

МОДЕЛІ НАДІЙНОСТІ МЕХАНІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ

Рижий О. С., студент, Халіков В. А., д.т.н.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних мереж та систем

Вступ. Повітряні лінії електропередач як об'єкти дослідження надійності підпадають під визначення розподілених систем з множин механічних та електричних конструктивних елементів. Елементи кожної множини мають притаманні їм властивості – міцність, деформація, механізми старіння та відмови, вартість, а також ступінь впливу на функціонування системи.

Надійність ліній визначається надійністю конструктивних елементів а також, в свою чергу, впливає на вибір рішень при плануванні та проектуванні електричних систем. В складі повітряної лінії можна виділити деталі опор різного призначення, проводи та блискавкозахисні троси, арматуру, ізоляційні підвіски (гірлянди підвісних ізоляторів) та повітряні проміжки.

Мета роботи. Метою проведення даного дослідження є аналіз моделей надійності механічних елементів повітряних ліній, а саме для загальних та одиничних моделей елементів.

Матеріали та результати досліджень. Загальною моделлю для розрахунку вірогідності руйнування вітром та ожеледдю повітряної лінії електропередачі (далі ПЛЕП) служить її анкерна ділянка, обмежена кутовими опорами. Усі прогони ділянки однаково орієнтовані до вітру (потоку, що несе ожеледь), та навантаження відокремлених прогонів відрізняються тільки за рахунок мікрорельєфу по трасі.

На ПЛЕП діють горизонтальне вітрове навантаження під кутом φ до осі лінії, вертикальні навантаження маси проводів, ожеледиці та конструкції опор. На кутові опори с кутом повороту α впливають також тяжіння проводів та тросів T , T' та T'' , рис. 1.

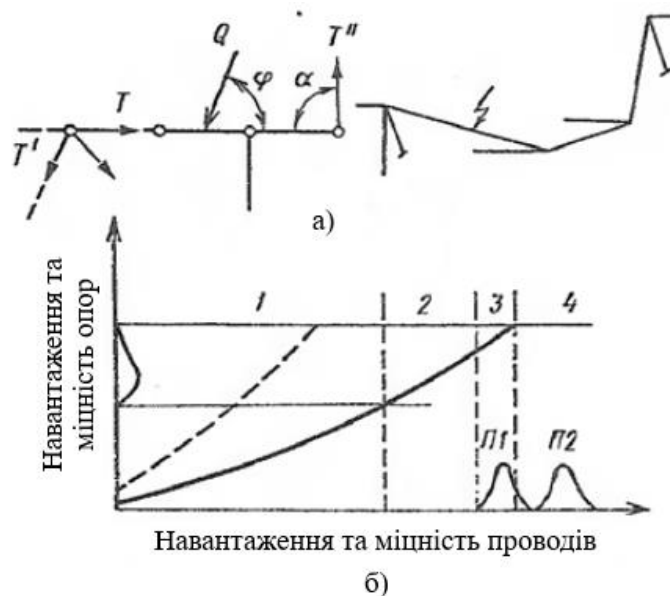


Рисунок 1 – Схема анкерної ділянки ПЛЕП (а) та одинична модель проміжної опори для різних зон міцності (б); П1 та П2 – міцності проводів.

Таблиця 1 – Залежність руйнування опор та проводів від зон міцності

| Зона | Первинна відмова | Вторинна відмова |
|------|-------------------|-------------------|
| 1 | Ні | – |
| 2 | Опори | Проводи |
| 3 | Опори або проводи | Проводи або опори |
| 4 | Проводи | Опори |

Проміжні та кутові опори ділянки можуть бути зруйновані двома незалежними та різночасовими навантаженнями або вітру без ожеледі на проводах, або сумарними впливами вітру та ожеледі. Проводи (троси, арматура) можуть бути зруйновані статичним навантаженням ожеледі або динамічним навантаженням, котрим супроводжуються обрив сусідніх проводів та скидання ожеледі. Вторинні пошкодження являються наслідком первинних руйнувань над розрахунковими навантаженнями. Наприклад, руйнування ожеледдю всіх проводів прогону або кутової опори супроводжується каскадним руйнуванням лінії в обидві сторони до опор, спроможних витримати одностороннє тяжіння проводів.

Розвиток аварій попереджається координацією міцностей взаємозв'язаних елементів: першим повинен руйнуватися елемент з мінімальними вартістю та часом відновлення, статичними та динамічними впливами на інші елементи, руйнування яких могло б привести до каскадних аварій. Відповідно до цього правила при перевищенні розрахункових навантажень першої повинна руйнуватися стойка проміжної опори та із заданою забезпеченістю не повинні виходити з строю проводи, кутові та анкерні опори. В складі опор найбільші запаси міцності повинні мати траверси, арматури та фундаменти більш дешеві, чим стойки (стволи). Виключення представляють спеціальні опори, які встановлюються на великих переходах та в зоні частих обвалів і лавин, котрі вигідно розрахувати на обриви проводів.

Стойки (стволи) проміжних опор являються центральним елементом, від якого залежать міцності та вартості інших елементів, надійність ПЛЕП та електропередачі в цілому.

Одиничні моделі дозволяють розрахувати вірогідності первинних руйнувань опор та проводів, але не дають прямої відповіді про число випадків та кількість одночасно зруйнованих елементів в анкерній ділянці. Такі випадки усереднені в часі та просторі в припущенні статистичної незалежності зовнішніх впливів на одиничні моделі.

Одиничні моделі ґрунтуються на загальних співвідношеннях між випадковими зусиллями та міцностями (рис. 2). Міцність $R(t)$, що зменшується в часі t старіючих елементів задана функцією розподілу вірогідностей $F(R, t)$. Зусилля S_B та S_{BG} від різночасових максимумів річних впливів вітру та комбінації вітру з ожеледдю задані густинами ймовірностей $f(S_B)$ та $f(S_{BG})$.

Вірогідність руйнування в рік t елемента міцністю R одним із впливів Q та відповідним зусиллям S буде рівною (1):

$$1 - P_f(t) = \int_0^{\infty} F(R, t) f(S) dS \quad (1)$$

Навіть в найпростішому випадку одного виду впливу на недеформований елемент незмінної міцності цей інтеграл може бути оцінений лише за допомогою моделювання в наступній схемі: в кожному циклі по вихідним функціям розподілень вірогідностей необхідно отримати випадкові оцінки міцності та швидкості вітру, перерахувати швидкість вітру в зусилля, розрахувати результуюче зусилля та порівняти його з міцністю. Для врахування двох та більше впливів, деформацій та втрати міцності (старіння) елементу необхідні більш складні процедури.

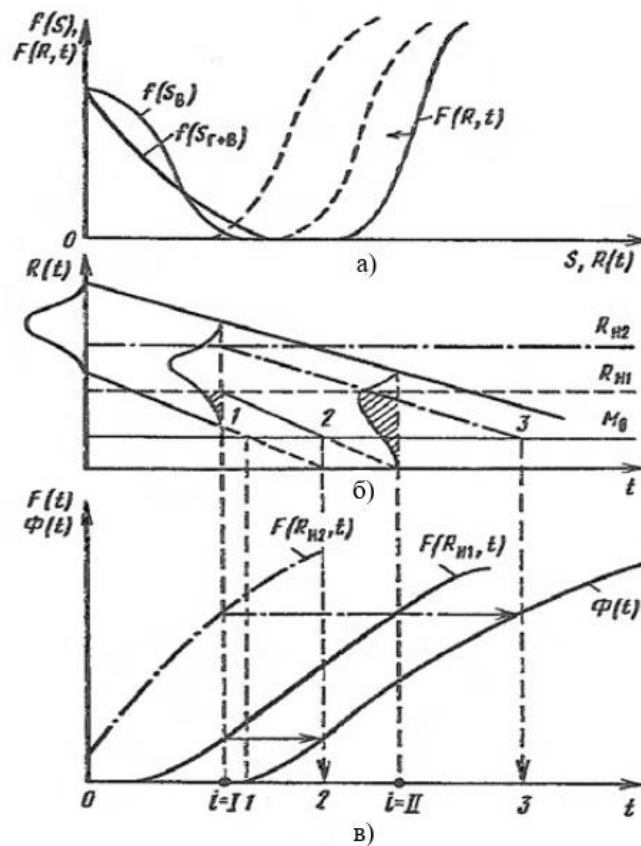


Рисунок 2 – Моделі надійності опор ПЛЕП:

а – співвідношення вірогідностей навантажень S та міцностей $R(t)$; б – модель старіння та відмов; в – функції розподілень ймовірностей часу роботи до заданого рівня міцності $F(R_H, t)$ та відмови $\Phi(t)$, де 1, 2, 3 – початок можливих відмов міцності до верхнього рівня навантажень M_B ; $i = I, II$ – моменти попереджувальних заміन деталей.

Нормативні проектні розрахунки по вибору або перевірці міцності конструкції зводять ситуацію рис. 2, а до критерія

$$S_{ip} = Q_{ip} L_{ip} \leq R_p,$$

де p – індекс, що означає розрахункове значення величини;

L_{ip} – оператор перетворення впливу виду i в зусилля S_i .

Умова руйнування елемента j в режимі i в рік t

$$S_{ip} = Q_{ip}L_{ip} \geq R_p,$$

перевіряється в кожному режимі i в кожен рік t до руйнування або заданого числа років моделювання.

Якщо умова виконана, то фіксується відмова елемента. Інакше аналізується наступний режим або рік $t + 1$ роботи опори. В кожен рік елемент характеризується міцністю $R(t + 1) \leq R(t)$. Незалежно від умови руйнування для старіючих елементів в кожен модельований рік перевіряється умова $R_j(t) = R_H$ та число пересічень $n(R_H, t)$, де R_H – фіксований рівень залишкової міцності (норма бракування).

Показник безвідмовності та довговічності елемента j оцінюється по числу відмов $n_i(t)$ та пересічень $n(R_H, t)$, зареєстрованому при імітації в комп'ютері функціонування кожної з N опор (прогонів проводів) вихідної їх сукупності, введеної в рік $t = 0$ (2):

$$F_j(t) = \frac{\sum n_j(t)}{N} \quad \text{та} \quad \Phi_j(R_H, t) = \frac{\sum n_j(R_H, t)}{N} \quad (2)$$

Ввід нових елементів взамін тих, які відмовили або були браковані враховується на основі послідовних процедур в схемі на рис. 2. Міцність елементів можна проконтролювати, а руйнування попередити заміною в момент i з залишковою міцністю $R < R_H$. Норма бракування R_H визначає запас міцності, строк служби елементів та затрати на планові ремонти.

Попереджувальні заміни в теоретичній схемі на рис. 2 відповідають усіченню по залишковій міцності R_H функцій розподілу вірогідностей $F(R, t)$. В результаті початок можливих відмов зміщується в точку Π , що визначається рівністю функцій $F(R, t) = \Phi(t)$. Якщо, наприклад, перший попереджуючий ремонт ПЛЕП назначений на момент $i = I$, то на інтервалі часу експлуатації лінії $[0, I]$ аварійних замін елементів не буде, а вірогідність попереджувальних замін залежить від норми бракування. Якщо ж перший плановий ремонт лінії назначити на момент $i = II$, то вірогідність аварійних замін буде $\Phi(i = II)$ та попереджувальних $F(i = II, R_H) = \Phi(II)$.

Висновок. Проведений аналіз моделей надійності механічних елементів повітряних ліній, зокрема загальних та одиничних моделей. Ще раз показує те, що надійність механічних елементів безпосередньо і суттєво впливає на надійність всієї системи електропередачі. Тому вирішення питань, пов'язаних з надійністю, має велике значення при плануванні та проєктуванні електричних систем.

Розуміння та оцінка надійності механічних елементів повітряних ліній є ключовими аспектами для забезпечення стабільності та надійності електричних мереж. Дослідження моделей надійності важливе для визначення оптимальних рішень щодо обрання конкретних конструктивних елементів та матеріалів для будівництва повітряних ліній.

Перелік посилань

1. Надежность систем энергетики и их оборудования. Справочник: В 4-х т. / Под общ. ред. Ю. Н. Руденко. Т.2. Надежность электроэнергетических систем. Справочник / Под ред. М. Н. Розанова. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 568 с.
2. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник / А. В. Журахівський, С. В. Казанський, Ю. П. Матеєнко, О. Р. Пастух. – Київ. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 456 с. – Бібліогр. : с. 450-452.

РОЛЬ ОБ'ЄДНАНОЇ ОФШОРНОЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ ДЛЯ КРАЇН ЄВРОСОЮЗУ

Штефирца Є. О., студентка, Кирик В. В., д.т.н., професор
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних мереж та систем

Вступ. У сучасному світі зростання споживання електроенергії та зміни кліматичних умов поставили перед суспільством завдання забезпечення сталого та екологічно чистого виробництва електроенергії. Багато країн, особливо в Європейському Союзі, активно переходять до стійких та екологічно чистих джерел енергії.

У Європі досить інтенсивно відбувається процес декарбонізації електроенергетики. Наприклад, у 2021 році дві третини електроенергії вироблено без викидів вуглецю, а частка відновлюваних джерел енергії на теперішній час становить 40 % від загального обсягу виробництва, знижуючи виробництво на основі копалин на 18 % [1]. Прогнозується, що до 2030 року 21 країна Євросоюзу відмовиться від вугільної генерації, а ЄС планує виробляти до 80 % електроенергії без використання земних копалин, зокрема, 60 % планується виробляти на основі відновлюваних джерел енергії [2].

Один із головних напрямків у реалізації цієї стратегії в Євросоюзі – створення єдиної офшорної мережі з вітровими електростанціями. Головна мета цього проекту – створення Об'єднаної офшорної вітростанції, що передбачає співпрацю країн-членів Євросоюзу для будівництва мережі офшорних вітроелектростанцій в Північному морі та інших регіонах відкритого моря [3].

Вітростанція – це споруда, спеціально розроблена для збирання енергії вітру та перетворення її на електричну енергію. А офшорна вітростанція - це спеціалізована споруда для виробництва електроенергії за допомогою вітрових турбін, яка розташована у відкритому морі або на континентальному шельфі, подалі від берегової лінії. Ці вітростанції спеціально розроблені для використання стабільних та сильних вітряних потоків у морському середовищі для генерації електроенергії.