

# АНАЛІЗ БАЛАНСОВОЇ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГООБ'ЄДНАНЬ

Спаський О.Е., студент, Казанський С.В., к.т.н., доц.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних мереж та систем

**Вступ.** Підтримання надійної роботи обладнання електроенергетичних систем (ЕЕС) і електричних мереж є загальнонаціональним стратегічним завданням, яке впливає на економічну безпеку держави.

Проблема забезпечення надійності ЕЕС та енергооб'єднань має комплексний характер, при цьому недостатня увага до питань надійності значною мірою зумовлена відсутністю систематизованого аналізу [1].

**Мета роботи** – визначити послідовність та проаналізувати результати розрахунку балансової надійності електроенергетичних систем та енергооб'єднань.

**Матеріали досліджень.** Аналіз балансової надійності ЕЕС в загальному випадку передбачає врахування системи генерування потужності, системотвірної мережі та характеристик навантаження [2]. Якщо система концентрована, тобто пропускна здатність її зв'язків у всіх усталених режимах, враховуючи ремонтні та післяаварійні, не обмежує використання потужності у будь-якому вузлі споживання для всіх можливих значень навантажень, то під час аналізу балансової надійності енергосистеми враховують тільки її генерувальну частину та навантаження.

Балансову надійність ЕЕС оцінюють низкою показників [3-5], до яких, зокрема належать:

- імовірність  $p_n$  непокриття навантаження системи або очікувана в році кількість днів  $n_n$  непокритого навантаження;
- імовірність  $p_n$  стану відмови системи та середній параметр потоку відмов  $Z_c$  (відмова системи – це подія, за якої виникає дефіцит потужності);
- усереднений за розрахунковий період  $T$  дефіцит потужності  $P_d$  та недовідпущена споживачам електроенергія  $W_n$ .

Розрахунки показників балансової надійності виконують аналітичними методами на рівні випадкових подій (випадкових процесів) або методами статистичного моделювання.

Побудуємо модель системи генерування потужності ЕЕС у вигляді діаграми простору її станів, робоча потужність системи в кожному з яких різна.

Модель системи генерування потужності з чотирма однаковими агрегатами показано на рис. 1.

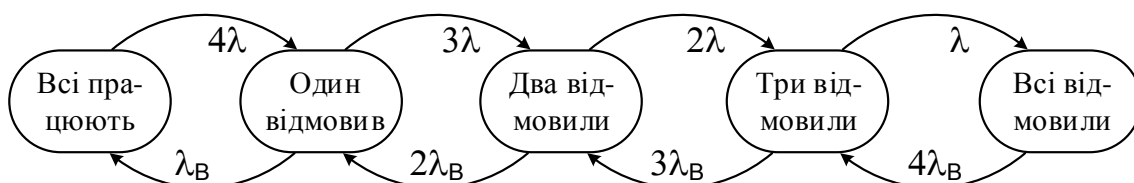


Рисунок 1 – Діаграма об'єднаних станів системи генерування потужності

Робоча потужність системи в її  $m$ -му стані (коли  $m$  агрегатів з  $n$  відмовили), становить

$$P_{cm} = (n - m)P_{ном},$$

де  $P_{ном}$  – номінальна потужність одного агрегату.

Імовірність  $p_m$   $m$ -го стану обчислюється за формулою біноміального розподілу

$$p_m = C_n^m q^m p^{n-m},$$

де  $p, q$  – імовірності робочого та неробочого стану агрегату відповідно.

Інтенсивності переходів з  $m$ -го стану в стан  $m-1$  більшої робочої потужності  $\lambda_{m+}$  та у стан  $m+1$  меншої робочої потужності  $\lambda_{m-}$  дорівнюють

$$\lambda_{m+} = m\lambda_b; \lambda_{m-} = (n - m)\lambda,$$

де  $\lambda, \lambda_b$  – інтенсивності відмови та відновлення агрегата відповідно.

Параметр потоку (частоту) виникнення  $m$ -го стану розраховують як

$$Z_m = p_m(\lambda_{m+} + \lambda_{m-}) = p_m(m\lambda_b - m\lambda + n\lambda).$$

Якщо агрегати генерувальної частини різні, процедура обчислення характеристик моделі дещо ускладнюється. Тут необхідно сформувавши діаграму простору всіх елементарних станів і для кожного з них встановити робочу потужність та ймовірність виникнення. Робоча потужність системи в елементарному стані  $P_{c.e}$  дорівнює сумі номінальних потужностей агрегатів, які у цьому стані системи працюють.

Імовірності елементарних станів обчислюють за формулою

$$p_e = \prod_{i=1}^m q_i \prod_{i=m+1}^n p_i.$$

Потім елементарні стани з однаковою робочою потужністю об'єднуються.

У деякому сукупному стані  $s$  потужність системи така сама, як і в об'єднаних елементарних станах

$$P_{cs} = P_{c.e} = const.$$

Імовірність сукупного  $s$ -го стану дорівнює сумі ймовірностей всіх об'єднаних в ньому елементарних станів

$$p_s = \sum_{e \in s} p_e.$$

Параметр потоку (частоту) виникнення  $s$ -го після заміни індексу  $i$  на індекс  $s$  визначають як

$$Z_s = p_s \sum_{j \neq s} \lambda_{sj}.$$

Під час аналізу балансової надійності ЕЕС навантаження задають характеристиками випадкової величини або випадкового процесу, як це наведено на рис. 2. У першому випадку його подають у вигляді гістограми відносних частот (рис. 2, а) або у вигляді графіка нагромаджених значень (графіка за тривалістю навантаження, рис. 2, б).

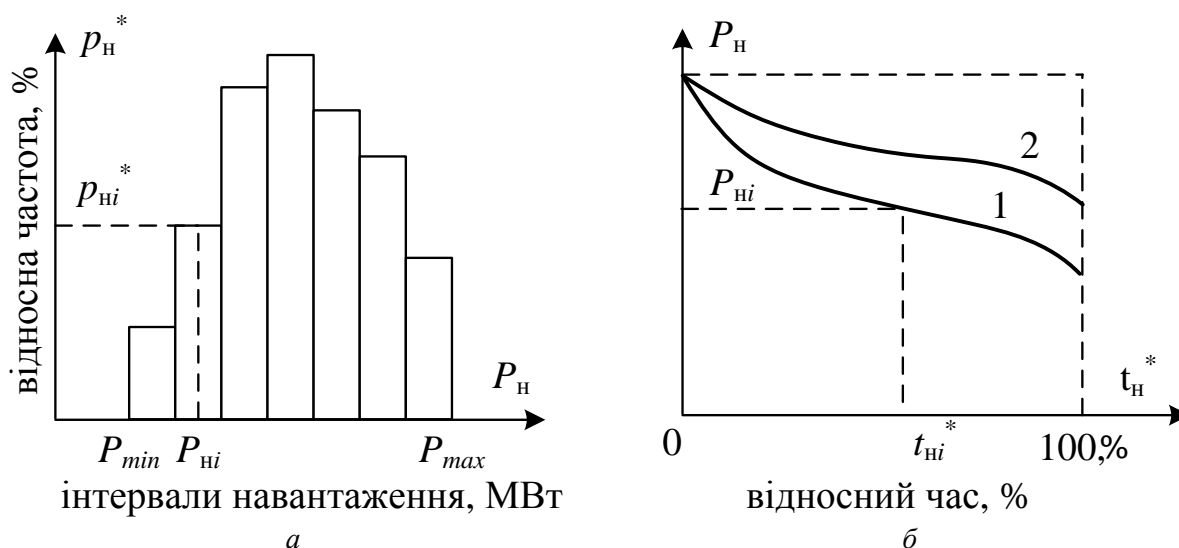


Рисунок 2 – Гістограма відносних частот навантаження (а) та графік його нагромаджених значень (б)

Відносна частота  $p_{Hi}^*$  – це відсоток навантаження, значення якого потрапили в заданий інтервал. Вона дає змогу визначити ймовірність середнього для  $i$ -го інтервалу дискретного значення навантаження  $P_{Hi}$  як

$$p(P_{Hi}) = p_{Hi}^* / 100.$$

За графіком за тривалістю навантаження можна визначити ймовірність перевищення навантаженням його заданого значення

$$p(P_H > P_{Hi}) = t_{Hi}^* / 100.$$

Наведені графіки можна будувати за годинними (крива 1) або максимальними добовими значеннями (крива 2). Годинні значення навантажень, зокрема його добові максимуми, можна отримати з добових відомостей диспетчерських центрів, де навантаження фіксують щогодинно.

Аналогічно наведеній послідовності виконується обчислення усередненого дефіциту потужності  $P_{\delta}$  та недовідпущеної споживачам електроенергії.

**Висновки.** Аналіз балансової надійності дозволяє точніше визначати необхідні запаси потужності за різних експлуатаційних умов, що у свою чергу, дозволяє мінімізувати недовідпущення електроенергії споживачам.

#### Перелік послань

1. Казанський С.В. Надійність електроенергетичних систем: навчальний посібник [Текст] / С.В. Казанський, Ю.П. Матеєнко, Б.М. Сердюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 216 с. – ISBN 978-966-622-453-1.
2. Журахівський А.В. Надійність електричних систем і мереж: навчальний посібник. [Текст] / А.В. Журахівський, Б.М. Кінаш, О.Р. Пастух. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 280 с. – ISBN 978-617-607-293-5.
3. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення [Текст]: Видання офіційне. – К.: Держстандарт України, 1995. – 92 с.
4. ДСТУ 2862-94. Методи розрахунку показників надійності техніки. Загальні вимоги [Текст]: Видання офіційне. – К.: Держстандарт України, 1995. – 38 с.
5. ДСТУ 2864-94. Надійність техніки. Експериментальне оцінювання та контроль надійності [Текст]: Видання офіційне. – К.: Держстандарт України, 1995. – 31 с.