

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ І АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ІНДЕКСУ РИЗИКУ ЕНЕРГОСИСТЕМИ В УМОВАХ РОЗВИТКУ КАСКАДНОЇ АВАРІЇ

Бардик Є.І., к.т.н., доцент, Бондаренко О.Л., аспірант
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії

Вступ. Наразі здатність електроенергетичних систем (ЕЕС) підтримувати стійкість та забезпечувати постійне електропостачання споживачів у разі аварій має вирішальне значення. Розподіленість ЕЕС на великій території спричиняє виникнення різних типів випадкових відмов та каскадних аварій з високою імовірністю [1]. До переліку визначальних факторів, які істотно впливають на надійність ЕЕС в сучасних умовах експлуатації відносяться: зростання зносу основних фондів в і низькі темпи його заміни; напружений режим роботи електрообладнання в умовах ринкових відносин; зростають вимоги споживачів щодо підтримання постійно високого рівня надійності [2]. Тому важливою задачею є розробка математичних моделей та створення програмного забезпечення для визначення індексу ризику ЕЕС в умовах розвитку каскадної аварії.

Мета роботи. Створити математичну модель та програмне забезпечення для визначення індексу ризику ЕЕС в умовах розвитку каскадної аварії.

Матеріали та результати досліджень. В якості характеристики режимної надійності ЕЕС часто використовують показник ризику [3]. Ризик розвитку каскадної аварії в ЕЕС визначається як:

$$R = p \cdot S, \quad (1)$$

де p – імовірність появи каскадної аварії; S – серйозність наслідків каскадної аварії.

Імовірність появи каскадної аварії. Оскільки ЕЕС є складною системою, на виникнення каскадних аварій впливає багато факторів, але врахування всіх факторів неможливо. Тому, в основному розглядається відмова силового і комутаційного обладнання на інтервалі часу спостереження як імовірність появи каскадної аварії [4].

Серйозність наслідків каскадної аварії. В якості показників серйозності приймаються: інтегральний показник зниження напруги на шинах споживачів, перевантаження ліній та втрати споживачів.

Функція серйозності зниження напруги на шині споживача визначається як S_{V_i} і амплітуда напруги кожної шини визначає значення цієї функції. Як показано на рис. 1, коли напруга на шині дорівнює 1,0 (в.о.), напруга є нормальною, а значення функції дорівнює 0; коли напруга на шині зменшується приблизно до 0,7 (в.о.) або нижче, захист мінімальної напруги вступає в дію і вимикає навантаження, тому її значення дорівнює 1; для середньої частини функція серйозності описується s-подібною функцією [5] з її амплітудою напруги на шині.

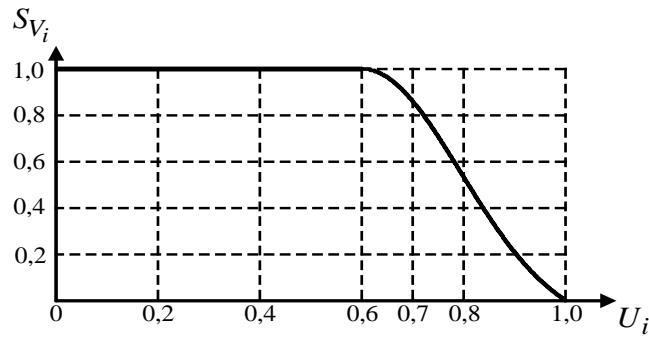


Рисунок 1 – Функція серйозності зниження напруги на шині споживача при каскадних аваріях

Інтегральний показник зниження напруги на шинах споживачів при каскадних аваріях визначається:

$$S_V = \frac{\sum_{i=m}^m S_{V_i}}{m}, \quad (2)$$

де S_V – інтегральний показник зниження напруги при каскадних аваріях; m – кількість шин з низькою напругою, спричинених каскадною аварією.

Функція серйозності перевантаження лінії визначена як S_{L_i} , і потік потужності через лінію визначає значення серйозності перевантаження лінії. Лінія з навантаженням, яке нижче або дорівнює половині номінального навантаження (рис. 2), належить до легкого навантаження і рівень серйозності перевантаження дорівнює 0; для навантаження лінії, яке вище або дорівнює 110 % від її номінального значення, значення серйозності перевантаження дорівнює 1; для середньої частини функція серйозності описується s-подібною функцією зі шкалою швидкості навантаження лінії.

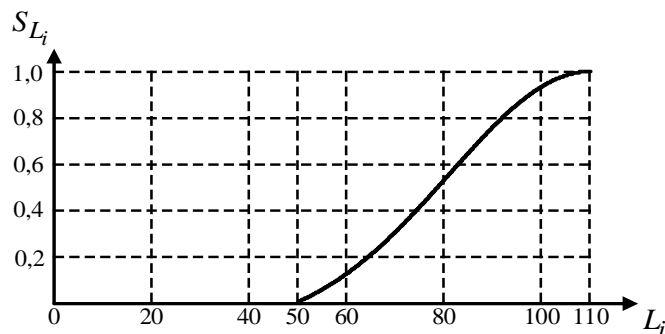


Рисунок 2 – Функція серйозності перевантаження лінії при каскадних аваріях

Інтегральний показник перевантаження ліній при каскадних аваріях визначається:

$$S_L = \frac{\sum_{i=k}^k S_{L_i}}{k}, \quad (3)$$

де S_L – інтегральний показник перевантаження ліній при каскадних аваріях; k – кількість ліній які були перевантаженні при каскадній аварії.

Інтегральний показник втрати споживачів. Інтегральний показник втрати споживачів при каскадних аваріях виглядає наступним чином:

$$S_H = \frac{\Delta S}{S_\Sigma}, \quad (4)$$

де S_H – інтегральний показник втрати споживачів при каскадних аваріях; ΔS – втрачене навантаження при каскадній аварії; S_Σ – загальна потужність ЕЕС.

Процедура визначення індексу ризику ЕЕС. Алгоритм оцінки ризику каскадного розвитку аварії показано на рис. 3.

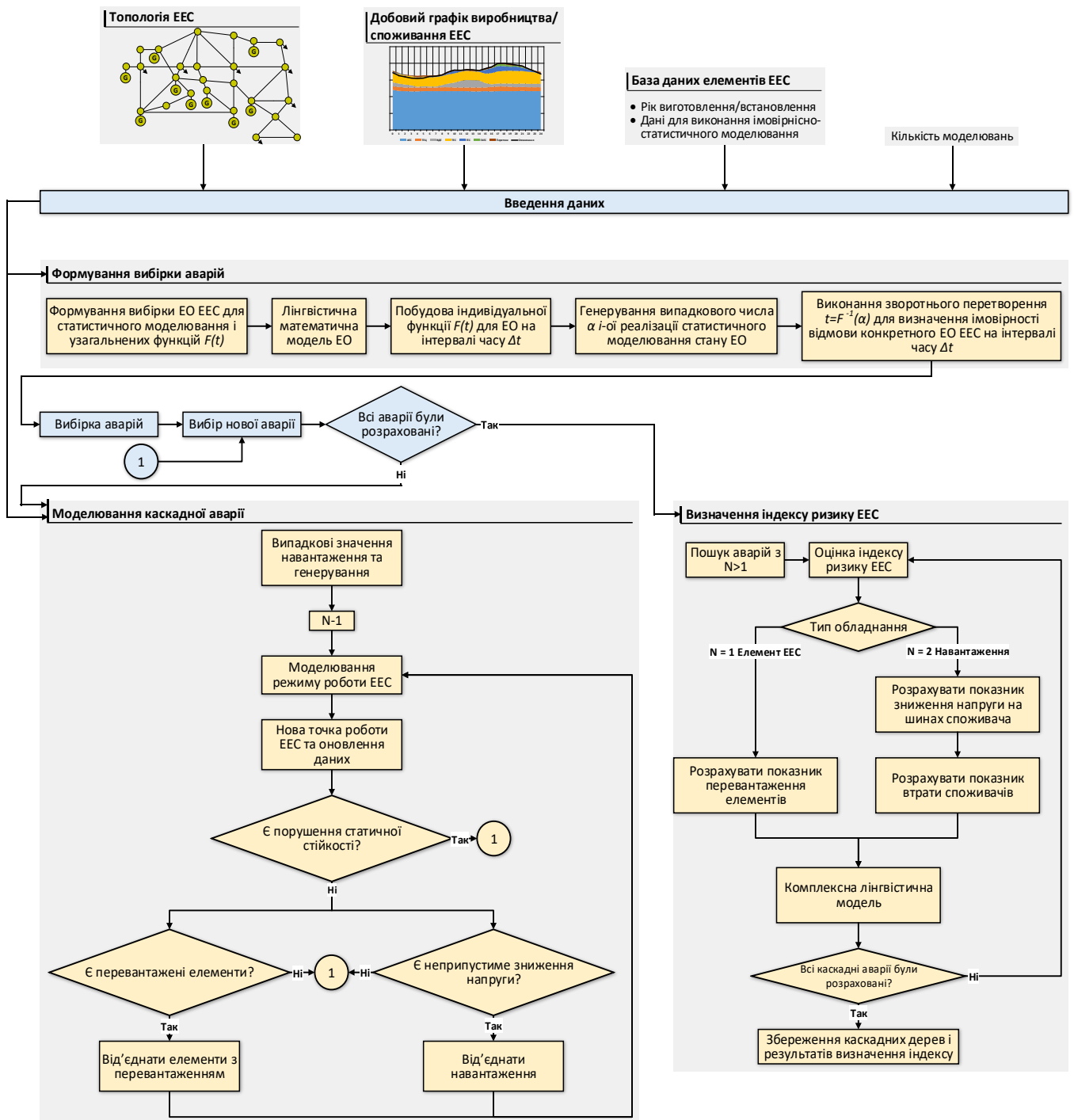


Рисунок 3 – Процедура оцінки ризику каскадного розвитку аварії

Для визначення індексу ризику було використано математичне та програмне забезпечення. При визначенні індексу ризику були встановлено три показники серйозності, що описують вразливість системи з різних точок зору. Для кожної каскадної аварії різні типи показників серйозності, зазначені вище, повинні бути розраховані окремо під час визначення індексу ризику. У процесі розрахунку спочатку повинен бути визначений цільовий набір аварій з їх ймовірностями, які призводять до каскадних аварій. Після цього відповідно до комплексної лінгвістичної моделі отримують результати визначення індексу ризику для цільового набору аварій.

Висновки. Визначено основні складові інтегрального індексу ризику ЕЕС в умовах каскадного розвитку аварій.

Запропоновано математичні моделі для визначення інтегральних показників зниження напруги на шинах спожив, перевантаження ліній та втрати споживачів при каскадних аваріях 3. Розроблено алгоритм оцінки ризику каскадного розвитку аварій в ЕЕС. Розроблена модель та алгоритм є складовою комплексної математичної моделі аналізу ризику виникнення аварійних ситуацій в ЕЕС при відмовах електрообладнання.

Перелік посилань

1. H. N. Alhelou, M. Hamedani-Golshan, T. Njenda, and P. Siano, "A Survey on Power System Blackout and Cascading Events: Research Motivations and Challenges," *Energies*, vol. 12, no. 4, pp. 1-28, 2019. <https://doi.org/10.3390/en12040682>.

2. Є. І. Бардик, О. Л. Бондаренко, "Оцінка режимної надійності електроенергетичної системи на основі визначення індексу ризику при відмовах вузлів навантаження з відповідальними споживачами," *Технічні науки та технології: науковий журнал*, вип. 2, с. 105-118, 2019. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2019-2\(16\)-105-117](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2019-2(16)-105-117).

3. M. Xiangping, P. Zhaoyu, *Intelligent Coordinated Control of Complex Uncertain Systems for Power Distribution Network Reliability*. Elsevier, 2016. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-19155-6>.

4. Є. І. Бардик, "Моделювання електроенергетичної системи для оцінки ризику виникнення аварій при відмовах електрообладнання," *Наукові праці ДонНТУ. Серія "Електротехніка і енергетика"*, вип. 1, с. 15-22, 2013.

5. М. В. Костерев, Є. І. Бардик, *Питання побудови нечітких моделей оцінки технічного стану об'єктів електричних систем*. Київ, Україна: НТУУ «КПІ», 2011.