

ВИЗНАЧЕННЯ СЛАБКИХ ЗА НАДІЙНІСТЮ ОДИНИЦЬ І ГРУП КОМПЛЕКСУ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ПІДСИСТЕМ ЕЕС

Бардик Є.І., к.т.н., доц., Андрійчук В.В., магістрант
НТУУ «КПІ», кафедра електричних станцій

Вступ. Найбільш важливими проблемами, які виникають при створенні інтелектуальних енергосистем Smart grid є необхідність оперативної оцінки технічного стану (ТС) не тільки конкретних одиниць, але і всього комплексу електрообладнання та відповідного планування експлуатаційного і ремонтного обслуговування. При цьому існують наступні особливості вирішення зазначених задач.

Необхідність визначення ТС цілої групи електрообладнання, яке зв'язане в єдиний технологічний ланцюг виробництва, передачі і розподілу електроенергії, які зазвичай зосереджені у вузлах енергосистеми. При цьому найбільш важливим діагностичним терміном є поняття “слабкої ланки” всього технологічного ланцюга. Знаючи електрообладнання, що має найменший залишковий ресурс можливо мінімізувати витрати на підтримку працездатності комплексу обладнання і правильно розрахувати ризики виходу електрообладнання з ладу та оптимізувати співвідношення між витратами і можливими збитками.

Необхідність визначення ТС і залишкового ресурсу ланцюгів транзиту електроенергії між вузлами енергосистеми, які зазвичай включають повітряні і кабельні лінії, трансформатори і високовольтні вимикачі. Для цих ланцюгів також важливо знати “слабкі ланки”, які потребують першочергового вкладання матеріальних ресурсів, які призначені для ремонту і модернізації. Для оцінки ТС ланцюгів транзиту важливим є також визначення співвідношення між залишковим ресурсом і несучою здатністю ланцюгу передачі електроенергії, оскільки часто за невеликого навантаження можлива експлуатація ланцюгу транзиту практично без матеріальних вкладень.

На підставі інформації щодо технічного стану всіх елементів можливо формувати відповідні шляхи забезпечення електроенергією споживачів, мінімізувати як втрати на експлуатацію і ремонт так і вартість можливих ризиків, які виникають при функціонуванні всієї системи.

Постановка задачі. Мета статті – моделювання і визначення показників експлуатаційної надійності парку електрообладнання підсистем ЕЕС.

Матеріали і результати дослідження. В процесі експлуатації існуючого парку високовольтного електрообладнання енергетичних підприємств (силові трансформатори, автотрансформатори, високовольтні вимикачі, ЛЕП) виникає необхідність в оцінці динаміки експлуатаційної надійності за такими показниками: імовірності відмови кожної одиниці обладнання на різних проміжках часу; формування закону розподілу кількості відмов електрообладнання на даному проміжку часу; визначення пари одиниць однотипного і різнотипного обладнання, що мають найвищу імовірність

відмови; оцінювання збитків в результаті відмов груп електрообладнання; контролювати динаміку експлуатаційної надійності парку електрообладнання з метою планування ремонтів. Для визначення даних показників в умовах нечіткої вихідної інформації щодо параметрів надійності елементів ЕЕС розроблено математичне і програмне забезпечення. Зокрема найбільш слабкі за надійністю одиниці в групі однотипного обладнання визначаються: [1, 2]

$$\tilde{P}_{\min(\Delta t)} = \min(\tilde{P}_k(\Delta t)),$$

де $\tilde{P}_k(\Delta t)$ – імовірність безвідмовної роботи к-тої одиниці обладнання;

Імовірність безвідмовної роботи групи однотипного обладнання інтервалі часу (Δt):

$$\tilde{P}^{ep} = \prod_k \tilde{P}_k(\Delta t)$$

Імовірність того, що на інтервалі часу Δt виникне рівно k відмов різного обладнання визначається:

$$\tilde{P}^{ep} = \frac{1}{k} \frac{d^k \varphi_\Sigma(x)}{dx^k}, x=0;$$

$\varphi_\Sigma(x)$ – функція імовірності, котра визначається:

$$\varphi_\Sigma(x) = \prod_{i=1}^n (Q_i + P_i x), Q_i = P_i - 1$$

де Q_i, P_i – імовірність безвідмовної роботи і відмови і-го елемента.

Для тестового визначення вищеперерахованих показників розглянемо парк електрообладнання енергорайону, що забезпечує живлення споживачів вузла навантаження підстанції “Бровари”: силові трансформатори – 4 одиниці; високовольтні повітряні вимикачі – 7 одиниць з різними термінами напрацювання. Відомі також базові функції розподілу імовірності відмови, отримані на основі статистичних даних (рис. 1)

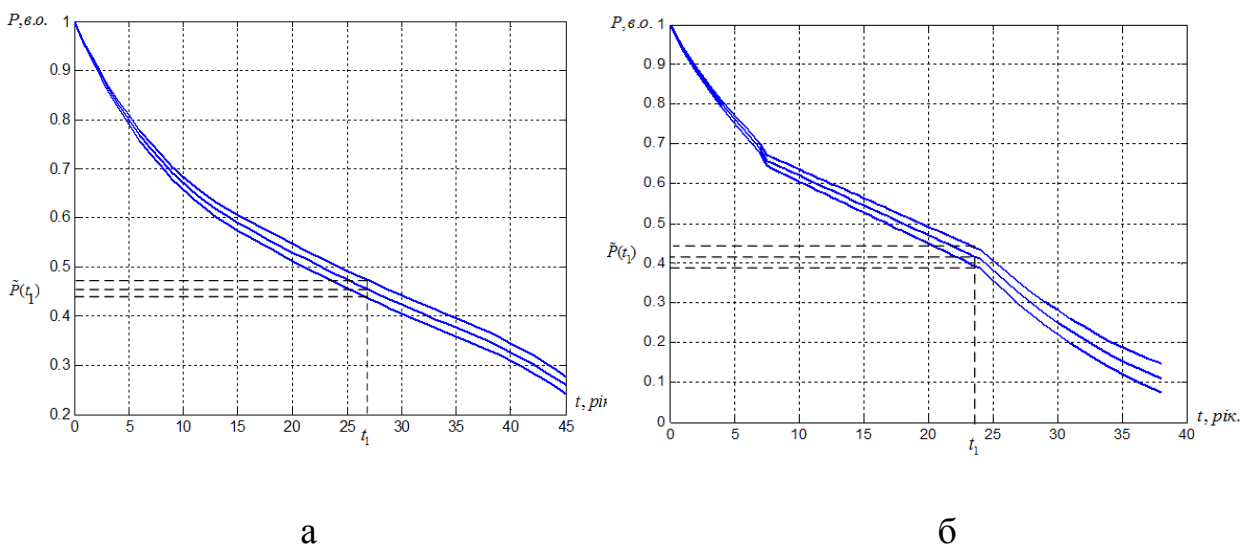


Рисунок 1 – Функції розподілу імовірності відмови електрообладнання:
а – силового трансформатора; б - повітряного вимикача

В таблиці 1 та 2 наведені вихідні дані щодо терміну напрацювання силових трансформаторів і високовольтних вимикачів відповідно та нечітких імовірностей відмови на інтервалі часу $\Delta t = 1$ рік.

Таблиця 1 – Силові трансформатори

№ п/п Познач. параметрів	1	2	3	4
Термін напрац. t_1^i , рік	26	27	28	28
Імовірність відмови на інтервалі часу $\tilde{P}_i(\Delta t)$, в.о.	0,9775	0,9774	0,9772	0,9772
	0	0,0471	0,0480	0,0480
	0	0,0481	0,0491	0,0491

Таблиця 2 – Високовольтні вимикачі

№ п/п Познач. параметрів	1	2	...	6	7
Термін напрац t_1^i , рік	24	26	...	30	31
Імовірність Відмови на інтервалі часу $\tilde{P}_i(\Delta t)$, в.о.	0,9283	0,9229	...	0,9122	0,9095
	0,0689	0	...	0,1289	0,1438
	0,0693	0	...	0,1295	0,1444

В реальній практиці експлуатації силових трансформаторів(СТ) та повітряних вимикачів(ПВ) важливо знати імовірність відмови конкретної одиниці обладнання на інтервалі часу. Це дає можливість проранжувати обладнання за імовірністю відмови, а також визначити імовірність відмови двох(або більшої кількості) одиниць електрообладнання. На основі одержаних результатів можливо планувати послідовність виводу силового і комутаційного обладнання в ремонт.

В таблиці 3 та 4 наведено результати розрахунку імовірності того, що на інтервалі часу $\Delta t = 1$ рік відмовить тільки один конкретний силовий трансформатор або високовольтний повітряний вимикач.

Таблиця 3 – Силові трансформатори

№ п/п	1	2	3	4
Імовірність відм. СТ,в.о.	(0,0210; 0,0029; 0,0031)	(0,0211; 0,0418; 0,0470)	(0,0213; 0,0426; 0,0480)	(0,0213; 0,0427; 0,0481)

Таблиця 4 – Високовольтні вимикачі

№ п/п	1	2	...	6	7
Імовірність відм.ПВ,в.о.	(0,0424; 0,0416; 0,0683)	(0,0459; 0,0245; 0,0330)	...	(0,0528; 0,0663; 0,1084)	(0,0546; 0,0724; 0,1177)

Результати розрахунку імовірності відмови рівно 1,2,3,4 СТ або ПВ на інтервалі часу $\Delta t = 1$ рік даного парку обладнання представлено в таблицях 5 та 6.

Таблиця 5 – Силові трансформатори

К-сть відмов	1	2	3	4
Імовірність відмов СТ,в.о.	0,0647	0,001975	0,000034	0,0000002

Таблиця 6 – Високовольтні вимикачі

К-сть відмов	1	2	3	4
Імовірність відмов ПВ,в.о.	0,3593	0,08513	0,00612	0,000446

Модальні значення імовірності відмови на інтервалі часу двох СТ або ПВ наведені на рис. 2 та 3.

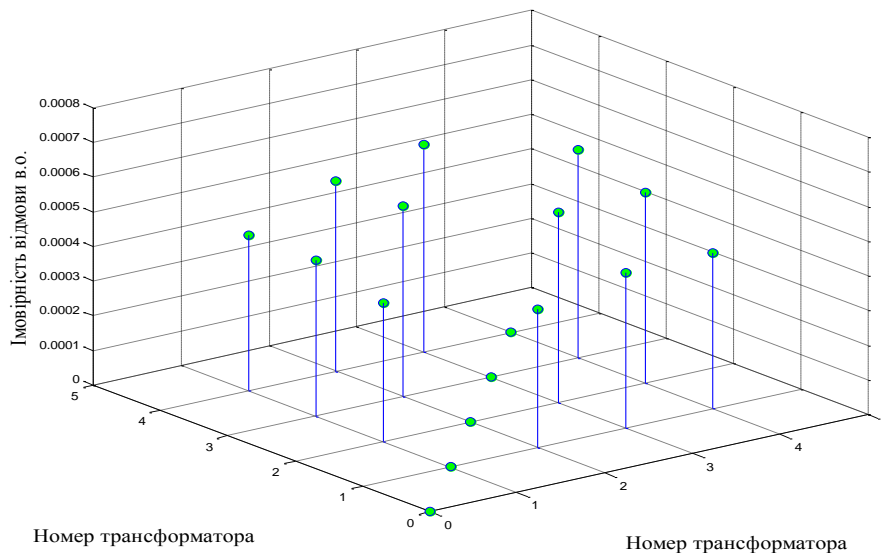


Рисунок 2 – Модальне значення імовірності відмови пари СТ

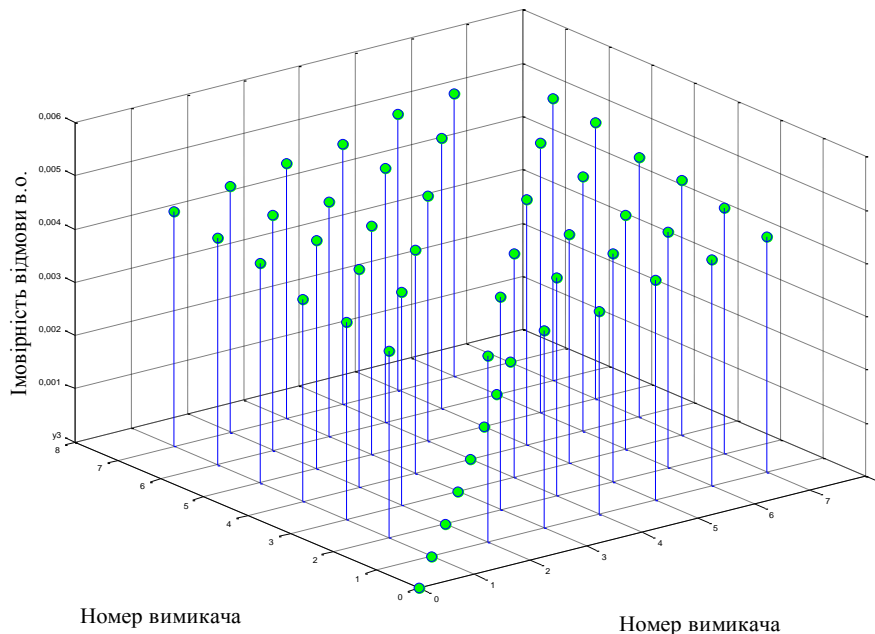


Рисунок 3 – Модальні значення імовірності відмови пари ПВ

Висновки. 1. Значний знос електрообладнання сучасних ЕЕС України потребує розробки математичних моделей оперативної оцінки показників експлуатаційної надійності парку електрообладнання.

2. Розроблено математичне і програмне забезпечення визначення слабких за надійністю одиниць і груп електротехнічного обладнання.

Перелік посилань

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. — 6-е изд. стер. — М.: Высш. шк., 1999.— 576 с.
2. Ванин Б.В., Львов Ю. Н. Вопросы повышения надежности блочных трансформаторов. Электрические станции, 2003, №7.