

ПОДІЄВІ РИЗИКИ У СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

У роботі наведено приклад використання методики формування, оцінки та прогнозування подійних ризиків, пов'язаних з роботою ліній електропередач для метеорологічних умов Північного Приазов'я. Систематизовано основні причини та фактори, що впливають на ризикоутворення для таких технічних систем. На підставі статистичних даних згідно до метеослужб Північного Приазов'я сформовано основні бази даних щодо можливих подійних ризиків для цього регіону. Запропоновано, як критерії вибору стратегії управління ризиками прийняти послідовно критерії управління Гурвіца і Севіджа, як такі, що відповідають умовам мінімаксних функцій для таких істотно невизначених параметрів, як метеорологічні фактори. Показано, як визначаються деякі ризики виникнення системних аварій в енергосистемах і підходи до управління ними. Виявлені шляхи забезпечення безпечного постачання енергії та надійне керування цим процесом.

Методика дозволяє зі 128 аналізованих варіантів подій, пов'язаних з потенційними ризиками порушень у роботі ліній електропередач зупинитися на двох, найбільш актуальних для зимово-весняного періоду часу та показати їх знаковість для інженерних служб експлуатації. Така методика, поза характеристиками ймовірності ризику, дозволяє визначити варіанти ризикових подій для подальшого їх запобігання. Прораховано фактичний рівень ризику, який пов'язано з показаними двома параметрами для ліній електропередач у регіоні Північного Приазов'я, котрий дорівнює одиниці, якщо прийняти, що в даний час наступлять відразу дві події. Отримано вірогідність ризиків у зазначені часові інтервали щодо настання різноманітних природних явищ. Виявлено заходи, що мають профілактичне значення.

Ключові слова: подійний ризик, система електропередачі, метеорологічні умови, критерії Гурвіца та Севіджа, опади, дощ, зледеніння на проводах, управління ризиком.

Мета статті. На прикладі експлуатації систем лінійних електропередач показати можливості методу прогнозування подійних ризиків, які пов'язані із можливими порушеннями у роботі цієї технічної системи від впливу середньорічних погодних умов.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Імовірнісні методи оцінки ризиків, за своїм призначенням не дозволяють отримати достовірні дані про сам ризик і його прогнозування [1, 2, 3]. Це відноситься до різних систем, технічних, економічних, соціальних, біологічних. Один тип таких систем, а саме, виробничі системи, як правило, структуровані, цілком керовані, прогнозовані, часто стають джерелами аварій, руйнувань, катастроф, пов'язаних із ризиками у порушеннях штатних режимів роботи. Такі ризики можуть бути пов'язані з ланцюжками подій або «шкалою подій», які послідовно призводять до подібних порушень та аварій [4]. В основі таких подій лежить інформація про стан виробничої системи. Інформація відноситься до технічної системи, за допомогою якої здійснюється виробництво. Вона відноситься і до технологічного процесу, тобто, послідовності запрограмованих дій, фізичних, хімічних, механічних та інших ефектів, матеріальних та енергетичних потоків, що беруть участь у виробництві. Вона відноситься і до людини: працівника, оператора, менеджера, їх дій, помилок. Різноманітність усіх цих показників дає нормативний, у тому числі пов'язаний, інформаційний стан виробничого процесу. Можливості управління такою пов'язаною інформацією це ключ до управління подієвими ризиками.

Виклад основного матеріалу. Покажемо, як визначаються деякі ризики виникнення системних аварій в енергосистемах і підходи до управління ними. Основне завдання забезпечити безпечно постачання енергії та надійне керування цим процесом.

Об'єкт дослідження: типові високовольтні лінії електропередач.

Предмет дослідження: ризики виходу з ладу об'єктів дослідження в залежності від факторів зовнішнього середовища, які важко піддаються регулюванню, настають спонтанно та завдають істотної шкоди системам електрозабезпечення.

Обладнання: високовольтні магістральні та розподільні лінії електропередач, трансформатори, електричні генеруючі потужності всіх видів. Кожен вузол має вразливість через настання ризикових подій. До таких подій зарахуємо:

- природні події (повені, шторми, негода, дощі, землетруси, торнадо, селеві бурі, екстремальні зміни температури повітря, інші метеорологічні зміни);
- порушення в роботі обладнання, викликані зносом, втратою матеріалів, змінами в умовах експлуатації;
- людські помилки під час експлуатації;
- порушення, пов'язані зі штучним втручанням з боку спеціальних людей, кіберзлочини;
- тероризм, штучні руйнування системи електрозабезпечення.

У електробезпеці існує три стандартні типи відмов у роботі електротехнічного обладнання:

- стандартна аварія, що відноситься до відмови одного елемента системи;
- нестандартна аварія, пов'язана з одночасним виходом з ладу двох та більше елементів одночасно;
- критична аварія, пов'язана із відмовою з причин малоймовірних подій.

Враховуючи досить великий обсяг вихідних даних, пов'язаних з аварійністю об'єкта, ми розглянемо лише метеорологічні чинники стосовно нашого предмета дослідження. Найбільш типові події C_x , пов'язані з ризиком порушення роботи лінійного електрообладнання від кліматичних причин:

- висока швидкість вітру (поз. 1);
- екстремально висока (поз. 2) чи екстремально низька (поз.3) температура;
- рясні опади у вигляді дощу (поз. 4) або снігу (поз. 5);
- налипання снігу поз.(6) зледеніння проводів (поз. 7);
- сніжні бурі (поз. 8);
- повінь (поз. 9);
- зсуви, що ініціюються екстремальними опадами (поз. 10);
- грози (поз. 11);
- снігові лавини (поз. 12);
- землетруси (поз. 13);
- цунамі (поз. 14);
- лісові та інші пожежі (поз. 15);
- шторми та урагани (поз. 16).

Поява таких подій можна класифікувати за часом року: зима (W), зима-весна (W-Sp), весна (Sp), весна-літо (SpS), літо (S), літо-осінь (SO), осінь (O), осінь-зима (OW) залежно від метеорологічних, середніх кліматичних та інших природних умов. Матрицю каскадних взаємозалежних подій, коли кожна наступна подія є причиною попередньої і, у свою чергу, стає причиною подальшої за ним події, представимо в табл. 1. Тут кожен подієвий фактор визначається перетином двох координат «час - ΔT_y » та «подія - C_x » і позначається як $Q_{x,y}$.

Екологічна безпека

Порядок вибору стратегії поставимо у залежність від критеріїв управління, по черзі: критерію Вальда, критерію Гурвіца та критерію Севіджа [3]. Перший представляє максимінну функцію від факторів впливу (числа випадків) $Q_{x,y}$, що відносяться до подій C_x :

$$\max_x \min_y Q_{x,y}, \quad (1)$$

та спрямований на максимізацію факторів впливу. Оскільки матриця інцидентності (див. табл. 1) не надає інформації про співвідношення кількісних показників, критерій Вальда не дає можливості для аналізу стратегій майбутніх ризикових подій і може бути виключений з розгляду.

Таблиця 1 – Матриця можливих подій C_x , пов'язаних із ризиками для лінійної системи електропостачання, обумовлених природними причинами (вибірki даних за 25 стрічок спостережень у регіоні Північного Приазов'я)

Період часу, ΔT_y	Фактори впливу $Q_{x,y}$ *, віднесені до подій C_x **															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
W	«1»	«1»	«1»	0	«1»	«1»	«0»	«1»	0	0	0	0	0	0	0	«1»
W-Sp	«1»	«1»	«1»	«0»	«1»	«1»	«1»	«1»	«1»	«1»	0	0	0	0	0	«1»
Sp	«1»	«1»	«1»	0	«1»	0	0	0	0	0	«1»	0	0	0	0	«1»
Sp-S	«1»	«1»	«1»	«1»	0	0	0	0	0	2	«1»	0	0	0	0	0
S	0	«1»	«1»	«1»	0	0	0	0	0	0	«1»	0	0	0	0	0
S-O	«1»	«1»	«1»	«1»	0	0	0	0	0	«1»	«1»	0	0	0	0	«1»
O	«1»	«0»	«1»	«0»	«1»	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	«1»
O-W	«1»	0	«1»	«1»	«1»	«1»	0	0	0	0	0	0	0	0	0	«1»

*- часовий параметр в інтервалі $\Delta T_y = 1/8$

** - порядковий номер події ($x = 1 \div 16$)

Критерій Гурвіца, як найбільш зручний у даному викладі, вказує на вибір найкращої послідовності подій, що призводять до ризикового результату, і визначається як функція переваги факторів впливу для цих подій:

$$\max_x [(1 - \alpha) \min_y Q_{x,y} + \alpha \max_y Q_{x,y}], \quad (2)$$

яка описана для деякого $\alpha = \{0,1\}$. Коефіцієнт α відноситься до векторного ранжування подій в матриці інцидентності. Безумовно, у область повноважень критерію Гурвіца відразу потрапляють всі значення $Q_{x,y} = 0$ при $\alpha = 0$. Але при цьому критерій Гурвіца (2) одразу ж перетворюється на критерій Вальда (1), який нами відкинуто із зазначених вище причин. Випадки подійності при коефіцієнті ранжування $\alpha = 0$ та $Q_{x,y} = 1$ із зазначених причин також не підлягають аналізу. А при варіанті, коли $\alpha = 1$ та значення $Q_{x,y} = 1$, ми отримуємо максимально достовірний результат із усіх подій, представлених у матриці (див. табл. 1):

$$\max_x [(1 - 1) \min_y "1" + 1 \max_y "1"] \rightarrow \max_x \max_y "1" \rightarrow \max_{x,y} "1" \quad (3)$$

У якості досліджуваних, у прикладі, розглянемо групу подій «5»-«8», які трапляються у зимово-весняний період року, для яких виконується умова (3). Як матрицю причинно-

наслідкових зв'язків приймемо тимчасовий відрізок, що цікавить нас, 20 лютого-10 березня (табл. 2).

Таблиця 2 – Факторна матриця інцидентності для вибіркових подій, здатних порушити роботу системи транспортування електроенергії (тут значення елементів матриці $Q_{x,y}$ - число випадків порушення подійно-часової системи координат)

Дні періоду	Події C_x					
	«5»	«6»	«7»	«8»	«9»	«10»
20/02.	6	4	3	0	0	1
21/02.	12	3	4	0	0	1
22/02.	0	0	0	0	1	0
23/02.	5	0	0	0	0	0
24/02.	8	5	5	1	0	0
25/02.	2	11	3	1	0	0
26/02.	11	5	4	1	0	1
27/02.	14	0	7	0	0	0
28/02	16	0	4	0	0	0
01/03.	0	0	0	1	1	1
02/03.	0	0	0	1	0	0
03/03.	0	0	0	0	0	0
04/03.	4	0	0	0	0	1
05/03	7	1	3	0	0	0
06/03.	2	0	0	1	1	0
07/03.	1	0	0	1	0	0
08/03.	3	0	0	0	0	0
09/03.	5	1	0	0	0	0
10/03.	1	2	0	0	0	0

Зокрема, прогнозована тимчасова ділянка 27 лютого включає підвищені ризики, пов'язані з опадами у вигляді снігу (14 випадків за досліджуваний період) та заледеніння струмопровідних дротів (7 випадків).

Скористаємося критерієм Севіджа на формування матриці ризиків. Для цього визначимо максимальне значення фактора $Q_{x,27/02}^{max}$ у факторному рядку матриці (див. табл. 2). Для кожного значення вихідної матриці визначимо різницю між її фактичним значенням та максимальним значенням $\Delta Q_{x,27/02} = Q_{x,27/02}^{max} - Q_{x,27/02}$ (табл. 3), таким чином, щоб у новій матриці ризиків можна було визначити максимальне значення з усіх $\Delta Q_{x,27/02}$, тобто $Q_{x,27/02}^{max}$, що дозволяє судити про мінімальний ризик із усіх його значень, а саме $R = \min_x (\Delta Q_{x,27/02}^{max} = 14)$.

Таблиця 3 – Розподіл факторів ризику щодо представницькості

Дні періода	Значення $\Delta Q_{x,27/02} = Q_{x,27/02}^{max} - Q_{x,27/02}$					
	«5»	«6»	«7»	«8»	«9»	«10»
27.02.	0	14	7	14	14	14

Нескладно переконатися, що мінімальний ризик пов'язаний із проявом кліматичних факторів, позначених як «6», «8», «9» та «10». Максимальний ризик відноситься до факторів, позначених позиціями «5» і «7», а саме, рясні опади у вигляді снігу та заледеніння дротів.

Біфуркаційна невизначеність у подібних випадках має характер катастрофи складки і має три вирішення рівняння $0 = R(R^2 + \Delta T)$. При постійному потенціалі системи розрахункові значення ризиків тут $R_{1,2} = \sqrt{-\Delta T}$, $R_3 = 0$, вирішення якого з урахуванням висловлювання (2) представляє результат вибору із двох варіантів: рясні опади як снігу, чи зледеніння дротів.

Перевірку здійснимо за допомогою рівняння регресії між енергетичним потенціалом та значущими показниками системи. Рівняння регресії, отримане на підставі та розрахунку кількості подій, пов'язаних із впливом кліматичних умов на стан аварійності ліній електропередач (див. табл. 1 та 2), має вигляд:

$$\Delta Q = 7,1 \cdot 10^{-6} \Delta T^4 - 0,13 \cdot 10^{-3} \Delta T^2 + 0,37 \Delta T,$$

та

$$\frac{d(\Delta Q)}{d\tau} = 28,4 \cdot 10^{-6} \Delta T^3 - 0,26 \cdot 10^{-3} \Delta T + 0,37 = 0.$$

Емпіричні залежності мають свої аналоги в теорії катастроф у вигляді збірки Уїтні, де параметр $\Delta T = 1,42 \cdot 10^3$ с, або 0,39 години. Відповідно до рівняння регресії параметр $R = 0,373$. Попередньо допустимо, що $R \leq 1,0$. Тоді, опускаючи перший многочлен рівняння, його рішенням стане $R = 1,4 \cdot 10^{-2} \ll 1,0$.

ВИСНОВКИ

Фактичний рівень ризику, пов'язаний з показаними двома параметрами для ліній електропередач у регіоні Північного Приазов'я, дорівнюватиме одиниці, якщо прийняти, що в даний час наступлять відразу дві зазначені події і готуватися до них слід у комплексі. Для тимчасового відрізка 0,39 години (23,4 хв) подібний прогноз дає більш точну статистику щодо отриманих кліматичних опадів у вигляді снігу та заледеніння дротів, і тому потребує відповідних заходів щодо підготовки до робіт, пов'язаних із очищенням від снігу або льоду. Навіть якщо у зазначені часові інтервали відповідні ризики не виправдаються, і в цей конкретний день не станеться подібних природних явищ, заходи можуть мати профілактичне значення, зміст навчального заняття та ін. Але при цьому підготовленість до їх проведення стане причиною попередження їх наслідків для великої інженерної системи.

Список використаних джерел:

1. Найт, Ф. Х. Риск, неопределенность и прибыль / Ф. Х. Найт; пер. с англ. М. Я. Каждана. – М. : Дело, 2003. – 359 с.

2. *Sommestad, T. Probabilistic relational model for security risk analysis / T. Sommestad, M. Ekstedt, P. A. Johnson // Computer & Security. – 2010. – Vol. 29, № 6. – P. 659–679.*
3. *Feng, N. Data-driven assessment model for information system security risk management / N. Feng, X. A. Yu // Journal of Computers. – 2012. – Vol. 7, № 12. – P. 3103–3109.*
4. *Волошин, В. С. Риски, событийность, энтропия / В. С. Волошин, А. А. Лямзин // Актуальні проблеми безпеки на транспорті, в енергетиці, інфраструктурі (STEI-2021): матеріали I Міжнар. науково-практ. конф. (Херсон, 8–11 вересня 2021 р.). – Маріуполь, 2021. – С. 223–227.*

Волошин В. С.

СОБЫТИЙНЫЕ РИСКИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРООБЕСПЕЧЕНИЯ

В работе представлен пример использования методик формирования, оценки и прогнозирования событийных рисков, связанных с работой линий электропередач для метеорологических условий Северного Приазовья. Систематизированы основные причины и факторы, влияющие на рискообразование таких технических систем. На основании статистических данных, в соответствии с метеослужбами Северного Приазовья, сформированы основные базы данных о возможных событийных рисках для этого региона. Предложено, как критерии выбора стратегии управления рисками принять последовательно критерии управления Гурвица и Севиджа, как отвечающие условиям минимаксных функций, для таких существенно неопределенных параметров, как метеорологические факторы. Показано, как определяются некие опасности возникновения системных аварий в энергосистемах и подходы к управлению ими. Выявлены пути обеспечения безопасной поставки энергии и надежного управления этим процессом.

Методика позволяет из 128 анализируемых вариантов событий, связанных с потенциальными рисками нарушений в работе линий электропередач остановиться на двух наиболее актуальных для зимне-весеннего периода времени и показать их знаковость для инженерных служб эксплуатации. Такая методика, вне характеристик вероятности риска, позволяет определить варианты рисков событий для дальнейшего их предотвращения. Просчитано фактический уровень риска, который связан с показанными двумя параметрами для линий электропередач в регионе Северного Приазовья, равной единице, если принять, что в настоящее время наступят сразу два события. Получена вероятность рисков в указанные временные интервалы по поводу наступления разнообразных природных явлений. Выявлены мероприятия, имеющие профилактическое значение.

Ключевые слова: *событийный риск, система электропередачи, метеорологические условия, критерии Гурвица и Севиджа, осадки, дождь, оледенение на проводах, управление риском.*

Voloshin V. S.

EVENT RISKS IN POWER SUPPLY SYSTEMS

The paper presents an example of using the methodology for the formation, assessment and forecasting of event risks associated with the operation of power lines for the meteorological conditions of the Northern Sea of Azov. The main causes and factors influencing the risk formation of such technical systems are systematized. Based on statistical data, in accordance with the meteorological services of the Northern Azov region, the main databases on possible event risks for this region have been formed. It is proposed to successively accept Hurwitz and Savage's control

criteria as criteria for choosing a risk management strategy, as meeting the conditions of minimax functions, for such essentially uncertain parameters as meteorological factors. It is shown how certain dangers of systemic accidents in power systems and approaches to their management are determined. Ways to ensure the safe supply of energy and reliable control of this process have been identified.

Out of 128 analyzed variants of events associated with potential risks of disruptions in the operation of power lines, the methodology allows us to focus on the two most relevant for the winter-spring period of time and show their significance for the engineering services of operation. Such a technique, outside the characteristics of the risk probability, allows you to determine the options for risk events for their further prevention. The actual level of risk associated with the shown two parameters for power lines in the Northern Sea of Azov region has been calculated, equal to one, if we assume that two events will occur at the same time. The probability of risks in the specified time intervals regarding the onset of various natural phenomena was obtained. Measures of preventive importance have been identified.

Keywords: *event risk, power transmission system, meteorological conditions, Hurwitz and Savage criteria, precipitation, rain, icing on wires, risk management.*

Стаття надійшла: 08.04.2021 р.