

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ТА МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА РІВЕНЬ УШКОДЖУВАНОСТІ ТА СТАН ІЗОЛЯЦІЇ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ

Сабарно Л. Р.

*Інститут електродинаміки Національної академії наук України*

*Наведено результати дослідження факторів, що впливають на стан ізоляції розподільних мереж, та запропоновано методику оцінювання стану ізоляції за ретроспективними даними.*

**Постановка проблеми.** Надійність та безпечність функціонування розподільних мереж визначаються, у першу чергу, станом їх ізоляції. Значна частина цих мереж виконана кабелями. Термін експлуатації, встановлений для них виробником, складає 30 років. Більшість кабелів вже відпрацювало цей термін, причому зустрічаються кабелі, що експлуатуються 40 і більше років та не мають пошкоджень, а є й такі, у яких через декілька років експлуатації виникає пробій ізоляції, внаслідок чого порушується нормальне електропостачання. Тобто, роботи по створенню методів діагностування та прогнозування стану ізоляції є завжди актуальними.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомі методи оцінки стану ізоляції кабельних ліній (КЛ) можна розділити на діагностичні, експертні та ймовірно-статистичні.

Діагностичні методи оцінювання [1] базуються на врахуванні впливу різних фізико-хімічних факторів на розвиток деградаційних процесів. До таких методів відноситься і прописана у нормативних документах система планово-профілактичних випробувань, при якій кабелі періодично піддаються випробуванням підвищеною напругою. Високовольтні випробування є руйнівним методом контролю ізоляції. Вони застосовуються при введенні в експлуатацію нових КЛ та після ремонту. За результатами випробувань ізоляція чи пробивається і потім проводиться ремонт, чи кабель залишається у роботоздатному стані, але на невизначений час. Ці випробування виявляють лише грубі місцеві дефекти, не даючи гарантій подальшої безаварійної роботи, і нерідко самі призводять до скорочення термінів експлуатації КЛ.

Експертні методи базуються на експертних оцінках групами спеціалістів. Для цього складається програма з питаннями, що стосуються виконання вимог регламентів експлуатації, технічного обслуговування і ремонту, передбаченого нормативно-технічною і розпоряджувальною документацією. На основі даного підходу отримують швидкі результати при мінімальних витратах, але оцінити точність результатів важко, оскільки вибір експертів зазвичай обмежений, а їх висновки є суб'єктивними.

Для прогнозування тривалості роботи кабелю до пошкодження чи його безаварійної роботи до наступних профілактичних випробувань застосовують ймовірно-статистичні методи, що базуються на аналізі даних про експлуатацію КЛ на протязі тривалого часу – періоду спостереження [2]. У прогнозних моделях відображаються усі фактори якості експлуатації і впливу довкілля [3-4]. Недоліком даних методів може

бути неповнота наявної інформації, її спотворення в силу різних причин. Тому важливою є задача правильної організації збору, зберігання і аналізу даних про експлуатацію кабелів, що дозволило б об'єктивно вивчати залежності пошкоджень ізоляції, виявляти їх основні причини, оцінювати ефективність і надійність різних профілактичних заходів за даними, отриманими безпосередньо у процесі експлуатації.

Останнім часом у світовій науці і практиці, у т.ч. і в Україні, йде велика робота по розробці і впровадженню неруйнівних методів діагностування. Але їх впровадження наштовхується на певні труднощі: матеріальні, технічні, організаційні. У той же час існує можливість діагностування та прогнозування стану ізоляції кабельних мереж за ретроспективними даними щодо їх експлуатації за допомогою ймовірно-статистичний підходу до оцінювання ресурсних показників.

**Мета статті.** На основі аналізу статистичного матеріалу виявити вплив основних груп факторів на погіршення стану ізоляції для подальшого прогнозування пошкоджуваності.

**Основні матеріали дослідження.** На підприємствах, що експлуатують кабельні мережі, зберігається значний обсяг інформації про експлуатацію кабелів. Ця інформація відображена у паспортах на КЛ, диспетчерських журналах тощо, а саме це:

- марка, площа перерізу, довжина, рік прокладення ділянок КЛ, дані щодо профілактичних випробувань;
- акти на монтаж муфт, тип муфти, марка мастики, причина монтажу, ескіз місця монтажу;
- траса КЛ, де позначено прив'язку до місцевості.

На основі даної інформації щорічно укладаються звіти про параметри кабельної мережі і рівень пошкоджуваності. Аналіз даних вручну займає багато часу й сил і нерідко не проводиться, а такий спосіб зберігання інформації є морально застарілим. У той же час на основі вивчення, аналізу цієї інформації можна прогнозувати аварійний стан ізоляції, планувати роботи по профілактиці.

Для дослідження були зібрані вихідні дані паспортів на КЛ напругою 6-10 кВ з паперовою ізоляцією загальною довжиною 572 км, 1278 актів на монтаж муфт, диспетчерських журналів, звітів про метеорологічні умови на території Київської області за 24 роки.

У якості досліджуваних величин були прийняті: число пробіїв КЛ, календарний термін служби ізоляції від моменту прокладення до пробою, середньомісячні кліматичні параметри (температура на поверхні

грунту, температура у ґрунті на глибині 0,8 м і кількість опадів). Розглядався робочий стан ізоляції і стан пробою.

Проаналізувавши фактори, які діють на ізоляцію КЛ, їх можна розділили на три групи: обумовлені проектними рішеннями, експлуатаційні та кліматичні.

До першої групи факторів віднесені глибина і траєкторія прокладення КЛ, перетин з комунікаціями і дорогами. Вони є практично постійними для вже існуючої мережі чи рідко змінюються при реконструкції і благоустрої населених пунктів.

Для виявлення степені впливу цих факторів було застосовано дисперсійний аналіз. Аналіз показав, що поєднання факторів глибини і траєкторії прокладення суттєво впливає та строк служби ізоляції (рис. 1). На протязі року відбувається рух ґрунту, що приводить до механічної дії на кабель. Деформація ґрунту під час його промерзання-танення є однією з суттєвих причин весняно-осінніх піків пошкоджуваності.

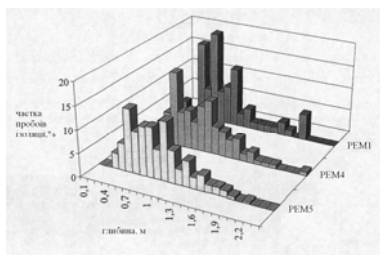


Рисунок 1 – Розподіл пробів КЛ в залежності від глибини прокладення

Механічні дії найбільш небезпечні на поворотах траси. Тут, крім зусиль на стискання і розтягнення, додається ще крутіння кабелю. Порівняння пошкоджуваності на прямих ділянках і поворотах показало, що число пробів на вигині до 1,39 раз більше ушкоджуваності на прямих ділянках.

До другої групи факторів, так званого "рівня експлуатації" віднесені струми робочого режиму, струми к.з., проведення земляних і наземних робіт та якість роботи електромонтерів-кабельників. Ці фактори більш динамічні.

Вплив на аварійність струмів робочого режиму не було виявлено, оскільки мережі експлуатуються з навантаженням 50-90% від тривало допустимого струму.

Стосовно струмів аварійного режиму. На процес старіння впливає розміщення КЛ у схемі. Розрахунок середнього часу напрацювання до відмови показав, що у головних КЛ (154 міс) він приблизно на 10% менше, ніж у решти КЛ (176 міс), що пов'язано з дією струмів к. з., яким головні кабелі піддаються частіше. Таким чином, ресурс кабелів визначається не тільки власним станом ізоляції, а і станом ізоляції кабелів, що знаходяться нижче у схемі мережі в одній радіальній гілці.

Аварійні ситуації можуть виникати і внаслідок випадкових факторів, наприклад, дефектів монтажу і механічних пошкоджень при проведенні будівельних робіт. Розрахунок інтенсивності відмов показав, що час виявлення грубих дефектів складає до 3 років. На цей період припадає до 20% всіх пошкоджень, причо-

му більшість з них - у перший рік експлуатації, що є свідченням дефектів монтажу КЛ.

Третю групу факторів зумовлюють кліматичні параметри, які впливають і на першу і на другу групу факторів.

На основі вибірки даних (716 значень) за 23 роки експлуатації кабельних мереж Київської обл. підтверджено, що пошкоджуваність КЛ на протязі року не є постійною, а відбувається з коливаннями. З гістограми пошкоджуваності КЛ за місяцями (рис. 2) видно наступну тенденцію: збільшення кількості пробів ізоляції у березні-квітні, а зниження - у жовтні-листопаді, тобто у періоди, коли спостерігалось інтенсивне випадіння опадів у вигляді дощу і мокрого снігу, а також відбуваються коливання позитивних і негативних температур. В осінньо-зимовий період в результаті процесу морозного спучування, який сприяє появі механічних зусиль, що розтягають кабель, в ізоляції можуть утворюватися ослаблені ділянки. У квітні при активній дії ґрунтових і паводкових вод, а також у зв'язку з початком періоду будівельних робіт утворюються нові дефекти, а існуючі поступово розвиваються і з часом проявляються у вигляді пробою. Деформація ґрунту при проведенні земляних робіт в охоронній зоні кабелю, його зволоження у літній період - все це призводить до зростання пошкоджуваності ізоляції у теплий період року. Дані щодо температури і опадів брались з сайту погоди <https://www.gismeteo.ua>. Слід відмітити, що в останні роки спостерігається дещо інша тенденція розподілу температури і опадів, що в подальшому вплине на розподіл пошкоджень по місяцях року.

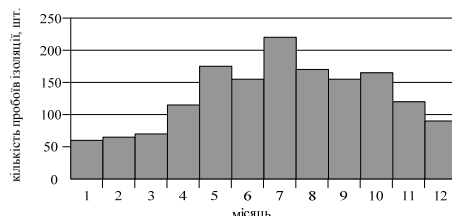


Рисунок 2 – Усереднена залежність пошкоджень КЛ по місяцям

Розглянуті фактори є вихідними даними для укладення математичної моделі пошкоджуваності ізоляції КЛ за допомогою імовірно-статистичного методу. Оскільки пробів КЛ є дискретною, випадковою величиною, то й модель оцінки пошкоджуваності ізоляції є імовірною.

Для укладання математичної моделі запропоновано віднести ряд пробів ізоляції до відомого закону розподілення і перевірити відповідність статистичних даних прийнятій гіпотезі за допомогою критерію К. Пірсона [3]. В якості гіпотез розглядалися геометричне, біноміальне розподілення і розподілення Пуассона. У нашому випадку добре узгоджується геометричне розподілення.

Ймовірність виникнення пробів згідно висунутої гіпотези про геометричний розподіл має вигляд:

$$P\{\xi = k\} = (1 - p_i) p_i^k,$$

де  $p_i = (\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ij}) / (1 + \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ij})$  – ймовірність виникнення пробою у  $i$ -му місяці;  
 $\xi = 0, 1, 2, 3, \dots$  – випадкова дискретна величина;  
 $k = 0, 1, \dots, K$  – прогнозоване число пробойів;  
 $y_{ij}$  – число пробойів у  $i$ -му місяці  $j$ -го року;  $n$  – кількість років.

Максимально можливе число пробойів  $k_{\max i}$  для кожного місяця з прийнятою надійністю  $\nu$  обчислюється:

$$k_{\max i} \geq \frac{\ln(1-\nu)}{\ln p_i} - 1.$$

Довірчий інтервал для знайденого  $k_{\max i}$  визначається розв'язанням нерівності:

$$P\{k_2 \leq k_{\max i} \leq k_1\} = p^{k_2} (1 - p^{k_1 - k_2 + 1}) \geq \nu.$$

Особливістю такої моделі є врахування минулих і теперішніх даних щодо пробойів КЛ. Прогнозування буде постійно коректуватись з надходженням нових даних.

На основі встановлених залежностей запропоновано методику укладання прогнозу пошкоджуваності ізоляції КЛ.

1. З бази даних по кабельним мережам укладається вибірка, що вміщує дані щодо термінів служби кабелю в залежності від глибини і траєкторії прокладання КЛ.

2. За допомогою дисперсійного аналізу визначається значимість виділених факторів.

3. Виділяються території, на яких вплив постійно діючих на ізоляцію факторів однаковий. У подальшому всі розрахунки для кожної території проводяться окремо.

4. З вибірки по кількості опадів і числу пробойів, застосовуючи кореляційний аналіз, визначається інтервал часу, через який для розглядуваної території проявляється вплив зволоження ґрунту.

5. Укладається вибірка з числа пробойів ізоляції кабелів в залежності від місяця, проводиться вибір закону розподілу пошкоджуваності ізоляції.

6. За даними попередніх років обчислюється ймовірність виникнення  $k$  пробойів в  $i$ -му місяці. Визначається максимально можливе число пробойів  $k_{\max i}$  для кожного місяця з прийнятою надійністю  $\nu$  і довірчий інтервал для знайденого  $k_{\max i}$ .

Із застосуванням запропонованої методики укладається прогноз числа пробойів ізоляції для окремих ділянок КЛ. Рекомендується наносити на карту кабельної мережі найбільш небезпечні ділянки з максимальною пошкоджуваністю і виявляти причину високої аварійності. В подальшому, по можливості, вплив даних факторів необхідно усувати, застосовуючи технічні рішення.

**Висновки.** Наведені дані аналізу статистичної

інформації щодо впливу основних груп факторів на погіршення стану ізоляції кабелів. Запропонована методика прогнозування пошкоджуваності мереж, яка при незначних капіталовкладеннях дозволяє знизити аварійність діючих мереж. Запропонований підхід може застосовуватись також для повітряних ліній.

## Список використаних джерел

1. Сабарно Л. Р. Комплексний підхід до діагностування стану ізоляції кабельних електричних мереж – запорука надійності, безпечності та ефективності їх експлуатації / Л. Р. Сабарно, В. І. Кошман, І. М. Севастюк // Зб. наук. праць "Безпека життєдіяльності людини як умова сталого розвитку сучасного суспільства". - К.: Основа, 2011. – С. 105-109.

2. Сабарно Л. Р. Кабельные распределительные электрические сети: проблемы надежности и безопасности / Л. Р. Сабарно, В. И. Кошман, И. М. Севастюк // Сб. матер. V-й Международ. науч.-практич. конф. "Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии". - Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2012. - Т. 1. – С. 34-38.

3. Юрченко Е. Ю. Задачи, связанные с увеличением уровня эксплуатационной надёжности кабельных линий напряжение 6-10 кВ / Е. Ю. Юрченко // Электробезопасность. - 2007. - № 4. - С. 41-48.

4. Кузнецов В. Г. Врахування впливу факторів довкілля при діагностуванні та прогнозуванні стану ізоляції розподільних кабельних мереж / В. Г. Кузнецов, Л. Р. Сабарно, В. І. Кошман, І. М. Севастюк // Технічна електродинаміка. Тематичн. вип. "Проблеми сучасної електротехніки". - 2006. - Ч.5. - С. 21-24.

## Аннотация

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА УРОВЕНЬ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ И СОСТОЯНИЕ ИЗОЛЯЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Сабарно Л. Р.

*Приведены результаты исследования факторов, влияющих на состояние изоляции распределительных сетей, и предложена методика оценивания состояния изоляции по ретроспективным данным.*

## Abstract

### STUDY OF INFLUENCE AND METEOROLOGICAL FACTORS ON THE LEVEL DAMAGEABILITY AND CONDITION ISOLATION OF DISTRIBUTION NETWORKS

L. Sabarno

*Results of the study of factors affecting the state the isolation of the distribution network given and method evaluation of insulation condition on retrospective data suggested.*