початкової маси зразка 16,98 мг склав 1,45%, що перевищує 0,5%, заявлені розробниками використаної технології ізолювання. На основі отриманих результатів зроблено рекомендацію щодо подовження строку дегазації кабелю.

**Четвертий розділ** присвячено методу оцінки та контролю струмових перевантажень в ЗПЕ-кабелях середньої напруги.

Встановлено, що необхідною умовою визначення допустимого струмового навантаження є визначення кривих перевантажувальної спроможності у вигляді залежностей кратності струму перевантаження  $I_n$  до гранично допустимого струму  $I_{доп}$  в стаціонарному режимі роботи кабелю від

часу перевантаження. Такі залежності дозволяють розробляти нормативи для конкретних кабельних ліній, оскільки відповідні кратності залежать від певних умов прокладання та експлуатації.

За умови, що режим навантаження є допустимим, тобто поточний перегрів не перевищує максимально допустимий, визначено струм та час допустимого перевантаження, які при первинному включенні пов'язані співвідношенням

$$I_{\Pi} = \frac{I_{\text{доп}}}{\sqrt{\left(1 - e^{-\frac{t_{\Pi}}{\beta}}\right)}}. \quad (16)$$

При включенні попередньо нагрітого кабелю струм  $I_{\Pi}$  та час  $t_{\Pi}$  допустимого перевантаження визначено як

$$I_{\Pi} = \frac{I_{\text{доп}}}{\sqrt{\left(1 - e^{-\frac{t_{\Pi}}{\beta}}\right)}} \cdot \sqrt{1 - \frac{\tau_1}{\tau_{\text{max}}} e^{-\frac{t_{\Pi}}{\beta}}}, \quad (17)$$

де  $I_{\text{доп}}$  – тривало допустимий струм.

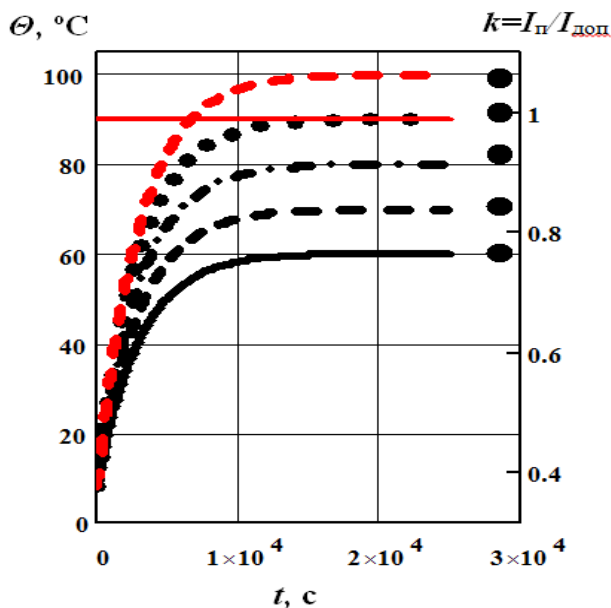


Рисунок 11 – Сімейство кривих, що відображають режими тривалих струмових навантажень відповідно до заданої тривалої температури експлуатації  $\theta_{\text{тр}}$

Проведено розрахунок коефіцієнту допустимого перевантаження від часу перевантаження у випадку первинного включення кабелю та при включенні попередньо нагрітого проводу

$$k = \frac{I_{\Pi}}{I_{\text{доп}}}. \quad (18)$$

Виявлено, що визначення коефіцієнту допустимого перевантаження  $k$  дозволяє представити перевантажувальну здатність конкретного кабелю компактно у вигляді сімейства кривих допустимих перевантажень (рис. 11), при цьому необхідною є лише інформація про сталу нагрівання  $\beta$ .

За результатами дослідження знайдено діапазон можливих режимів тривалого струмового навантаження для конкретної конструкції кабелю, що дозволило визначити часові та температурні межі при заданому коефіцієнті перевантаження (рис. 12).



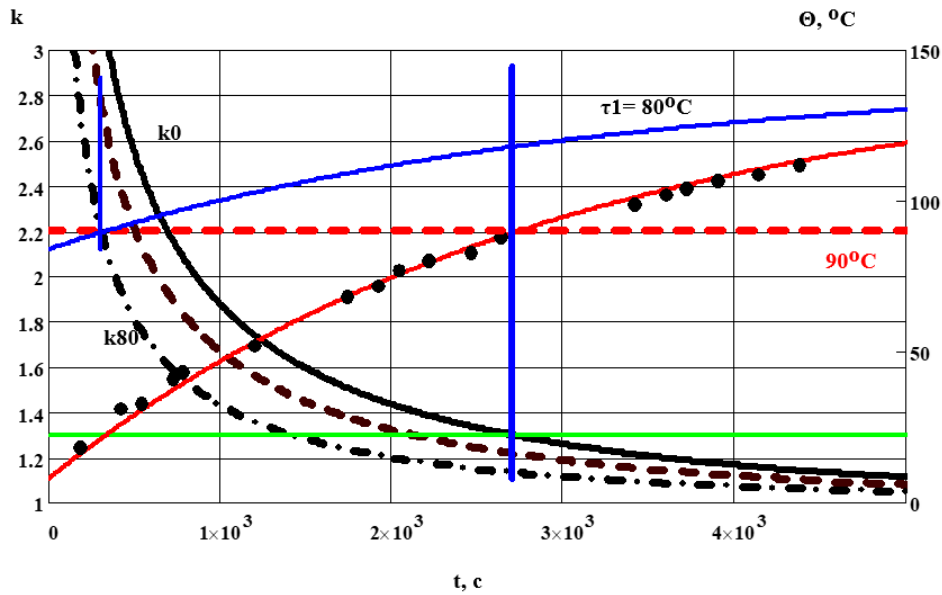


Рисунок 12 – Залежності коефіцієнту  $k$  допустимого перевантаження від часу перевантаження  $t$  при первинному включенні і від попереднього перегріву  $\tau_1$



Рисунок 13 – Схема алгоритму для оцінки допустимого струмового перевантаження силового кабелю зі ЗПЕ-ізоляцією

Урахування отриманих результатів та умови збереження теплового балансу в режимі нагрівання, обмеженого періодом нагрівання тільки жили і ізоляції, а також відповідність експериментальним даним, дозволило запропонувати метод оцінки струмових перевантажень конкретного ЗПЕ-кабелю в умовах виробництва (рис. 13). Запропоновано представлену систему контролю допустимого струмового перевантаження ЗПЕ-кабелів інтегрувати в

існуючу систему контрольних випробувань на підприємстві. Відзначено, що доцільно використовувати запропонований метод контролю як неруйнівну діагностику силових кабелів.

**У додатках** наведено акти впровадження результатів дисертаційного дослідження та список публікацій здобувача за темою дисертаційної роботи.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-практична задача розробки методу контролю допустимого струмового перевантаження силових кабелів середньої напруги з ізоляцією із зшитого поліетилену в поточному виробництві.

Основні результати роботи:

**1.** Проведено дослідження процесу нагрівання силового кабелю середньої напруги із зшитою поліетиленовою ізоляцією, вдосконалено математичну модель для визначення параметрів тривалого струмового навантаження ЗПЕ-кабелю за рахунок введення в систему рівнянь аналітичного виразу для визначення коефіцієнту розсіяння тепла, що дозволило врахувати особливості конструкції конкретного кабелю.

**2.** Визначено вплив технологічних особливостей виготовлення ЗПЕ-кабелю середньої напруги на розподіл електричного поля в системі ізоляції. Встановлено, що за умови застосування в напівпровідних екранах пічної сажі замість ацетиленової на границі екран-ізоляція можуть виникати місця локального посилення електричного поля. Проаналізовано процес дегазації ЗПЕ-кабелю, на основі протоколів термогравиметричного аналізу дані практичні рекомендації щодо строків дегазації.

**3.** Визначено динаміку нагрівання типової конструкції кабелю на 35 кВ, яка характеризує його короткочасну перевантажувальну здатність. Обґрунтовано вибір гранично допустимої температури тривалого струмового навантаження критерієм визначення діапазону експлуатаційних режимів, в яких необхідно оцінювати перевантажувальну здатність кабелів зі ЗПЕ-ізоляцією.

**4.** За результатами досліджень розроблено метод контролю струмових перевантажень силових кабелів середньої напруги. Надано рекомендації щодо інтеграції запропонованого методу в систему контрольних випробувань на кабельних підприємствах. Відзначено, що доцільно використовувати запропонований метод контролю як неруйнівну діагностику силових кабелів.

**5.** Визначено залежності коефіцієнту допустимого струмового перевантаження в силовому кабелі для номінального та аварійного режимів, знайдено діапазон можливих режимів тривалого струмового навантаження для конкретної конструкції кабелю, який дозволив визначити часові та температурні межі при заданому коефіцієнті перевантаження.



6. Результати роботи впроваджені у промислове виробництво силових кабелів на кабельному заводі ТОВ «ЄВРОПАН» (м. Київ) та у навчальний процес кафедри електроізоляційної та кабельної техніки НТУ «ХП».

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Гонтарь Ю. Г. Влияние напряженности электрического поля на разрушение поверхностного слоя изоляционной конструкции / Ю. Г. Гонтарь, Д. В. Лавинский // Електротехніка і електромеханіка. – Харків : НТУ "ХП". – 2013. – № 4. – С. 40 – 43.

*Здобувачем проведено аналіз процесів в полімерній ізоляції, які виникають в результаті посилення електричного поля в місцях контакту екрану з полімерною ізоляцією. Запропонована методика контролю якості електричної ізоляції.*

2. Гонтар Ю.Г. Разрушение поверхностного слоя диэлектрика в концевых кабельных муфтах под действием грозových перенапряжений / А. Г. Гурин, Ю. Г. Гонтарь // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків : НТУ "ХП". – 2013. – № 59 (1032). – С. 53-61.

*Здобувачем оцінено механізми утворення підвищених напруженостей електричного поля в полімерній ізоляції, виконано аналіз причин виникнення водних трингів.*

3. Гонтар Ю.Г. Разрушение увлажненного поверхностного слоя полимерной изоляции при грозových перенапряжениях / А. Г. Гурин, Ю. Г. Гонтарь // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків : НТУ "ХП". – 2014. – № 24. – С. 33-39.

*Здобувачем оцінено нерівномірність розподілу електричного поля в полімерній ізоляції при наявності в ній вологи та повітряних включень*

4. Гонтар Ю.Г. Неразрушающий метод определения неоднородностей в изоляционном материале линейных изоляторов и концевых разделках силовых кабелей / А. Г. Гурин, И. А. Костюков, Е. С. Москвитин, В. П. Скибин, Ю. Г. Гонтарь // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків : НТУ "ХП". – 2017. – № 31 (1253). – С. 25-28.

*Здобувачем експериментально оцінено наявність мікровключень та неоднорідностей в структурі ізоляції. Показано, що наявність в структурі ізоляції неоднорідностей спотворює форму прикладених імпульсів напруги.*

5. Гонтар Ю. Г. Вплив динаміки нагрівання полімерної ізоляції силових кабелів середньої напруги на їх пропускну здатність / Т.Ю. Антоненко, Ю.Г. Гонтар // Світлотехніка та електроенергетика. – Харків : ХНУМГ імені О.М. Бекетова, 2020. – № 3(59), - С. 127–130.

*Здобувачем виконано аналіз динаміки нагрівання полімерної ізоляції силових кабелів середньої напруги на їх пропускну здатність.*

**6.** Гонтар Ю.Г. Теплофізичні аспекти визначення навантажувальної здатності силових кабелів середньої напруги з ізоляцією із зшитого поліетилену в стаціонарних режимах експлуатації / Гонтар Ю. Г., Щебенюк Л.А., Антонєць С.Ю. // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – №10 (159). – 2020. – С. 56-66.

*Здобувачем виконано розрахунок потужності тепловиділення в кабелі; запропоновано систему рівнянь, яка дозволяє визначити параметри стаціонарного теплового режиму кабелю за будь-якого струму навантаження.*

**7.** Гонтар Ю.Г. Аналіз моделей для оцінювання впливу поверхневого ефекту на величину активного опору суцільних та багатопроволочних жил силових кабелів / І.О. Костюков, Ю.Г. Гонтар // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків : НТУ "ХПІ". – 2020. – № 2. – С. 43-46.

*Здобувачем проведено розрахунки для визначення впливу температури на поверхневий ефект в струмопровідних жилах силових кабелів*

**8.** Gontar Yu. Quality control and evaluation of the life cycle insulated power cables XPLE / Gontar Yu., Kiessaiev O., Antonets T. // The scientific heritage (Budapest, Hungary). – №59 (2021) – VOL. 1. – pp. 24-26.

*Здобувачем проаналізовано можливі виробничі дефекти та існуючі методи випробувань силових кабелів середньої напруги*

**9.** Гонтар Ю.Г. Аналіз параметрів стаціонарних теплових процесів в реальних режимах експлуатації силових кабелів середньої напруги з ізоляцією із зшитого поліетилену / Ю.Г. Гонтар, Л.А. Щебенюк, А.Г. Гурин // Norwegian Journal of Development of the International Science (Oslo, Norway). – №54/2021. – VOL.1 – С. 55-58.

*Здобувачем проаналізовано процес теплопередачі від поверхні кабелю в повітря; запропоновано математичну модель, яка дозволяє визначити навантажувальну здатність кабелю в повітрі в реальних режимах експлуатації*

**10.** Пат. 77272 Україна, МПК (2013.01) G01N 27/00. Спосіб визначення дефектів в шарі електричної ізоляції провідника / А. Г. Гурин, О. В. Голик, Л. А. Щебенюк, Ю. Г. Гонтар, Ю. П. Антонєць ; патентовласник Нац. техн. ун-т "ХПІ". – № u 2012 08203 ; заяв. 04.07.2012 ; публ. 11.02.2013, Бюл. № 3. – 5 с.

**11.** Гонтар Ю. Г. Вплив структури ізоляційного матеріалу на розподіл грозової перенапруги на поверхні прохідного ізолятора // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: матеріали XIX міжнар. наук.-практ. конфер., 19–21 травня 2011 р. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – ч. 2, с. 198.

*Здобувачем оцінено нерівномірність розподілу еквіпотенціальних ліній електричного поля в ізоляції при наявності в ній дефектів*

**12.** Гонтар Ю.Г. Метод контролю наявності дефектів в шарі електричної ізоляції / Д. В. Лавінський, Ю. Г. Гонтар, А. Г. Гурин // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: матеріали XXI міжнар.

наук.-практ. конфер., 29–31 травня 2013 р. – Харків: НТУ «ХП», 2013. – ч. 2, с. 207.

*Здобувачем проаналізована частота виникнення дефектів в шарі електричної ізоляції*

**13.** Гонтарь Ю.Г. Разряд по увлажненной поверхности полимерной изоляции при воздействии грозových перенапряжений / А. Г. Гурин, Ю. Г. Гонтарь // Тези доп. 22-ї Міжнар. наук.-практ. конф. "Інформаційні технології : наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я" (MicroCAD–2014), 21-23 травня 2014 р. / ред. Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ. – Харків : НТУ "ХП", 2014. – С. 211.

*Здобувачем проведено аналіз ушкоджень в структурі ізоляції при впливі грозových перенапружень*

**14.** Гонтарь Ю.Г. Дослідження розподілу електричного поля за допомогою ємнісних датчиків / А. Г. Гурин, Ю. Г. Гонтарь // Тези доп. 23-ї Міжнар. наук.-практ. конф. "Інформаційні технології : наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я" (MicroCAD–2015), 20-22 травня 2015 р. / ред. Є. І. Сокол. – Харків : НТУ "ХП", 2015. – С. 150.

*Здобувачем оцінено нерівномірність розподілу електричного поля в полімерній ізоляції за допомогою ємнісних датчиків*

**15.** Гонтарь Ю.Г. Влияние эксплуатационных факторов на электрические свойства полимерной изоляции концевых разделок силовых кабелей высоковольтных импульсных устройств / А. Г. Гурин, Ю. Г. Гонтарь // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (MicroCAD–2016) : наук. вид. : тези доп. 24-ї міжнар. наук.-практ. конф., [18-20 травня 2016 р.] : у 4 ч. Ч. 2 / ред. Є. І. Сокол. – Харків : НТУ "ХП", 2016. – С. 149.

*Здобувачем оцінено вплив експлуатаційних факторів на розподіл ліній електричного поля в структурі полімерної ізоляції високовольтних імпульсних пристроїв*

**16.** Гонтарь Ю.Г. Підвищення енергоефективності систем передачі електричної енергії шляхом оцінки перевантажувальної спроможності кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену / Антоненко Т.Ю., Гонтарь Ю.Г., Піротті О.Є. // IV Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність та енергетична безпека електроенергетичних систем (EEES-2020)» 10-13 листопада 2020 р. – Збірник наукових праць. Харків : Друкарня Мадрид, 2020. – С. 36-38.

*Здобувачем запропоновано математичну модель, яка дозволяє визначити перевантажувальну здатність кабелю зі зшитою поліетиленовою ізоляцією в реальних режимах експлуатації*

## АНОТАЦІЇ

**Гонтарь Ю. Г. Метод контролю струмових перевантажень в силових кабелях середньої напруги. – 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, 2021 р.

Дисертаційна робота присвячена розробці методу контролю струмових перевантажень в силових кабелях середньої напруги з ізоляцією із зшитого поліетилену.

Запропоновано модель, яка дозволяє визначати параметри стаціонарного теплового режиму конкретного кабелю за будь-якого струму навантаження. Вдосконалено математичну модель для визначення параметрів тривалого струмового навантаження ЗПЕ-кабелю за рахунок введення в систему рівнянь аналітичного виразу для визначення коефіцієнту розсіяння тепла, що дозволило врахувати особливості конструкції конкретного кабелю. Проаналізовано діапазон експлуатаційних режимів, в яких необхідно оцінювати перевантажувальну здатність кабелів зі ЗПЕ-ізоляцією.

Проведено теоретичні та експериментальні дослідження визначення динаміки нагрівання кабелю АПвЕгаПу – 1×70 – 35 кВ в умовах реального виробництва. Проаналізовано вплив технологічних особливостей виготовлення ЗПЕ-кабелів. Встановлено, що за умови застосування в напівпровідних екранах пічної сажі замість ацетиленової на границі екран-ізоляція можуть виникати місця локального посилення електричного поля. Проаналізовано процес дегазації ЗПЕ-кабелю, на основі протоколів термогравиметричного аналізу дані практичні рекомендації щодо строків дегазації.

За умови, що режим навантаження є допустимим, тобто поточний перегрів не перевищує максимально допустимий, визначено струм та час допустимого перевантаження.

Встановлено діапазон можливих режимів тривалого струмового навантаження для конкретної конструкції кабелю, визначено часові та температурні межі при заданому коефіцієнті перевантаження. Дані практичні рекомендації щодо впровадження запропонованого методу в систему існуючих контрольних випробувань на кабельних підприємствах. Відзначено, що доцільно використовувати запропонований метод контролю як неруйнівну діагностику силових кабелів.

*Ключові слова:* силові кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену, струмові перевантаження, стаціонарний режим, динаміка нагрівання кабелю, режим тривалого струмового навантаження, кабелі середньої напруги, перевантажувальна здатність.

**Гонтарь Ю. Г. Метод контроля токовых перегрузок в силовых кабелях среднего напряжения.** – 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, 2021.

Диссертационная работа посвящена разработке метода контроля токовых перегрузок в силовых кабелях среднего напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Предложена модель, позволяющая определять параметры стационарного теплового режима конкретного кабеля при любом токе нагрузки.

Усовершенствована математическая модель для определения параметров длительной токовой нагрузки СПЭ-кабеля за счет введения в систему уравнений аналитического выражения для определения коэффициента рассеяния тепла, что позволило учесть особенности конструкции конкретного кабеля. Проанализирован диапазон эксплуатационных режимов, в которых необходимо оценивать перегрузочную способность кабелей со СПЭ-изоляцией.

Проведены теоретические и экспериментальные исследования для определения динамики нагрева кабеля АПвЕгаПу – 1×70 – 35 кВ в условиях реального производства. Проанализировано влияние технологических особенностей изготовления СПЭ-кабелей. Установлено, что при условии применения в полупроводящих экранах печной сажи вместо ацетиленовой на границе экран–изоляция могут возникать места локального усиления электрического поля. Проанализирован процесс дегазации СПЭ-кабеля, на основании протоколов термогравиметрического анализа даны практические рекомендации относительно сроков дегазации.

При условии, что режим нагрузки является допустимым, то есть текущий перегрев не превышает максимально допустимый, определены ток и время допустимой перегрузки.

Установлен диапазон возможных режимов длительной токовой нагрузки для конкретной конструкции кабеля, определены временные и температурные пределы при заданном коэффициенте перегрузки. Даны практические рекомендации по внедрению предложенного метода в систему существующих контрольных испытаний на кабельных предприятиях. Отмечено, что целесообразно использовать предложенный метод контроля как неразрушающую диагностику силовых кабелей.

*Ключевые слова:* силовые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена, токовые перегрузки, стационарный режим, динамика нагрева кабеля, режим длительной токовой нагрузки, кабели среднего напряжения, перегрузочная способность.

**Gontar Yuliya. Method of controlling the current overloads of medium voltage power cables.** – Manuscript.

Thesis on obtaining a scientific degree of Ph.D. in specialty 05.11.13 "Devices and methods of testing and determination of composition of substances" – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, 2021.

The dissertation work is devoted to the development of the method of current overload control in medium voltage power cables with cross-linked polyethylene insulation.

A model is proposed that allows one to determine the parameters of the stationary thermal regime of a particular cable at any load current. The mathematical model for determining the parameters of the long-term current load of the XLPE-cable has been improved by introducing an analytical expression into the system of equations for determining the heat dissipation coefficient, which made it possible to take into account the design features of a particular cable. The range of operating conditions in which it is necessary to assess the overload capacity of XLPE-cables is analyzed.

Theoretical and experimental studies have been carried out to determine the dynamics of heating the cable АПВЕгаПы – 1×70 – 35 kV in real production conditions. The influence of technological features of the manufacture of XLPE-cables is analyzed. It has been established that, provided that furnace soot is used in semiconducting screens instead of acetylene, places of local amplification of the electric field may appear at the screen-insulation interface. The process of degassing of the XLPE-cable is analyzed, on the basis of the protocols of thermogravimetric analysis, practical recommendations are given regarding the timing of degassing.

Provided that the load mode is permissible, that is, the current overheating does not exceed the maximum permissible, the current and time of permissible overload are determined.

The range of possible modes of continuous current load for a specific cable design is established, time and temperature limits are determined for a given overload factor. Practical recommendations are given for the implementation of the proposed method in the system of existing control tests at cable enterprises. It is noted that it is advisable to use the proposed control method as non-destructive diagnostics of power cables.

*Keywords:* power cables with cross-linked polyethylene insulation, current overloads, stationary mode, cable heating dynamics, long-term current load mode, medium voltage cables, overload capacity.



Підписано до друку 02.04.2021 р.  
Формат 60×84/16  
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman  
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 0,9.  
Наклад 100 прим. Замовлення №

---

Надруковано в ТОВ «ДРУКАРНЯ МАДРИД»  
61024, м. Харків, вул. Гуданова, 18  
Тел.: (057)756-53-25  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
Серія ДК№4399 від 27.08.2012 р.  
[www.madrid.in.ua](http://www.madrid.in.ua) e-mail:[info@madrid.in.ua](mailto:info@madrid.in.ua)