

УДК 621.311

Я.О. Прищеп, аспірант
Кафедра Електропостачання
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ ІНДИКАТИВНОГО ПІДХОДУ ДО ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ ПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Анотація. В роботі проаналізовано використання індикативного підходу до оцінки безпеки постачання електричної енергії. Основна увага сконцентрована на формуванні переліку показників (індикаторів) для оцінки безпеки постачання електроенергії. Первісна оцінка рівня індексу забезпечення балансової надійності енергосистеми і якості та рівня технічного обслуговування електричних мереж дозволить оцінити безпеку постачання в цілому.

Ключові слова: індикативний підхід, безпека постачання електричної енергії, показник, індикатор, оцінка, ризик, статистичні дані, нормування, уніфікований показник.

Вступ. Оцінка безпеки постачання електричної енергії в сучасній Україні стає все більш актуальним завданням у зв'язку із приєднанням об'єднаної енергосистеми України до енергосистеми Європи та необхідності забезпечення безаварійної паралельної роботи.

Постає необхідність використати індикативний підхід [1] і статистичні методи при оцінці рівня та загроз безпеки постачання електричної енергії як однієї з основних складових національної безпеки держави з урахуванням міжнародного та національного досвіду, а також визначення (закріплення) переліку основних показників (індикаторів) стану безпеки постачання електричної енергії, їхні порогові значення, а також алгоритм розрахунку оцінки рівня безпеки постачання в цілому.

Мета роботи та завдання. Метою роботи є здійснення апробації використання індикативного підходу до оцінки безпеки постачання електричної енергії.

Задачами роботи є:

- проаналізувати Звіт «Про результати моніторингу безпеки постачання електричної енергії» Міністерства енергетики України та сформулювати перелік показників (індикаторів), які використовуються для оцінки безпеки постачання електричної енергії;
- проаналізувати дані зі Звіту з точки зору можливості використання для них однакових алгоритмів та методів;
- провести розрахунок одного показника (індикатора).

Матеріал і результати досліджень. Формування переліку показників (індикаторів). Оцінка рівня безпеки постачання електричної енергії складається з п'яти середньозважених інтегральних індексів (складових безпеки постачання електричної енергії), які наведені в таблиці 1.

Розрахунок зазначених інтегральних індексів (складових безпеки постачання електричної енергії) здійснюється на основі оцінки окремих показників (індикаторів), які базуються як на основі статистичних даних.

Визначення оцінки рівня безпеки постачання електричної енергії здійснюється в такому порядку:

- формування переліку показників (індикаторів);
- визначення характеристичних значень показників (індикаторів);

- нормування показників (індикаторів) та визначення їх вагових коефіцієнтів; розрахунок кожного з індексів, з урахуванням визначених вагових коефіцієнтів;
- розрахунок оцінки рівня безпеки постачання електричної енергії в цілому.

Оцінка рівня безпеки постачання електричної енергії має використовуватися для прийняття рішень з розробки заходів із забезпечення безпеки постачання електричної енергії.

Таблиця 1 – Складові безпеки постачання електричної енергії

Оцінка рівня безпеки постачання електричної енергії				
індекс забезпечення балансової надійності енергосистеми і якості та рівня технічного обслуговування електричних мереж	індекс забезпечення первинними енергоресурсами та видами та джерелами їхнього постачання	індекс безперебійного функціонування ринку електричної енергії	індекс забезпечення операційної безпеки	індекс кібербезпеки та захисту критичної інфраструктури у сфері електроенергетики
Індекс може включати в себе:				
показники фактичного балансу ОЕС України, річного максимуму споживання потужності ОЕС України, стану виконання ремонтної компанії, розвиток генеруючих потужностей, технічного стану та розвитку електричних мереж системи передачі/розподілу, витрат в електричних мережах ОСП/ОСР	показники постачання вугілля, питомі витрати умовного палива на виробництво електроенергії с ТЕС та споживання ядерного палива	показники основних сегментів ринку електричної енергії, функціонування роздрібного ринку електричної енергії, комерційного обліку електричної енергії	показники регулювання в ОЕС України для забезпечення операційної безпеки	події, що довели недієздатність кіберзахисту об'єктів критичної інфраструктури енергетичної галузі України

Визначення характеристичних значень показників (індикаторів). Для кожного показника (індикатора) безпеки постачання електричної енергії інтегральних індексів стану оцінки безпеки постачання електричної енергії можуть бути розроблені характеристичні значення, які визначають рівень безпеки постачання електричної

енергії. З огляду на сформовані звіти «Про результати моніторингу безпеки постачання електричної енергії» (далі – Звіт) Міністерства енергетики України на основі Наказу «Про затвердження Правил про безпеку постачання електричної енергії» від 27.08.2018 № 448 [2] та Закону України «Про ринок електричної енергії» [3], діапазон характеристичних значень кожного показника (індикатора) вимірюється від 0 до 1 та ділиться на п'ять інтервалів:

$$[Ind_0, Ind_{\text{крит}}), [Ind_{\text{крит}}, Ind_{\text{небезп}}), [Ind_{\text{небезп}}, Ind_{\text{нездв}}), [Ind_{\text{нездв}}, Ind_{\text{здв}}), [Ind_{\text{здв}}, Ind_{\text{опт}}], \quad (1)$$

де Ind – значення індикатора, яке характерне для рівня безпеки постачання електричної енергії (критичний, небезпечний, незадовільний, задовільний, оптимальний) та за якого рівень безпеки постачання електричної енергії дорівнює оптимальному значенню;

Індикатори дозволяють оцінити вплив різних факторів на безпеку постачання електроенергії в Україні, провести її глибокий аналіз, ідентифікувати її сильні та слабкі сторони, а також загрози та ризики, які можуть вплинути на стабільність її енергетичної системи.

Присвоєння характеристичних значень для кожного індикатора здійснюється таким чином:

$$Ind_0 := x_0; Ind_{\text{крит}} := x_{\text{крит}}; Ind_{\text{небезп}} := x_{\text{небезп}}; Ind_{\text{нездв}} := x_{\text{нездв}}; Ind_{\text{здв}} := x_{\text{здв}}; Ind_{\text{опт}} := x_{\text{опт}}, \quad (2)$$

де x – величина (статистичні дані) індикатора;

Ind – характеристичне значення індикатора.

Відповідно до зазначеного:

x – величина індикатора, яка характерна для рівня безпеки постачання електричної енергії (критичний, небезпечний, незадовільний, задовільний, оптимальний) та за якої рівень безпеки постачання електричної енергії дорівнює оптимальному значенню.

Приведення вихідних даних показників (індикаторів), які є різними за розмірністю, до спільної шкали, щоб зробити їх порівнюваними та аналізованими, відбувається шляхом нормування.

Нормування індикаторів та визначення їх вагових коефіцієнтів. Нормування індикаторів створює єдину шкалу для порівняння різних індикаторів, що допомагає при оцінці рівня та загроз безпеці постачання електроенергії, розробці показників (індикаторів) та прийнятті рішень.

Нормування індикаторів здійснюється за допомогою лінійної функції таким чином, щоб характеристичні значення індикаторів потрапляли в зіставні за величиною інтервали. Перехід від абсолютних до нормованих значень індикаторів дозволяє вимірювати індикатори за шкалою від 0 до 1 або у відсотках: 0 відповідає 0%, 1 - 100%. Таким чином, отримане нормоване значення індикатора характеризує своєю величиною ступінь наближення до оптимального значення 1.

Нормування індикатора здійснюється наступним чином:

якщо x_{ij} знаходиться в проміжку між x_1 і x_2 , тобто $x_1 \leq x_{ij} \leq x_2$, то

$$y_{ij} = z_i + z_o \frac{(x_1 - x_{ij})}{(x_1 - x_2)}, \quad (3)$$

де x_{ij} – значення i -го індикатора в період j ;

y_{ij} – нормоване значення індикатора x_{ij} ;

z_o – значення початкового коефіцієнта

z_i – значення i -го коефіцієнта в залежності від проміжку.

Розрахунок оцінки рівня індексу забезпечення балансової надійності енергосистеми і якості та рівня технічного обслуговування електричних мереж. Розрахунок енергетичної безпеки в цілому. В процесі дослідження розглядалися дані, які представлені в Звіті Міністерства енергетики України за 2021 рік. Оскільки дані Звіту структуровані і мають однакової характеристики, проведено розрахунки для одного показника, а саме індексу забезпечення балансової надійності і якості та рівня технічного обслуговування електричних мереж. В розрахунок використовувалася дані Звіту про ризики та їх додаткові параметри (ймовірність настання ризику та ступінь наслідків). Слід зазначити, що зазначені дані вже викладені у нормованому форматі, розрахунки для їх нормування не проводилися.

Розраховано впливовість ймовірності настання та ступіню наслідку ризику:

$$Influence_i = \frac{S_i}{\sum S}, \quad (4)$$

де S_i – значення ступіню наслідку (ймовірності настання) i -го ризику;

$\sum S$ – сума значень ступеней наслідку (ймовірностей настання) ризиків;

Розраховано ваговий коефіцієнт впливовості:

$$K_i = \overline{Influence_i}, \quad (5)$$

де $\overline{Influence_i}$ – середнє значення впливовості i -го ризику;

Впливовість i -го ризику на індекс:

$$RiskInfluence_i = K_i \cdot Srisk_i, \quad (6)$$

де $Srisk_i$ – значення ступіню i -го ризику на індекс;

Розрахунки та результати приведені в таблиці 2.

Таким чином, визначено, що значення індексу забезпечення балансової надійності енергосистеми і якості та рівня технічного обслуговування електричних мереж становить 0,33. Значення кроку для визначених характеристик інтервалів приймається 0,2, в зв'язку з цим отримане значення індексу потрапляє в інтервал $Ind_{\text{крит}} \leq 0,33 \leq Ind_{\text{небезп}}$ та характеризується як небезпечний рівень значення індексу ($Ind_{\text{небезп}}$).

Аналогічним чином може бути проведено розрахунки для інших показників, а враховуючи те, що показники наближені за своїм типом та характеристиками можна стверджувати, що в даному випадку індикативний підхід має певні можливості для подальшого використання. Тому подальші дослідження будуть зосереджені саме на тому щоб проаналізувати та виявити достатність тих моніторингових даних, які на сьогоднішній день представлені у Звіті.

Розрахунок оцінки рівня безпеки постачання електричної енергії в цілому також здійснюється за допомогою вагових коефіцієнтів інтегральних індексів з урахуванням внутрішньої ситуації та міжнародних тенденцій.

Для більш глибокого аналізу можливо зробити оцінку рівня енергетичної безпеки України в цілому, а також окремо кожного інтегрального індексу та показника (індикатора) енергетичної безпеки з метою оцінки стану та ризиків у сфері енергетики України, виявлення сильних та слабких сторін системи, ідентифікації тенденцій та розробки стратегій та рішень для нівелювання виявлених слабких сторін системи та покращення безпеки постачання електроенергії в цілому.

Оцінка рівня безпеки постачання електроенергії дорівнює 1, коли всі x_{ij} отримують «найкращі», або оптимальні, тобто цільові значення, і 0, коли всі показники «найгірші».

Таблиця 2 – Розрахунок індексу забезпечення балансової надійності і якості та рівня технічного обслуговування електричних мереж

Ризик, №	Ймовірність настання ризику	Ступінь наслідку	Величина ризику
1	0,75	1,00	0,75
2	0,75	0,50	0,75
3	0,50	0,50	0,50
4	0,50	0,75	0,75
5	0,50	0,50	0,50
6	0,75	0,50	0,75
7	0,50	0,50	0,50
8	0,75	0,50	0,75
Впливовість ймовірності на індекс	Впливовість наслідку на індекс	Ваговий коефіцієнт впливовості	Впливовість ризику на індекс
0,15	0,21	0,18	0,14
0,15	0,11	0,13	0,10
0,10	0,11	0,10	0,05
0,10	0,16	0,13	0,10
0,10	0,11	0,10	0,05
0,15	0,11	0,13	0,10
0,10	0,11	0,10	0,05
0,15	0,11	0,13	0,10
Значення індексу забезпечення балансової надійності енергосистеми:			0,33

Стан безпеки постачання електричної енергії визначається відповідно до таблиці 3.

Таблиця 3 – Визначення стану безпеки постачання електричної енергії

Ступінь бажаності	Стан безпеки постачання електроенергії	Оцінка рівня безпеки постачання електроенергії
Дуже високий	Нормальний	1,0-0,8 (оптимальний рівень)

Високий		0,8-0,6 (задовільний рівень)
Задовільний (середній)	Передкризовий	0,6-0,4 (незадовільний рівень)
Низький		0,4-0,2 (критичний рівень)
Дуже низький	Кризовий	0,2-0,0 (абсолютно небезпечний рівень)

Висновки. Для вирішення задачі пошуку оцінки безпеки постачання електричної енергії може бути запропоновано до використання індикативний підхід, який відрізняється від існуючих підходів та забезпечує отримання уніфікованого показника, що дозволяє в подальшому здійснювати аналіз та формувати перелік завдань для розвитку енергосистеми України.

Можливість використання індикативного підходу доведено на прикладі розрахунку показника, а саме індексу забезпечення балансової надійності енергосистеми і якості та рівня технічного обслуговування електричних мереж. Зазначені розрахунки та висновки можуть бути розповсюджені на решту показників (індексів).

Список використаних джерел

1. Хуторна М.Е. Індикативний підхід до оцінки результативності забезпечення фінансової стабільності кредитних установ на основі діагностування інституційного середовища, 2019, ст. 1-15.
2. Про затвердження Правил про безпеку постачання електричної енергії : Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 27.08.2018 № 448. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1076-18#Text> (дата звернення: 01.05.2023).
3. Про ринок електричної енергії: Закон України, 2017 № 1909-IX. Офіційний сайт Верховної Ради України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> (дата звернення: 01.05.2023).

Науковий керівник: к.т.н., доцент А.І. Замулко

UDC 621.311

Yaroslav Pryshchepa, PhD student
Power Supply Department of
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

USE OF THE INDICATIVE APPROACH TO THE ASSESSMENT OF SECURITY OF ELECTRICAL ENERGY SUPPLY

Abstract: *The paper analyzes the use of an indicative approach to the assessment of the security of electric energy supply. The main focus is on forming a list of indicators (indicators) for assessing the security of electricity supply. The initial assessment of the level of the index of ensuring the balance reliability of the power system and the quality and level of maintenance of electrical networks will allow to assess the security of supply as a whole.*

Key words: *indicative approach, security of electric energy supply, indicator, indicator, assessment, risk, statistical data, rationing, unified indicator.*

References

1. Khutorna M.E. An indicative approach to assessing the effectiveness of ensuring the financial stability of credit institutions based on diagnosing the institutional environment, 2019, Art. 1-15.
2. On the approval of the Rules on the safety of electricity supply: Order of the Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine dated 27.08.2018 No. 448. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1076-18#Text> (date application: 01.05.2023).
3. On the electricity market: Law of Ukraine, 2017 No. 1909-IX. Official website of the Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> (date of application: 01.05.2023).

Scientific supervisor: Cand.Tech.Sc., Associate Professor Anatoly Zamulko