

УДК 621.315.21

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.143.2014.79065>

МОЖЛИВІСТЬ ПРОГНОЗУ ВІДМОВ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

Кандидати техн. наук О.І. Акімов, Ю.О. Акімова

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРОГНОЗА ОТКАЗОВ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Кандидаты техн. наук А.И. Акимов, Ю.А. Акимова

POSSIBILITY TO FORECAST THE FAILURE OF ELECTRICITY CABLE LINES

Candidates of techn. sciences A.I. Akimov, Y.A. Akimova

Розглядаються можливості підвищення ефективності профілактичних випробувань кабельних ліній електропередачі за рахунок контролю струму витоку та визначення статистичних оцінок, на підставі яких можливий ймовірнісний прогноз настання відмови кабельної лінії.

Ключові слова: підвищення ефективності, профілактичні випробування, кабельні лінії, струм витоку, дефекти ізоляції, пробій, міжпрофілактичний період.

Рассматриваются возможности повышения эффективности профилактических испытаний кабельных линий электропередачи за счет контроля тока утечки и определения статистических оценок, дающих возможность вероятностного прогноза наступления отказа кабельной линии.

Ключевые слова: повышение эффективности, профилактические испытания, кабельные линии, ток утечки, дефекты изоляции, пробой, межпрофилактический период.

In the article the possibility of increasing the effectiveness of preventive tests electricity cable lines by controlling the leakage current and the definition of statistical estimates, enabling probabilistic forecast the onset of failure of the electricity cable line are considered. This methods makes it possible to scientifically substantiated planning between preventive test cable lines and organization of the work to restore them.

Keywords: increasing of effectiveness, preventive tests, cable lines, leakage current, insulation defects, breakdown, between preventive period.

Постановка проблеми. Відмови кабельних ліній електропередачі (КЛЕП), що входять до складу систем електропостачання електрифікованих залізниць, виникають раптово, тому потрібен великий час на відновлення пошкоджених КЛЕП, а експлуатаційна надійність таких ліній зменшується. Зазначена обставина утворюється, головним чином, внаслідок низької ефективності профілактичних випробувань, які не можуть виявити всі дефекти ізоляції КЛЕП. Таким чином, постає питання про підвищення ефективності профілактичних випробувань КЛЕП.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню й аналізу ситуації, що пов'язана з профілактичними випробуваннями кабельних ліній, присвячені праці багатьох вчених [2-8]. Основні напрямки їх досліджень досить докладно проаналізовані в [9]. Там же сформульовані два основних шляхи

підвищення ефективності профілактичних випробувань КЛЕП і розглянутий перший з них – удосконалення методики проведення випробувань. Другий шлях – підвищення ефективності випробувань КЛЕП за рахунок доповнення випробувань проведенням інформативного контролю про дефекти, які не були виявлені при випробуваннях, залишився за межами розгляду.

Мета статті. Метою статті є розгляд способів виконання контролю ізоляції КЛЕП, який би доповнював їх випробування та мав інформацію про дефекти ізоляції, що розвиваються, які не були виявлені при випробуваннях і можуть стати причиною пробоя в міжпрофілактичний період з достатньо високою ймовірністю.

Основна частина. Аналіз відомих методів контролю технічного стану ізоляції електрообладнання, в тому числі і КЛЕП, дозволяє виділити метод контролю

струму витоку при випробуваннях підвищеною постійною (випрямленою) напругою як спроможний нести інформацію про розвиток місцевих дефектів. Слід зазначити, що збільшення провідності всього об'єму ізоляції протяжної КЛЕП малоімовірно, оскільки для розвитку пробою достатньо місцевого зростання провідності. Помітне зростання струму витоку можна спостерігати в ізоляції КЛЕП за наявності одної або декількох ділянок з підвищеною провідністю.

Для підтвердження інформативної спроможності струму витоку використані дані експериментальних досліджень натурних зразків кабелю [3], які мають однакові штучно створені дефекти, пов'язані зі зволоженням ізоляції через калібровані отвори в оболонках зразків. Періодично протягом всього циклу зволоження зразків до наставання пробою проводилися випробування підвищеною постійною напругою з одночасним виміром струмів витоку.

Розкид вимірних величин струму витоку перед пробом зразків, що настав при випробуваннях, перебуває в проміжку 50-105 мкА, а розкид часу настання пробою – в проміжку 12-15 днів від початку їх зволоження. При цьому протягом перших 8 днів зволоження ізоляції у жодному із зразків збільшення струму витоку не спостерігалось.

Загальна тенденція зміни струму витоку з часом розвитку дефектів (зволоження ізоляції), визначена для математичного сподівання вимірів за всіма зразками в однакові моменти часу, достатньо добре апроксимується поліномом першого ступеня виду

$$I = a + bt, \quad (1)$$

де для отриманих в експерименті результатів

$$a = -92,8; \quad b = 11,2;$$

t – час розвитку дефектів.

Очевидно, що в реальних умовах величини коефіцієнтів a і b будуть залежати від характеру дефекту та умов його розвитку. Від'ємне значення коефіцієнта a пояснюється достатньо високим «запасом» опору ізоляції кабелю. На зменшення величини опору ізоляції практично не впливає збільшення провідності певної частини її верхніх шарів, оскільки існує визначений поріг нечутливості методу

контролю струму витоку до ступеня розвитку дефекту.

Важливим висновком для контролю ізоляції, що виходить з обробки результатів експериментальних досліджень, є пропорційність збільшення струму витоку ступеню розвитку дефекту, що дозволяє прийняти величину струму витоку як параметр контролю технічного стану ізоляції для конкретної кабельної лінії.

Однак використання цього параметра в експлуатаційній практиці надзвичайно ускладнено через наявність залежності його від типу та розмірів кабельної лінії. Це не дозволяє встановити яких-небудь граничних значень для параметра, що контролюється, який можна було б нормувати.

У зв'язку з цим пропонується використовувати в якості контролю стану ізоляції КЛЕП відношення величин струмів витоку, виміряних у двох суміжних випробуваннях однієї кабельної лінії:

$$I^* = \frac{I_{i+1}}{I_i}, \quad (2)$$

де i – номер випробування.

Відносна величина I^* не залежить від типу і розмірів кабельної лінії. Вона відображає лише відносну зміну струму витоку за період часу між двома суміжними випробуваннями, яка відбулася через погіршення фізичних параметрів ізоляції КЛЕП.

Для визначення гранично допустимого значення параметра I^* , після досягнення якого настає пробій ізоляції кабелю в період між двома суміжними регламентованими випробуваннями, результати вищезазначених експериментальних досліджень були оброблені із врахуванням пропонованого параметра. В результаті було встановлено, що ті кабелі, у яких параметр контролю за струмом витоку досягав на початку міжпрофілактичного періоду значення 1,6 і більше, виходили з ладу через пробою ізоляції протягом цього міжпрофілактичного періоду. Очевидно, що не слід очікувати серйозної зміни знайденої граничної величини параметра I^* залежно від географічного розташування системи електропостачання, оскільки ця величина залежить лише від фізичного стану ізоляції КЛЕП.

Для всіх кабелів, у яких відмічалась тенденція зростання струму витоку та наставав пробій ізоляції в міжпрофілактичний період, початку якого відповідало значення $I^* = 1,6$, була проведена статистична обробка результатів вимірів величини струму витоку I_{i+1} , яка використовувалась для визначення параметра I^* за допомогою виразу (2). При обробці статистичного матеріалу отриманий нормальний розподіл величини I_{i+1} (див.табл. 1 і 2, рисунок) з параметрами:

$$\bar{m}_I = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n I_j = 210,71 \text{ мкА};$$

$$\bar{D}_I = \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n I_j^2 - \bar{m}_I^2 \right] \cdot \frac{n}{n-1} = 2265,96;$$

$$\bar{\sigma}_I = \sqrt{\frac{\bar{D}_I}{n}} = 7,35 \text{ мкА}.$$

Нормальний розподіл величин струму витоку I_{i+1} не суперечить зносовому характеру дефектів, що призводять до пробію ізоляції при їх розвитку (нагромадженні).

Таблиця 1

Групований ряд розподілу випадкової величини I_j

I_j	110–140	140–170	170–200	200–230	230–260	260–290	290–320
n_{I_j}	3	6	8	11	7	5	2
$P_{I_j}^*$	0,071	0,143	0,194	0,262	0,166	0,118	0,046

Таблиця 2

Статистична функція розподілу випадкової величини I_j

I_j	110	140	170	200	230	260	290	320
$F^*(I)$	0	0,071	0,214	0,408	0,670	0,836	0,954	1

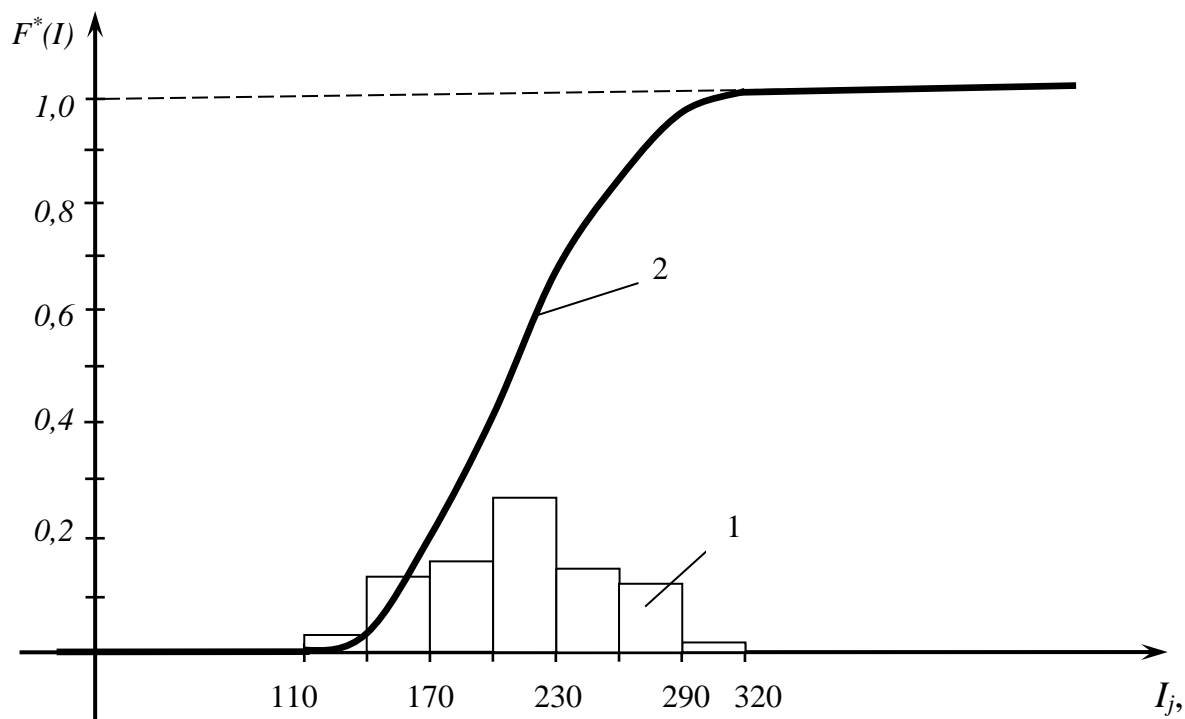


Рис. 1. Гістограма (1) і статистична функція розподілу (2) струмів витоку

Таким чином, маємо справу з параметром $I^*(t)$, що випадково змінюється в часі, за величиною якого на відрізку часу, що дорівнює міжпрофілактичному періоду, можна прогнозувати настання відмови КЛЕП. У цьому випадку відповідно до [10] імовірність

відмови КЛЕП в інтервалі часу $(t, t + \Delta t)$, якому належить випадковий момент часу відмови τ , за умови, що $0 < \tau < t < T$, де T – тривалість міжпрофілактичного періоду, на початку якого отримане граничне значення контрольованого параметра $I^*(t) \geq 1,6$, визначиться виразом

$$P(t < \tau \leq t + \Delta t) = \lambda(I^*)\Delta t + o(\Delta t), \quad I^*(t) \geq 1,6, \quad 0 < \tau < t < T, \quad (3)$$

де $\lambda(I^*)$ – узагальнена інтенсивність відмов, яка залежить від рівня параметра $I^*(t)$.

Імовірність відмови, визначена за виразом (3), обчислюється за припущенням, що до моменту часу $t < T$ відбувалася зміна параметра $I^*(t)$, але відмова КЛЕП до моменту часу t не відбулася.

Під час експлуатації за даними про відмови «вибракуваних» за параметром $I^*(t) \geq 1,6$ КЛЕП можуть бути знайдені статистичні оцінки $\bar{I}^*(t)$, \bar{m}_t і $\bar{\lambda}(I^*)$ для різних моментів часу τ , які задовольняють вимоги

незсушеності, обґрунтованості та ефективності, на підставі яких стає можливим імовірнісний прогноз настання відмови в деякому інтервалі часу $(t, t + \Delta t)$.

Висновок. Дана методика дозволяє здійснити науково обґрунтоване планування міжпрофілактичних випробувань «вибракуваних» під час останньої профілактики КЛЕП та організацію робіт з їх відновлення, спрямованих на скорочення кількості раптових відмов та часу їх усунення.

Список використаних джерел

1. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей [Текст]: утв. приказом Министерства топлива и энергетики от 25 июля 2006 г. № 258 (в редакции приказа Министерства энергетики и угольной промышленности от 13 февраля 2012 г. № 91). – Харьков: Изд-во «Форт», 2012. – 404 с.
2. Вайда, Д. Исследования повреждений изоляции [Текст] / Д. Вайда; пер. с венг. Т.З. Партоша; под ред. Д.В. Разевига. – М.: Энергия, 1968. – 400 с.
3. Городецкий, С.С. Испытания кабелей и проводов [Текст]: учеб. пособие для техникумов / С.С. Городецкий, Р.М. Лакерник. – М.: Энергия, 1971. – 272 с.
4. Ковригин, Л.А. Выбор испытательного напряжения при измерении частичных разрядов в кабелях на среднее напряжение [Текст] / Л.А. Ковригин, Л.Г. Сидельников // Кабель-news: информационно-аналитический журнал. – 2009. – № 11. – С. 56-58.
5. Войлошников, В. Технические требования по испытаниям кабельных линий в сетях 0,4-10 кВ [Текст] / В. Войлошников // Кабель-news: информационно-аналитический журнал. – 2008. – №10. – С. 61-63.
6. Копченков, Д.М. Современные методы и оборудование для испытаний, определения мест повреждений и диагностики силовых кабелей [Текст] / Д.М. Копченков, В.Н. Кольцов // Кабель-news: информационно-аналитический журнал. – 2009/2010. – № 12-1. – С. 67-69.
7. Канискин, В.А. Оценка технического состояния кабелей и кабельных сетей [Текст]: монография / В.А. Канискин, А.А. Пугачев, А.И. Таджибаев. – СПб.: ПЭИПК, 2007. – 173 с.
8. Борисов, А.М. В России должны быть единые нормы для испытания кабелей [Текст] / А.М. Борисов // Кабель-news: информационно-аналитический журнал. – 2010. – № 3. – С. 49-50.
9. Акімов, О.І. Підвищення ефективності профілактичних випробувань кабельних ліній електропередачі [Текст] / О.І. Акімов, Ю.О. Акімова // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 136. – С. 119-121.

10. Герцбах, И.Б. Модели профилактики. Теоретические основы планирования профилактических работ [Текст]: монография / И.Б. Герцбах. – М.: Сов. радио, 1969. – 214 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор Ю.І. Гусевський

Акімов Олександр Іванович, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизованих систем електричної тяги Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-76.

Акімова Юлія Олександрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри вищої математики Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-38.

Akimov Alexander, Ph.D., assistant professor of automated systems of electric traction Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-76.

Julia A. Akimov, Ph.D., assistant professor of higher mathematics Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-38.