

## Лекція 1

# ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ АНАЛІЗУ, ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА КЕРУВАННЯ НАДІЙНІСТЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

### 1.1. Поняття надійності електроенергетичної системи

**Електроенергетична система** (ЕЕС, англ. electrical power system) – сукупність електрообладнання енергетичної системи та об'єднаних загальним режимом споживачів електричної енергії, які становлять єдине ціле.

**Об'єкт** (англ. item) – система, споруда, машина, підсистема, апаратура, функціональна одиниця, пристрій, елемент чи будь-яка її частина, що розглядається з погляду надійності як самостійна одиниця.

**Надійність** (англ. dependability) – властивість об'єкта зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування.

**Аналіз надійності** (англ. dependability analysis) – систематизоване дослідження з метою визначення впливу на надійність об'єкта особливостей конструкції, технологічних процесів виробництва, умов експлуатації, технічного обслуговування та ремонту, а також визначення досягнутого рівня надійності при виконанні запланованих заходів щодо забезпечення і підвищення надійності та оцінка ефективності цих заходів.

**Надійність ЕЕС** (у вузькому розумінні) – це її властивість виконувати безперебійне в часі та необмежуване у межах встановлених обсягів постачання споживачам електроенергії технічно допустимих параметрів.

**Надійність ЕЕС** (у широкому розумінні) – це її властивість виконувати безперебійне в часі та необмежуване у межах встановлених обсягів постачання споживачам електроенергії технічно допустимих параметрів і не допускати ситуацій, небезпечних для людей і довкілля.

## 1.2. Загальна характеристика проблеми аналізу надійності електроенергетичних систем

Проблема аналізу надійності ЕЕС багатопланова, проте можна виділити три основні площини, в яких вона розв'язується:

- **теоретична** (розроблення та вдосконалення методів аналізу);
- **практична** (розроблення та впровадження заходів щодо забезпечення надійності);
- **організаційна** (створення системи керування надійністю).

Вирішення питань аналізу, забезпечення та керування надійністю ЕЕС потребує розв'язання цілого комплексу завдань. Усю їх сукупність можна розділити на такі класи:

- концептуальні завдання;
- інформаційні завдання;
- функціональні завдання;
- нормативні завдання;
- оптимізаційні завдання.

Таблиця 1.1

### Основні оптимізаційні задачі забезпечення надійності ЕЕС

| Часовий рівень керування                                                                     |                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| проектування розвитку                                                                        | планування режимів                                                                                            |
| 1. Вибір (оптимізація) структури і параметрів електроустановок                               | 1. Вибір складу працюючого устаткування та розроблення оперативної схеми ЕМ                                   |
| 2. Вибір (оптимізація) схеми ЕМ, головних схем ЕС і ПС, пропускної спроможності зв'язків     | 2. Розподілення резервів потужності між районами системи та між увімкненою та неввімкненою складовими         |
| 3. Визначення величини резерву активної потужності та його розміщення в системі              | 3. Складання графіків капітальних і поточних ремонтів основного устаткування ЕС і ПС                          |
| 4. Розроблення структури, вибір та розміщення засобів керування системою в аварійних режимах | 4. Визначення алгоритмів дії та параметрів спрацювання засобів автоматичного протиаварійного керування (АПАК) |

### 1.3. Причини і наслідки порушень електропостачання споживачів

Порушення електропостачання споживачів виникають, коли припиняється або обмежується їх живлення з вини електропостачальної організації внаслідок відмови деякого електроенергетичного елемента чи об'єкта. Такі відмови зазвичай є наслідком виникнення інших подій, які виникають в ЕЕС і до яких належать:

- короткі замикання (КЗ) і пошкодження електроустановок;
- хибна робота та відмови пристроїв релейного захисту і автоматики (РЗА), систем керування та засобів регулювання режимів;
- помилки експлуатаційного персоналу під час оперативних перемикань чи під час ліквідації аварій;
- виникання дефіцитів енергоресурсів.

**Прості відмови** пов'язані з аварійними вимиканнями елементів системи або погіршенням умов її функціонування.

$$p = n / N \vee t / T. \quad (1.1)$$

**Складні відмови** пов'язані з несприятливими збігами відмов різних елементів ЕЕС внаслідок випадковості, стихійних явищ, неправильної дії чи відмов систем керування і захисту, помилок персоналу.

**Живучість** (англ. *survivability*) - властивість об'єкта зберігати обмежену працездатність в умовах зовнішніх діянь, що призводять до відмов його складових.

**Стійкоздатність ЕЕС** - це її властивість неперервно зберігати стійкість поточного режиму

**Режимна керованість ЕЕС** - це її властивість підтримувати нормальний режим за допомогою керування.

На величину **збитків споживачів** впливають такі чинники:

- пошкодження основного устаткування споживача чи поломка інструменту, зумовлені раптовим припиненням живлення;
- розлад технологічного процесу споживача;
- псування сировини, брак або зниження якості продукції;
- простій робочої сили під час перерви електропостачання;
- недовикористання основних виробничих фондів підприємства;
- недовиробіток продукції або виробіток її з запізненням, що зумовлює зниження прибутку.

Величину **системних збитків** визначають:

- витрати на післяаварійні ремонти електроустановок чи на заміну пошкодженого устаткування;
- додаткові витрати палива на ЕС, зумовлені збільшенням втрат електроенергії в мережі у післяаварійних режимах;
- недовикористання основних фондів та виробничого персоналу ЕЕС у випадках недовиробітку електроенергії.

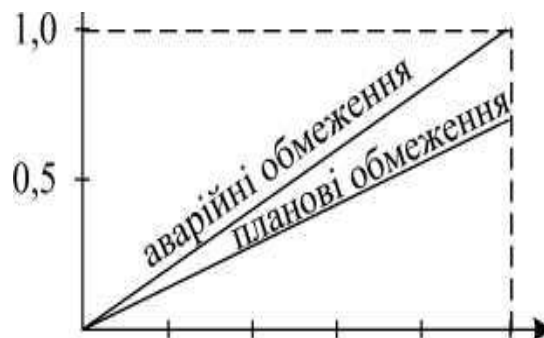


Рис. 1.1. Відносні збитки споживача в разі обмежень електропостачання

Таблиця 1.2

Вартість післяаварійного ремонту елементів ЕМ, тис. у.о.

|                       | Номінальна напруга мережі, кВ |      |      |     |      |
|-----------------------|-------------------------------|------|------|-----|------|
|                       | 500                           | 330  | 220  | 110 | 35   |
| Лінія електропередачі | 1,8                           | 1,8  | 1,6  | 1,4 | 0,9  |
| Трансформатор         | 41,0                          | 26,0 | 18,0 | 7,1 | 4,4  |
| Вимикач: повітряний   | 2,5                           | 1,6  | 1,1  | 0,5 | 0,4  |
| оливний               | —                             | —    | 1,6  | 0,4 | 0,05 |

У практичних розрахунках надійності середньорічні збитки  $H$  визначають за виразом

$$H = H_0 W_{H\Sigma}, \quad (1.2)$$

де  $H_0$  – усереднені питомі збитки, віднесені до одиниці недовідпущеної електроенергії, у.о./(кВт·год);  $W_{H\Sigma}$  – сумарна величина електроенергії, недовідпущеної протягом року всім споживачам ЕЕС чи її підсистеми, надійність якої досліджують, кВт·год.

За статистичними даними питомі збитки від недовідпусків електроенергії (переведені в у.о.) складають:

- у разі планового обмеження електропостачання в години максимуму навантаження  $H_0 = 0,18$  у.о./кВт·год;
- у післяаварійному режимі зі зниженою частотою без вимикання споживачів  $H_0 = 0,53$  у.о./кВт·год;
- під час ліквідації аварій з попередженням споживачів про вимикання  $H_0 = 1,06$  у.о./кВт·год;
- під час ліквідації аварій без попередження споживачів про вимикання  $H_0 = 1,8(0,6 + \Delta P^*)$  у.о./кВт·год, де  $\Delta P^* \leq 0,2$  – відношення величини вимкненого навантаження до сумарного навантаження попереднього режиму;
- у разі вимикання споживачів дією РЗА  $H_0 = 32\Delta P^*$  у.о./кВт·год.

#### 1.4. Загальні принципи забезпечення та керування надійністю електроенергетичних систем



Рис. 1.2. Недовідпуски електроенергії споживачам, створювані підсистемами ЕЕС

**Живильні та розподільні мережі.** Для цих ЕМ можна точно оцінювати структурну надійність і наближено - функціональну.

**Структурна надійність** електричної мережі - це здатність її схеми зберігати зв'язки споживачів з джерелами живлення.

**Системотвірні мережі.** Методи оцінювання надійності цих мереж розроблено недостатньо. З усіх зазначених вище видів надійності для системотвірних мереж розраховують переважно режимну надійність, а точніше, одну з її складових - стійкоздатність.

**Режимна надійність** - здатність мережі підтримувати стабільність усталеного режиму у разі випадкових змін його параметрів.

**Генерувальна частина ЕЕС.** Призначення генерувальної частини полягає в тому, щоб у будь-який момент часу підтримувати баланс активної потужності в системі. Надійність її роботи визначається неперервністю підтримання цього балансу. У ситуаціях, коли генерувальна частина не справляється зі своїм завданням, обмежують електропостачання споживачів.

**Балансова надійність** - здатність ЕЕС неперервно підтримувати свій баланс активної потужності.

**Система керування режимами.** Вплив системи керування режимами на надійність роботи ЕЕС найповніше виявляється у проміжках часу, коли

ліквідують аварії. З моменту порушення режиму в роботу вступають засоби автоматичного керування й оперативно-диспетчерський персонал, які локалізують аварію та ліквідують її.

**Перехідна надійність ЕЕС** - це її здатність виконувати функцію електропостачання споживачів в умовах аварійного режиму.

**Система ресурсного забезпечення.** Обсяги використаних протягом деякого періоду часу енергоносіїв (води на ГЕС, органічного палива на ТЕС, ядерного палива на АЕС) відповідають кількості виробленої електроенергії. На кожен наступний період часу, наприклад рік, прогнозують споживання електроенергії та відповідно до прогнозу планують поставки палива і використання гідроресурсів. У поточному році плани реалізують.

Відповідність між потребами в електроенергії та надходженнями енергоносіїв може бути порушено такими непередбачуваними обставинами:

- реальне споживання електроенергії перевищило прогнозоване;
- поточний рік виявився маловодним;
- знизилися обсяги поставок органічного чи ядерного палива.

**Резерви в ЕЕС.** На ЕС створюють запаси енергоносіїв на випадок ускладнень з поставками палива, обміління рік у періоди сухої погоди, непрогнозованого зростання споживання тепло - та електроенергії в холодні зими.

**Елементи структури ЕЕС.** Надійність роботи елементів структури ЕЕС значною мірою визначає надійність функціонування ЕЕС загалом, бо в разі наявності високонадійних ЛЕП та устаткування ЕС і ПС рідше виникають дефіцити потужності та рідше порушуються структурні зв'язки.