

ПЛАНУВАННЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЗА УМОВ ПРИЄДНАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК НОВИХ СПОЖИВАЧІВ

Вступ. Актуальність реконструкції розподільних електричних мереж в Україні набуває особливого значення в умовах сучасних викликів. Останніми роками, особливо у світлі військових дій на території країни, Україна зіткнулася з значними втратами та пошкодженнями енергетичної інфраструктури. Це вимагає не тільки відновлення та ремонту існуючих мереж, але й планування їх реконструкції з метою підвищення надійності, ефективності та інтеграції нових споживачів. У 2023 році Уряд України затвердив Концепцію впровадження “розумних мереж” до 2035 року [1], яка передбачає глибоку трансформацію системи розподілу електроенергії. Цей крок є відповіддю на потреби сучасного суспільства та виклики, поставлені війною, включаючи потребу в більш гнучких та стійких енергетичних системах. Додатково, з урахуванням зростаючого попиту на електроенергію та постійного розвитку нових технологій, необхідність інтеграції нових споживачів стає все більш актуальною. Впровадження нових підходів у плануванні та реконструкції мереж є критично важливим для стабільності енергосистеми країни.

Мета роботи. Мета роботи полягає в розробці ефективних стратегій планування реконструкції розподільних електричних мереж в Україні з урахуванням потреб приєднання електроустановок нових споживачів. Робота зосереджена на аналізі сучасного стану інфраструктури, впливу військових дій на енергетичну систему, а також на вивченні можливостей впровадження новітніх технологій і підходів для підвищення надійності та ефективності електричних мереж. Важливим аспектом є також врахування екологічних та економічних факторів у процесі реконструкції та модернізації енергосистеми.

Загальний зміст. Планування реконструкції ліній електропередачі є складним процесом, що вимагає інтеграції різноманітних аспектів, включаючи моделювання природних катастроф, розрахунки навантажень та генерації сонячних електростанцій, математичне формулювання та використання оптимізаційних алгоритмів для вирішення багатокритеріальних задач.

Важливою частиною планування є оцінка впливу високоймовірних, але низькочастотних природних катастроф, таких як урагани або повені. Це вимагає моделювання й оцінки ризиків для компонентів мережі, використання кривих уразливості для оцінки ймовірності збоїв компонентів мережі за певних умов. Для розрахунку ймовірності пошкодження компонентів мережі при певних погодних умовах, рівняння виглядає наступним чином:

$$P(\text{damage}|x) = \int_{-\infty}^{\infty} x^{2\pi} \times \exp(-2\sigma^2(\ln x - \mu)^2) dx,$$

де: $P(\text{damage} | x)$ - ймовірність пошкодження компонента при вказаному рівні події x (наприклад, швидкість вітру чи рівень затоплення);

μ - логарифмічне середнє кривої уразливості;

σ - стандартне відхилення кривої уразливості.

Розрахунок навантажень і генерації сонячних електростанцій зазвичай включає такі елементи:

1) Прогнозування навантажень: Використовуються різні методи статистичного аналізу та часові серії для прогнозування навантажень. Один із загальних підходів - використання авторегресійних інтегрованих моделей ковзного середнього (ARIMA), де навантаження L_t на часовий крок t може бути визначене як:

$$L_t = c + \phi_1 L_{t-1} + \dots + \phi_p L_{t-p} + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t,$$

де: c - константа,

ϕ та θ - параметри моделі,

ε_t - термін помилки.

2) Моделювання генерації сонячної електростанції: Для моделювання виробництва від фотовольтаїчних систем використовується залежність виробітку енергії від сонячного випромінювання, коефіцієнтів ефективності фотовольтаїчних панелей та умов навколишнього середовища.

Виробіток енергії PPV можна визначити як:

$$PPV = G \times A \times \eta,$$

де: G - глобальне сонячне випромінювання ($Вт/м^2$),

A - площа фотовольтаїчних панелей ($м^2$),

η - коефіцієнт ефективності фотовольтаїчних панелей.

Математичне формулювання планування мережі охоплює створення оптимізаційної моделі для планування мережі. Типові формули можуть включати такі аспекти:

- Цільова функція: Для мінімізації загальних витрат може бути використана цільова функція, яка враховує капітальні витрати, експлуатаційні та обслуговуючі витрати:

$$\min Z = \sum_{i \in I} C_i + \sum_{j \in J} O_j,$$

де: Z - загальні витрати,

C_i - капітальні витрати на компоненти мережі,

O_j - експлуатаційні та обслуговуючі витрати.

- Обмеження: Включаються обмеження щодо потужності ліній, допустимих меж напруги, балансу потужності, радіальної структури мережі тощо. Наприклад, для балансу потужності:

$$\sum_{i \in I} P_{gen,i} - \sum_{j \in J} P_{load,j} = 0,$$

де: $P_{gen,i}$ - вироблена потужність генераторами,

$P_{load,j}$ - потужність навантаження.

Ці формули є спрощеними прикладами, які демонструють базові концепції в моделюванні та плануванні електроенергетичних систем. Для конкретного застосування ці моделі можуть бути значно складнішими та включати додаткові параметри та обмеження [2].

Після проведення енергозберігаючих заходів у мережах, таких як модернізація обладнання або оптимізація робочих режимів, спостерігається значне зниження втрат електроенергії. Це зниження втрат може призвести до значної економії ресурсів та витрат на електроенергію для електророзподільчих компаній, а також до покращення екологічного стану через зменшення використання енергоресурсів та викидів в атмосферу.

Для кількісної оцінки цієї економії використовується спеціалізована формула, яка дозволяє розрахувати вигоди від енергозбереження за рік на основі зекономленої електроенергії та її ціни. Ця формула включає в себе параметри, які враховують зниження втрат у мережі, вартість електроенергії, ставку дисконтування, та тривалість життєвого циклу реконструкції мережі. Оцінка вигод від енергозбереження є ключовою для визначення економічної ефективності заходів з модернізації електророзподільних мереж та підвищення їх енергоефективності.

Формула розрахунку вигод від енергозбереження:

$$E = \Delta A \times CPE \times i \times (1+i)^n (1+i)^{n-1},$$

де: E - енергетична ефективність трансформації електромережі протягом досліджуваного життєвого циклу,

ΔA - річна економія електроенергії після реконструкції, виражена у кВт·год,

CPE - ціна електроенергії,

i - ставка дисконтування,

n - кількість років життєвого циклу.

Ця формула визначає вигоди від енергозбереження, які виражаються у вигляді зекономленої електроенергії, помноженої на її ціну, і скориговані з урахуванням часу і дисконтування витрат та економії в рамках досліджуваного життєвого циклу [3].

Висновок. Планування реконструкції ліній електропередач та розширення мережі електророзподілу є багатогранним та складним завданням. Воно включає інтеграцію різноманітних аспектів, таких як моделювання природних катастроф, розрахунки навантажень, генерації фотовольтаїки та використання оптимізаційних алгоритмів для вирішення багатокритеріальних задач.

Особлива увага приділяється оцінці впливу природних катастроф, використовуючи моделі ймовірності пошкодження компонентів мережі та кривих уразливості.

Важливою частиною процесу є впровадження енергозберігаючих заходів, таких як модернізація обладнання та оптимізація режимів роботи, що призводить до значного зниження втрат електроенергії та покращення екологічного стану. Використання спеціалізованих формул дозволяє кількісно оцінити вигоди від енергозбереження, що є ключовим для визначення економічної ефективності модернізаційних заходів.

Список використаних джерел:

3. Уряд України. Уряд схвалив Концепцію впровадження розумних мереж в Україні до 2035 року. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/news/uriad-skhvalyv-kontseptsiiu-vprovadzhennia-rozumnykh-merezh-v-ukraini-do-2035-roku>. - Назва з екрану. - Дата звернення: 14 жовтня 2022 року.

2. Чень С., Цюй З., Сюй З., Сяо Ч. Стратегія енергозберігаючої реконструкції розподільних мереж на основі вартості життєвого циклу. 2017, 3 серпня.

3. Сабері Р., Фалахі Х., Есмаєлі М., Ашурнежад А., Ізадпанех Р., Рамезані М. Планування розширення мережі електропостачання для підвищення стійкості. IET Generation, Transmission & Distribution.

References:

3. Government of Ukraine. The Government approved the Concept of the implementation of smart networks in Ukraine by 2035. [Electronic resource]. - Access mode: <https://www.kmu.gov.ua/news/uriad-skhvalyv-kontseptsiiu-vprovadzhennia-rozumnykh-merezh-v-ukraini-do-2035-roku>. - Name from the screen. - Application date: October 14, 2022.

4. Chen X., Qiu Z., Xu Z., Xiao C. Strategy on energy saving reconstruction of distribution networks based on life cycle cost. 2017 Aug 3.

5. Saberi R., Falaghi H., Esmaeeli M., Ashoornezhad A., Izadpanah R., Ramezani M. Power distribution network expansion planning to improve resilience. IET Generation, Transmission & Distribution.