

## РОЗДІЛ 3. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ТА УПРАВЛІННЯ НИМИ

### ВИЗНАЧЕННЯ ІНДЕКСУ РИЗИКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИ ВІДМОВАХ ВУЗЛІВ НАВАНТАЖЕННЯ

**Бардик Є.І., к.т.н., доцент, Бондаренко О.Л., аспірант, Атаманенко В.О., магістрант**

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії*

**Вступ.** З розвитком ринкових відносин в електроенергетичній галузі зростає економічна відповідальність енергетичних компаній за порушення нормального режиму роботи енергосистеми і зниження якості електроенергії, що передається споживачеві. Тому енергетичні компанії зацікавлені в забезпеченні надійної роботи системи електропостачання. В основі такої зацікавленості лежить тиск ринку, зростання конкуренції, мотивація в економії витрат і зниження рівня резервів, що впливає на надійність функціонування обладнання [5; 6]. Наразі існують три основні чинники, що впливають на надійність системи електропостачання. Це – зростання навантаження, знос основних фондів і лібералізація електроенергетики [1, 4]. Знос основних фондів нині є найважливішою проблемою енергетики, від вирішення якої залежить надійність її функціонування. Вищеперераховані фактори сприяють перш за все підвищенню ризику виникнення аварійних ситуацій в ЕЕС з порушенням електропостачання споживачів, що підтверджується і статистичним аналізом аварійності в ЕЕС України й інших промислово розвинених країн.

У зв'язку з цим існує необхідність побудови математичних моделей і створення програмного забезпечення для оцінки ризику ЕЕС при відмовах електрообладнання та систем електропостачання споживачів унаслідок збурень.

**Мета роботи.** Метою роботи є моделювання ЕЕС для визначення індексу ризику порушення режиму при відмовах окремих підсистем з відповідальними споживачами.

**Постановка проблеми.** Зазвичай для забезпечення надійної роботи ЕЕС її проектують таким чином, щоб відключення одного або декількох елементів у нормальному режимі при максимальних навантаженнях не викликало неприпустимих перевантажень інших елементів або необхідності зменшення навантаження [4; 5; 6].

Більш перспективним підходом до оцінки режимної надійності функціонування ЕЕС є підхід, згідно з яким аналізуються аварійні відключення елементів ЕЕС з визначенням імовірнісних характеристик таких подій та наслідків. З розвитком ринкових відносин в електроенергетиці України, за яких надійність розглядається як послуга, яка має кількісні характеристики, оцінка надійності імовірнісним методом є більш об'єктивною і повною.

Найбільш прийнятним альтернативним методом оцінки імовірнісної складової ризику для електроенергетичних систем, особливістю яких є

використання методів статичного моделювання за яких виконується обчислювальні експерименти з імітаційними математичними моделями поведінки складних випадкових процесів та реальних об'єктів, які підлягають випадковому збуренню.

**Виклад основного матеріалу.** В якості показника, що характеризує рівень режимної надійності, як зазначено, доцільно використовувати індекс ризику, міра якого суттєво залежить від критичності відмов окремих підсистем ЕЕС і, зокрема, вузлів зі споживачами різного характеру і категорії.

Параметрами, які визначають критичність відмови окремих підсистем ЕЕС є: імовірність відмови  $P_{BH}$  (неприпустиме зниження напруги у вузлі навантаження), збитки від порушення електропостачання споживачів  $Z_{СЕП}$ , термін відновлювання нормального режиму підсистеми ЕЕС і ЕЕС в цілому  $T_{BC}$ , тобто  $R_{ЕЕС}^I = f(P_{BH}, Z_{СЕП}, T_{BC})$ .

Це вимагає використання для аналізу ризиків при відмовах електрообладнання й окремих підсистем ЕЕС як кількісної та і якісної інформації, що потребує, використання апарату нечіткої логіки, який дозволяє оцінити рівень критичності відмови і упорядкувати множину відмов за величиною потенційного ризику [3; 5].

Лінгвістичні вхідні змінні нечіткого логічного висновку для визначення рівня ризику експлуатації ЕЕС при відмовах окремих підсистем (вузлів навантаження) є такими:

- імовірність неприпустимого зниження напруги ( $U_{BH} \leq U^{don}$ ) у вузлі навантаження  $P_{BH}$  з терм-множинами:  $T_{BH}^L$  – низький;  $T_{BH}^M$  – середній;  $T_{BH}^B$  – великий.

- збитки в ЕЕС внаслідок порушення електропостачання споживачів  $Z_{СЕП}$  з терм-множинами:  $T_{СЕП}^L$  – низький;  $T_{СЕП}^M$  – середній;  $T_{СЕП}^B$  – великий.

- термін відновлення ЕЕС після порушення електропостачання споживачів вузла навантаження ТВС з терм-множинами:  $T_{BC}^L$  – низький;  $T_{BC}^M$  – середній;  $T_{BC}^B$  – великий.

Кожні з вищезазначених термів задають нечітке обмеження на множину, задану за допомогою відповідності функції належності вхідних лінгвістичних змінних.

Як вихідну лінгвістичну змінну приймаємо інтегральний індекс ризику ЕЕС при відмові окремих підсистем (вузлів навантаження) при неприпустимому зниженні напруги РЕЕС I з терм-множинами:  $T_{R'}^{VL}$  – дуже низький;  $T_{R'}^L$  – низький;  $T_{R'}^M$  – середній;  $T_{R'}^B$  – великий;  $T_{R'}^{VB}$  – дуже великий. Аналітичні вирази функції належності термів  $T_{R'}$  (універсальний класифікатор) наведені в [5].

Графік функції належності вихідної лінгвістичної змінної «Інтегральний індекс ризику ЕЕС» наведений на рис. 1.

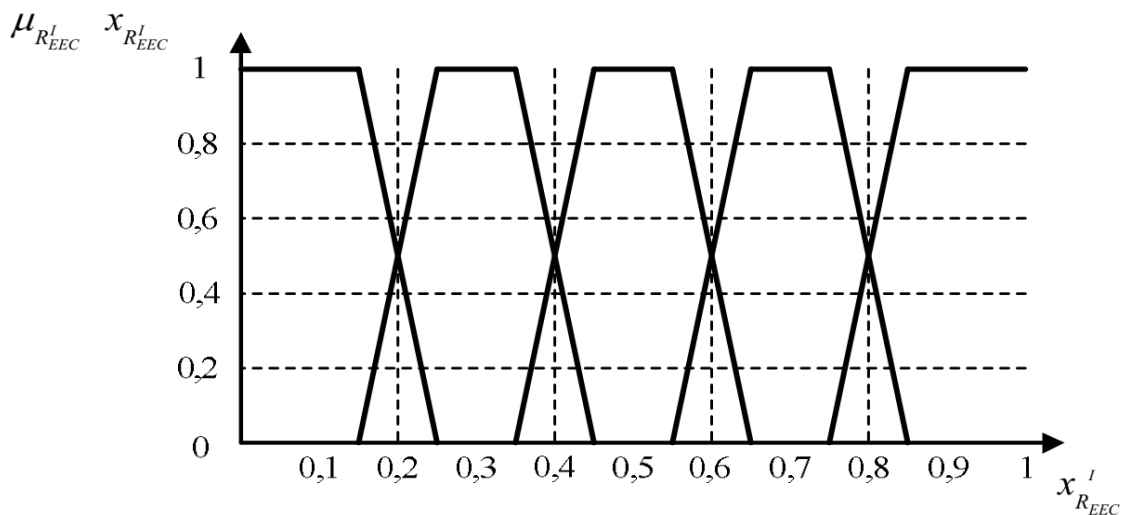


Рисунок 1 – Графік функції належності вихідної лінгвістичної змінної «Інтегральний індекс ризику ЕЕС»

Після цього потрібно сформуванати базу правил нечіткого виводу. База правил нечітких продукцій є кінцева множина правил нечітких продукцій, узгоджених щодо використовуваних в них лінгвістичних змінних.

Узгодженість правил щодо використовуваних лінгвістичних змінних означає, що в якості умов та висновків правил можуть використовуватися тільки нечіткі лінгвістичні висловлювання, при цьому в кожному з нечітких висловлювань повинні бути визначені функції приналежності значень терм-множини для кожної з лінгвістичних змінних [5].

У відповідності з визначеними лінгвістичними вхідними і вихідними змінними сформована база знань що містить 81 продукційне правило.

Для визначення імовірнісної складової ризику по заданій моделі функціонування ЕЕС [2; 4] використано математичне і програмне забезпечення "RISK-ЕЕС". За допомогою статистичного моделювання імітується випадковий процес змінення стану електричної мережі, який визначається станом працездатності елементів і зміненням навантаження на розрахунковому інтервалі часу спостереження. Математична модель відмови окремих елементів електрообладнання описані в [3; 5; 6].

Розглянутий алгоритм визначення ризику виникнення аварійної ситуації в ЕЕС у разі відмови електрообладнання представлено для випадку, коли множина аварійних ситуацій складається з однієї події: неприпустиме зниження напруги у вузлі навантаження ( $U_{BH} \leq 0,7 \pm 0,8 \cdot U_{ном}$ ).

Для отримання результатів потрібно акумулювати висновки нечітких правил продукцій. Акумуляція в системі нечіткого логічного виводу – це процедура або процес знаходження функції приналежності для кожної з вихідних лінгвістичних змінних множини W [3].

Мета акумулювання – об'єднання всіх ступенів істинності висновків для отримання функції приналежності кожної з вихідних лінгвістичних змінних. Причина виконання цього етапу полягає в тому, що підзаключення, що відносяться до однієї і тієї ж вихідної лінгвістичної змінної, належать різним

правилам системи нечіткого виводу. Результати визначення інтегрального індексу ризику порушення електропостачання інших споживачів з врахуванням трьох вхідних змінних наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати визначення інтегрального ризику порушення електропостачання споживачів

№	Назва вузла	Споживач	Імовірність неприпустимого зниження напруги $P_{BH}$ , (в.о.)	Прогнозована величина збитків в ЕЕС $Z_{СЕП}$ , (в.о.)	Термін відновлення ЕЕС $T_{BC}$ , (в.о.)	Інтегральний індекс ризику ЕЕС $R_{ЕЕС}^I$ , (в.о.)	Значення вихідної функції належності відповідних термів $\mu_{R_{ЕЕС}^I}$ , (в.о.)				
							$\mu_{R_{ЕЕС}^I}^{VL}$	$\mu_{R_{ЕЕС}^I}^L$	$\mu_{R_{ЕЕС}^I}^M$	$\mu_{R_{ЕЕС}^I}^B$	$\mu_{R_{ЕЕС}^I}^{VB}$
1	702	Металургійний завод	0,304	0,767	0,4	0,543	-	-	1	-	-
2	708	Трубопрокатний завод	0,14	0,122	0,5	0,329	-	1	-	-	-
3	727	Завод важкого машинобудування	0,31	0,506	0,3	0,467	-	-	1	-	-
4	734	Завод залізобетонних виробів	0,32	0,042	0,8	0,367	-	0,17	0,83	-	-

**Висновки.** Побудована математична модель визначення індексу ризику ЕЕС при відмовах окремих підсистем. Отримані результати підтверджують ефективність застосування підходу при розв'язуванні задач превентивного управління та прийняття рішень щодо забезпечення режимної надійності.

#### Перелік посилань

1. Ситников В. Ф., Скопинцев В. А. Вероятностно-статистический подход к оценке ресурсов электросетевого оборудования в процессе эксплуатации. Электричество. 2007. №11. С. 9–15.
2. Ciapessoni E., Cirio D., Gagleoti E. A probabilistic approach for operational risk assessment of power systems. CIGRE. 2008. P. 4–114.
3. Костерев М. В., Бардик Є. І. Питання побудови нечітких моделей оцінки технічного стану електричних систем. Київ: НТУУ «КПІ», 2011. 148 с.
4. Handschin E., Jurgens I., Neumann C. Long-term optimization for risk-oriented asset management. 16th Power Systems Computation Conference. Glasgow. 2008. 1316–1322.
5. Бардик Є.І., Спотар О.С. Ідентифікація параметрів функцій розподілу імовірності відмов електрообладнання для оцінки експлуатаційного ризику електроенергетичних систем / Є.І. Бардик, О.С. Спотар // Відновлювана енергетика XXI століття: матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції. - Миколаївка, 2012. - С.102-105.
6. Бардик Є.І., Бондаренко О.Л. Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні проблеми електроенергетичної та автоматики".