

ОЦІНКА КІЛЬКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ РИЗИКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ ГОЛОВНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ПРИ ПРИЙНЯТТІ РІШЕНЬ

Бардик Є.І., к.т.н., доцент, Янчитський А.Л., магістрант
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних станцій

Вступ. При експлуатації електрообладнання на електричній станції дуже часто виникає необхідність приймати обґрунтовані технічні рішення про виведення в ремонт окремих елементів, їх реконструкції або заміні. В умовах гострої обмеженості матеріальних або фінансових ресурсів виникають ситуації, коли вимушено доводиться експлуатувати електричне обладнання з терміном служби більшим, ніж гарантований заводом-виробником, коли фактичні параметри режиму електростанції вище, ніж нормовані у обладнання, а також в інших подібних випадках. Тому в даному випадку виникає проблема оцінки кількісних показників ризику [2].

Під поняттям *ризик* розуміють ймовірність виникнення аварійних ситуацій, при прийнятті конкретних рішень, об'єднаних з величиною екологічних, соціальних і техніко-економічних наслідків [2].

Якщо, обладнання електростанції працює в зоні нормованих параметрів, то ризик не виникає. В цьому випадку, можливі відмови електрообладнання, тому наслідки розглядаються як параметри їхньої надійності, а також наслідки оцінюються ймовірними збитками. Така подія як ризик, з'являється тільки при перевищенні номінальних параметрів. Це пов'язано з тим, що при експлуатації електрообладнання поза номінальними параметрами, ймовірність відмов зростає. Як наслідок підвищується небезпека для здоров'я і життя людей. На сьогоднішній день при експлуатації енергоустановок фактори ризику не завжди враховуються [2], що пов'язано з відсутністю методики і нормативних документів для оцінки ризику.

Це потребує розробки моделі для визначення кількісних показників ризику експлуатації елементів головної схеми електростанції.

Мета роботи. Моделювання і оцінка ризику експлуатації комутаційних елементів РП головної схеми електростанції.

Матеріали та результати досліджень. Аналіз пошкоджуваності обладнання в енергосистемах показує, що до 60 – 80% відмов електрообладнання та до 50 – 65% електроустановок пов'язано із КЗ [2]. Для ліквідації наслідків від КЗ необхідні дуже значні затрати, так як наслідки бувають інколи дуже серйозними. Особливо небезпечними є наслідки від КЗ, коли електрообладнання працює в зоні не розрахованих параметрів (поза номінальними параметрами). Тому для енергетики дуже особливе місце має оцінка ризику при КЗ [2].

Поняття «*ризик при КЗ*» включає три фактори наслідків (втрат) від КЗ таких, як соціальні, матеріальні та екологічні втрати. Вони виникають за умови, коли номінальні параметри електрообладнання перевищують паспортні (тобто в зоні ризику), при роботі оперативного персоналу не по інструкції або коли

виникають випадки помилкового спрацювання релейного захисту та автоматики.

Загальний вираз для визначення ризику є таким:

$$R = \nu C,$$

де R – ризик, що вимірюється як наслідок подій за одиницю часу при умові перевищення номінальних параметрів електрообладнання, тис.грн/рік; ν – частота появи події за одиницю часу, 1/рік; C – вартість наслідків на одну подію, тис.грн.

Загалом ризик при КЗ визначається сумою трьох складових [2]:

$$R = R_M + R_C + R_E,$$

де R_M – матеріальна складова ризику від КЗ характеризується техніко-економічними втратами від КЗ; R_C – соціальна складова ризику від КЗ характеризується соціальними наслідками КЗ для людей (каліцтва, травми, інвалідність, смерть, захворювання); R_E – екологічна складова ризику від КЗ характеризується негативними впливами на навколишнє середовище (воду, повітря, землю) при появі аварійних ситуацій в енергоустановках.

1. *Експлуатація енергообладнання електростанції, що відпрацювало свій встановлений термін служби ($T_{\text{експл}} > T_{\text{сл}}$).*

Очікуваний річний техніко-економічний ризик від КЗ визначається:

$$R_M = w' \Psi N \Psi C,$$

де w' – параметр потоку відмов електрообладнання, відмови якого викликають втрати; N – кількість електрообладнання, відмови якого викликають втрати; C – вартість наслідків від відмови обладнання.

Соціально-економічна складова ризику складає:

$$R_C = w' \Psi N \Psi_{з.л.} \Psi_{с.л.} \Psi_{ж.},$$

де $P_{з.л.}$ – ймовірність знаходження людей в електроустановці, де є обладнання з терміном служби більшим, ніж встановлений заводом-виробником; $P_{с.л.}$ – ймовірність смерті людей в момент їхнього знаходження в електроустановці; $C_{ж.}$ – вартість життя людини відповідно до оцінки безпеки.

Приклад 1. В РП напругою 330 кВ встановлено 5 повітряних вимикачів ВВН-330-15. Термін експлуатації вимикачів $T_{\text{експл}} = 30$ років, гарантований термін служби $T_{\text{сл}} = 25$ років. Вартість вимикача на 2017 рік $C_{в1} = 3000$ тис.грн.

Параметр потоку відмов w_g в межах гарантованого терміну експлуатації відрізняється від w_g' параметра потоку відмов поза межами гарантованого терміну служби. Параметр потоку відмов в межах w_g і поза межами гарантованого терміну експлуатації w_g' визначається з функції розподілу ймовірності відмов повітряних вимикачів $F(t)$, яку наведено на рис. 1.

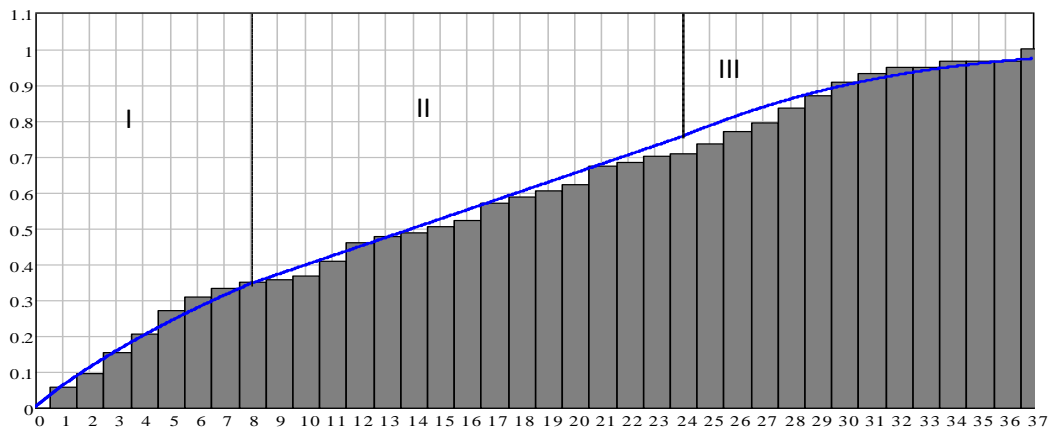


Рисунок 1 – Статистична функція ймовірності розподілу відмов повітряних вимикачів напругою 330 кВ

Аналітичні апроксимації статистичної функції розподілу відмов повітряних вимикачів можна представити за різними законами на окремих ділянках напрацювання I÷III: I – Вейбула з $F_I(t) = 1 - e^{-\alpha_I t^{\beta_I}}$; II – рівномірний закон з $F_{II}(t) = \alpha_{II} + \beta_{II} t$; III – Вейбула з $F_{III}(t) = 1 - e^{-\alpha_{III} t^{\beta_{III}}}$ [4].

Визначенні для розглянутих повітряних вимикачів параметр потоку відмов мають значення $\omega_g = 0,04$ 1/рік і $w_g' = 0,048$ 1/рік, де $t_{cl} = 25$ років.

Припускаємо, що при відмові вимикача ушкоджується тільки він сам. На практиці, можливо статися таке, що пошкодження отримують і сусідні комірочки вимикачів. Вартість в результаті відмови вимикачів буде рівна вартості пошкодженого вимикача та вартості нового вимикача, що буде встановлюватись:

$$C_g = 2C_{g1} = 2 \cdot 3000 = 6000 \text{ тис.грн.}$$

Ймовірність знаходження людей на майданчику ВРП – 330 в момент КЗ визначається із розрахунку часу знаходження оперативного персоналу на майданчику РП протягом року.

$P_{з.л.} = P_{рем.в.т.} + P_{обсл} + P_{опер.пер.}$, де $P_{рем.в.т.}$ – ймовірність знаходження в ремонті вимикачів ($P_{рем.в.}$), трансформаторів ($P_{рем.т.}$) та іншого електрообладнання ВРП – 330 кВ; $P_{обсл}$ – ймовірність оглядів (приймаємо рівною 0,5 год на добу); $P_{опер.пер.}$ – ймовірність оперативних перемикачів (приймаємо рівною 0,5 год на добу).

Враховуючи дані про частоту та тривалість ремонтів енергообладнання і виходячи з прийнятих припущень наведемо параметри:

$$P_{\text{рем.в.}} = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ 1/рік} \quad P_{\text{рем.т.}} = 4,9 \cdot 10^{-3} \text{ 1/рік} \quad P_{\text{обсл}} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ 1/рік} \quad P_{\text{опер.пер}} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ 1/рік}$$

$$P_{\text{з.л.}} = 3,6 \cdot 10^{-3} + 4,9 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-2} + 2 \cdot 10^{-2} = 4,85 \cdot 10^{-2} \text{ 1/рік}$$

Ймовірність смерті людей приймаємо рівним 0,5. Припустимо, що при ушкодженні вимикача гине тільки одна людина. Тому згідно з нашими припущеннями та враховуючи закордонний досвід приймаємо, що $C_{\text{ж}} = 220 \text{ тис.}\$ [5]$, що складає 5810 тис.грн. (при курсі валюти 1:26,4).

З врахуванням приведених складових:

$$R_m = w_{\text{в}} \cdot \Psi_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}} = 0,048 \cdot 5 \cdot 6000 = 1440 \text{ тис.грн./рік}$$

$$R_c = w_{\text{в}} \cdot \Psi_{\text{в}} \cdot \Psi_{\text{з.л.}} \cdot \Psi_{\text{с.л.}} \cdot C_{\text{ж}} = 0,048 \cdot 5 \cdot 4,85 \cdot 10^{-2} \cdot 5 \cdot 5810 = 33,8 \text{ тис.грн./рік}$$

Ризик від експлуатації 5 вимикачів на ВРП – 330 з терміном служби більшим, ніж гарантований, не враховуючи екологічну складову дорівнює:

$$R_s = R_m + R_c = 1440 + 33,8 = 1473,8 \text{ тис.грн./рік}$$

що складає 0,3913 вартості одного нового вимикача.

2. Оцінка ризику внаслідок КЗ при експлуатації електричного обладнання поза номінальними параметрами.

Типовим прикладом є експлуатація вимикачів в яких номінальний струм відключення є меншим, ніж насправді можливий струм КЗ ($I_{\text{відкл}} > I_{\text{відкл.ном}}$).

Очікуваний річний техніко-економічний ризик втзначається:

$R_m = N_{\text{кз.очік}} \cdot \Psi_{I_{\text{відкл}} > I_{\text{відкл.ном}}} \cdot C_{\text{в}}$, де $N_{\text{кз.очік}}$ – очікуване число КЗ за рік; $P_{I_{\text{відкл}} > I_{\text{відкл.ном}}}$ – ймовірність перевищення номінального струму вимикача; $C_{\text{в}}$ – вартість наслідків через відмову одного вимикача;

Очікуваний соціальний ризик:

$$R_c = N_{\text{кз.очік}} \cdot \Psi_{I_{\text{відкл}} > I_{\text{відкл.ном}}} \cdot \Psi_{\text{з.л.}} \cdot \Psi_{\text{с.л.}} \cdot C_{\text{ж}}$$

Приклад 2. На повітряній лінії ВРП – 330 кВ довжиною 260 км, що відходить від шин розглянутої в прикладі 1.2 електростанції, встановлений повітряний вимикач ВВН-330-15 в якого номінальний струм відключення 26,2 кА. Враховуючи розвиток мережі, розрахункові струми КЗ значно зросли та склали: на початку лінії $I_{\text{пч.л}} = 36 \text{ кА}$, в кінці лінії $I_{\text{кн.л}} = 12,5 \text{ кА}$. Потрібно визначити техніко-економічний і соціальний ризик, виникаючий при залишенні в експлуатації даного вимикача.

Наразі відсутні достовірні дані про надійність роботи вимикачів поза номінальними параметрами при $I_{\text{відкл}} > I_{\text{відкл.ном}}$. Тому припустимо, що при

струмові, який проходить через вимикач $I_{\text{відкл}} = 1,1\mathcal{U}_{\text{відкл.ном}}$ відбувається відмова вимикача з його подальшим руйнуванням, при $I_{\text{відкл}} = 1,5\mathcal{U}_{\text{відкл.ном}}$ відбувається руйнування цього вимикача та двох сусідніх комірок вимикачів.

Питома кількість КЗ на лініях ВРП – 330 кВ $n_{\text{шт}} = 7,5$ на 100 км / рік [2].

Очікувана кількість КЗ, комутуєма даним вимикачем:

$$N_{\text{кз.очік}} = n_{\text{шт}} \mathcal{U} = 7,5 \mathcal{U} \frac{260}{100} = 19,5 \text{ КЗ за рік}$$

Приймаємо, що розподіл точки КЗ по довжині лінії рівноімовірний, тоді з урахуванням щільність розподілу струму КЗ визначається:

$$f(I_{\text{к}}) = \frac{I_{\text{поч.л}} I_{\text{кн.л}}}{I_{\text{к}}^2 (I_{\text{поч.л}} - I_{\text{кн.л}})}; f(I_{\text{к}}) = \frac{36 \cdot 12,5}{I_{\text{к}}^2 (36 - 12,5)} = \frac{19,15}{I_{\text{к}}^2}$$

Ймовірність виникнення струму КЗ для різних інтервалів значень:

$$P_i = \int_i^{I_{i+1}} f(I) dI = \int_i^{I_{i+1}} \frac{19,15}{I_{\text{к}}^2} dI = - \frac{19,15}{I_{\text{к}}} \Big|_i^{I_{i+1}}$$

Визначимо ймовірність виникнення струму КЗ в інтервалах струмів з різним значенням наслідків КЗ: ймовірність перевищення номінального струму відключення вимикача ($I_{\text{відкл.ном}} < I_{\text{відкл}} < I_{\text{поч.л}}$): $P_1 = 0,2$

Ймовірність пошкодження одного вимикача ($1,1\mathcal{U}_{\text{відкл.ном}} < I_{\text{відкл}} < 1,5\mathcal{U}_{\text{відкл.ном}}$): $P_2 = 0,1772$

Ймовірність пошкодження трьох вимикачів ($1,5\mathcal{U}_{\text{відкл.ном}} < I_{\text{відкл}} < I_{\text{поч.л}}$): $P_3 = 0$

Можливий техніко-економічний ризик від перевищення струмів КЗ складається з двох складових ризику:

1. В інтервалі струмів $1,1\mathcal{U}_{\text{відкл.ном}} < I_{\text{відкл}} < 1,5\mathcal{U}_{\text{відкл.ном}}$, коли пошкоджується тільки один вимикач:

$$R_{\text{м1}} = N_{\text{кз.очік}} \mathcal{U}_2 \mathcal{C}_e = 19,15 \mathcal{U} \cdot 1772 \mathcal{U} \mathcal{C}000 = 20732,4 \text{ тис.грн. / рік}$$

2. В інтервалі струмів $1,5\mathcal{U}_{\text{відкл.ном}} < I_{\text{відкл}} < I_{\text{поч.л}}$, коли пошкоджуються три вимикачі:

$$R_{\text{м2}} = N_{\text{кз.очік}} \mathcal{U}_3 \mathcal{C}_e = 19,15 \mathcal{U} \mathcal{C}3 \mathcal{C}000 = 0 \text{ тис.грн. / рік}$$

Ймовірність знаходження людей у РП $P_{\text{з.л}}$ і ймовірність смерті людей $P_{\text{с.л}}$ приймаємо такими, як у прикладі 1.

Очікуваний соціальний ризик складає:

$$R_c = N_{\text{кз.очік}} \cdot \Psi_1 \cdot \Psi_{3.л} \cdot \Psi_{с.л} \cdot \Psi_{ж} = 19,5 \cdot 0,2 \cdot 0,85 \cdot 10^{-2} \cdot 0,5 \cdot 810 = 549,48 \text{ тис.грн. / рік}$$

Ризик при експлуатації вимикача за межами нормованих параметрів:

$$R_s = R_{m1} + R_{m2} + R_c = 20732,4 + 0 + 549,48 = 21281,88 \text{ тис.грн. / рік}$$

що складає 7,094 вартості одного повітряного вимикача ВВН-330-15.

Результати розрахунку ризику експлуатації вимикачів ВРП – 330 кВ від яких відходить п'ять ліній електропередач наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Показники ризику експлуатації ВРП-330 до заміни вимикачів

Довжина лінії, l_i , км	150	230	170	260	208
$I_{\text{пч.л}}$, кА	36	36	36	36	36
$I_{\text{кн.л}}$, кА	17	13,75	15,5	12,5	14,2
$I_{\text{відкл.ном}}$ вимикача, кА	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2
P_1	0,335	0,231	0,283	0,2	0,244
P_2	0,298	0,206	0,252	0,177	0,217
P_3	0	0	0	0	0
R_{m1} , тис.грн. за рік	20120	21310	19270	20732,4	20310
R_{m2} , тис.грн. за рік	0	0	0	0	0
R_c , тис.грн. за рік	530,47	561,791	508,043	549,48	535,512
R_e , тис.грн. за рік	20650	21870	19780	21281,88	20840

Висновки: Обґрунтована доцільність моделювання і оцінки кількісних показників ризику експлуатації електроенергетичних об'єктів. Запропоновано розрахункові вирази для визначення основних складових ризику електрообладнання при перевищенні нормативного терміну експлуатації та роботі поза номінальними параметрами. Представлено результати розрахунків ризику експлуатації комутаційних елементів РП головної схеми електростанції.

Перелік посилань

1. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. М.: Энергоатомиздат, 1989. – 604 с.
2. Неклепаев Б.Н., Востросабин А.А. Оценка численных характеристик риска при принятии решений в электроэнергетики. Электрические станции, 2000, №5.
3. Ветошкин А.Г. Надежность технических систем и техногенный риск. – Пенза: Изд-во ПГУАиС, 2003. – 155с.
4. Бардик Є.І. Моделювання електроенергетичної системи (ЕЕС) для оцінки ризику виникнення аварій при відмовах електрообладнання.
5. Акимов В.А. Основа анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. – М.: Деловой экспресс, 2004. – 346 с.