

УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ ПЕРСОНАЛУ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ТА СИСТЕМ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ РИЗИКУ ЕЛЕКТРОТРАВМАТИЗМУ

Бондаренко Є. А., Кушнір Д. С.

Вінницький національний технічний університет

Запропоновано методологію комбінованого підходу для удосконалення системи електробезпеки персоналу електричних станцій та систем, яка дала змогу проводити контроль та оцінювання показників професійного ризику захворювання персоналу від дії електричної енергії та обґрунтовувати вибір заходів та засобів захисту персоналу щодо мінімізації ризику електротравматизму.

Постановка проблеми. На перспективу до 2030 року в об'єднаній енергосистемі України зберігається стратегія розвитку основних електричних мереж, згідно якої функції передачі і розподілу електричної енергії для забезпечення паралельної роботи з енергосистемами інших країн залишаються за електроустановками надвисоких класів напруги (НВН), тобто 330 і 750 кВ. Відповідно до [1], споживання електроенергії в Україні по базовому сценарію прогнозується в 2030 р. в об'ємі 395,1 млрд. кВт·год., порівняно з 2005 р. (176,9 млрд. кВт·год.) воно збільшиться на 218,2 млрд. кВт·год. (123%).

Проте електроустановки НВН створили ряд додаткових проблем, серед яких однією з найважливіших є забезпечення електробезпеки здоров'ю персоналу при їх обслуговуванні і ремонті. Високий рівень напруги електричного поля, необхідність виконання електромонтажних робіт на великій висоті і під напругою вимагають розробки і впровадження цілого ряду додаткових методів і засобів забезпечення безпечних умов праці: спеціальних технологій і режимів обслуговування поблизу і на струмоведучих частинах електроустановки, технологічного оснащення, ізоляційних матеріалів, екрануючих комплектів одягу, приладів контролю їх технічного стану та ін. [2].

При перевищенні рівнів електромагнітного поля промислової частоти (ЕП ПЧ) над допустимими можливі зміни функціонального стану нервової, ендокринної, імунної та серцево-судинної систем організму людини [3] і, як наслідки, ризик виникнення для персоналу електричних станцій та систем, що тривалий час виконує роботи в електроустановках НВН, професійних захворювань від дії електричної енергії. Наведене вище обґрунтовує актуальність наукової проблеми, яка полягає у вдосконаленні менеджменту електробезпеки щодо мінімізації параметрів ризику професійного захворювання від дії електричної енергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання ризику електротравматизму персоналу розглядаються в працях Доліна П. О., Тіходєєва М.М., Никольського О. К., Довбиша В.Н., Кутіна В.М., Кальки Валдис, Silvester P. [2-7] а також інших авторів.

Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що на сьогоднішній день немає єдиної методології, яка би визначала принципи управління енергобезпекою та порядок проведення оцінювання ризику в електроустановках НВН електричних стан-

цій та систем. Відомі методи оцінювання рівня електробезпеки базуються на порівнянні вимірних розрахункових значень напруженості електромагнітного поля, напруги дотику, струму, що проходить через тіло людини, та часу їх дії з нормованими параметрами або на методах аналізу статистичних даних електротравм без урахування ймовірнісної природи електротравматизму та значення допустимого рівня електричної енергії, що поглинається тілом працівника.

Мета статті. Удосконалити контроль та управління системи електробезпеки для персоналу електричних станцій та систем від впливу електричної енергії шляхом врахування запропонованого комбінованого підходу та матриці оцінювання професійного ризику.

Основні матеріали дослідження. У ході дослідження встановлено, що міжнародні стандарти OHSAS 18001:2007, ISO 50001:2011, як і система управління якістю ISO 9000, побудовані на основі циклу Демінга, який фактично дублює коло менеджменту та складається з чотирьох етапів: планування, реалізація, контроль та оцінювання ризику з метою управління. Проте проведення аналіз свідчить, що більшість механізмів цієї страхової системи від професійних ризиків (інформаційні, діагностичні, фінансові та правові) ще тільки створюються. Для організацій енергетичної галузі, що впроваджують і підтримують дані стандарти, на перший план виступають питання ідентифікації небезпек різних видів діяльності, оцінювання професійних ризиків електротравматизму і забезпечення електробезпеки виробничої діяльності.

Авторами встановлено, що основними подіями-передумовами електротравми та професійно обумовленого захворювання персоналу електричних станцій та систем є: знаходження його в зоні дії електричної енергії; реальна наявність небезпечного значення електричної енергії; відсутність чи неефективність засобів захисту та помилкові і несанкціоновані дії персоналу в цій ситуації. Урахування основних подій-передумов електротравматизму та відомих підходів та методів оцінювання ризику травматизму від дії небезпеки на людину, відповідно до [8], дозволило запропонувати методологію оцінювання та аналізу параметрів ризику електротравматизму в електроустановках електричних станцій та систем.

Запропонована методологія ґрунтується на новому – комбінованому підході, який дозволяє врахувати системний, ризик-орієнтовний та енергетичний (вра-

ховує значення гранично допустимої енергії, що поглинається тілом працівника, під час виконання робіт в електроустановках НВН) підходи.

Застосування комбінованого підходу дало змогу авторам запропонувати структурну модель системи управління електробезпекою для мінімізації параметрів ризику електротравматизму, яка наведена на рис. 1.

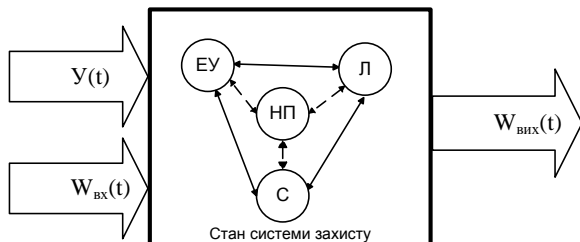


Рисунок 1 – Структурна модель системи управління електробезпекою

В моделі використовуються такі векторні значення: $W_{вх}(t)$ – вхідна дія електричної енергії на систему захисту залежно від часу t ; $W_{вих}(t)$ – вихідна дія електричної енергії із системи захисту на людину залежно від часу t ; $U(t)$ – комплекс заходів та засобів щодо забезпечення безпеки людини від дії електричної енергії на даний час, впровадження яких дозволяє керувати системою захисту.

Наведена на рис. 1 модель є сукупністю взаємопов'язаних елементів: нормативно-правового забезпечення (НП), людини (Л), електроустановки (ЕУ) та зовнішнього середовища (С), необхідних для управління системою захисту від дії електричної енергії для мінімізації параметрів ризику електротравматизму в електроустановках НВН.

Оскільки повне усунення шкоди від техногенно-виробничих і природно-екологічних небезпек, пов'язаних з електроустановками НВН на електричних станціях, підстанціях та електричних мережах НВН неможливе, тому для мінімізації ризику електротравматизму персоналу, що обслуговує електроустановки НВН, відповідно до [9], обрано шлях мінімізації сумарних соціально-економічних витрат, тобто вибирається такий набір заходів та засобів електробезпеки m з множини $\{z_m\}$ можливих, впровадження яких знизить ризик електротравматизму R в електроустановках НВН до допустимого рівня безпеки – $R_{доп}$.

$$\begin{cases} R = f(\dots, \{z_i\}, \dots) \leq R_{доп}. \\ z_i \rightarrow \min_m \\ \{z_i\} \in \{Z_m\} \end{cases} \quad (1)$$

де z_i – вартість впровадження i -го комплексу заходів щодо забезпечення електробезпеки.

З урахуванням обраного шляху мінімізації параметрів ризику електротравматизму авторами запропоновано порядок аналізу ризику електротравматизму та професійного захворювання персоналу електричних станцій та систем від впливу електричної енергії

в електроустановках НВН для його подальшої мінімізації, що подано у вигляді блок-схеми (рис. 2).

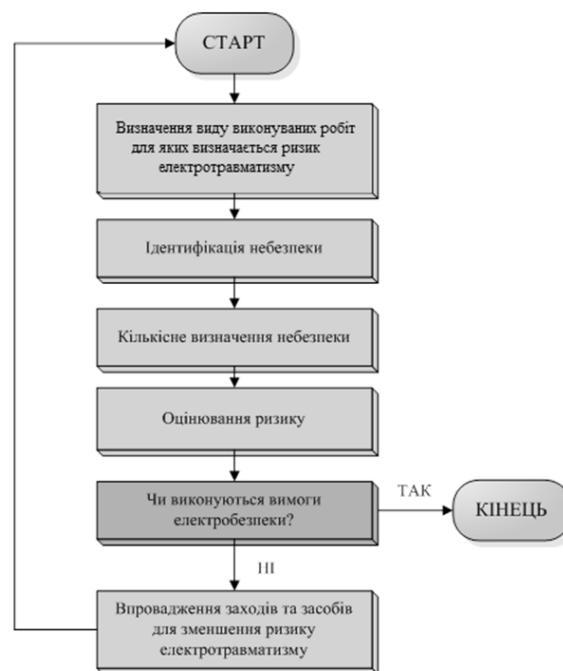


Рисунок 2 – Порядок аналізу ризику електротравматизму та професійного захворювання

Принцип ефективної системи управління електробезпекою для персоналу від дії електричної енергії оснований на замкнутому інформаційному контурі. Цей контур містить послідовність логічно пов'язаних функцій управління: оцінювання параметрів ризику ураження персоналу електричною енергією; планування та виконання планових заходів з електробезпеки щодо усунення ланцюга передумов появи електротравм, направлених на мінімізацію ризику електротравматизму та професійно обумовленого захворювання; контроль за виконанням планових заходів; оцінювання та аналіз параметрів ризику електротравматизму після вжитих заходів; ухвалення рішень із вдосконалення системи електробезпеки, що дозволяє постійно порівнювати фактичний стан керованого процесу, з метою мінімізації ризику електротравматизму.

Комбінований підхід та порядок аналізу ризику електротравматизму та професійного захворювання дозволили розробити граф-аналітичну модель дослідження станів системи електробезпеки від дії електромагнітного поля ліній електропередачі 330-750 кВ [9], що дозволило запропонувати матрицю оцінювання ризиків (МОР) на робочих місцях для визначення рівня ризику професійно обумовленого електротравматизму персоналу, при виконанні технічного обслуговування та ремонту електричних станцій та систем (таблиця 1).

Запропонована МОР містить по вертикалі шість рівнів важкості наслідків дії ЕП ПЧ за ГН 3.3.5-8.6.6.1-2014 та шість рівнів імовірності небезпечної події – по горизонталі: матриця (6×6) табл. 1.

Таблиця 1 – Матриця оцінювання ризиків на робочих місцях при визначенні професійного ризику електротравматизму

0,7–1 (6)	C6	C12	B18	B24	B30	B36
0,3–0,7 (5)	H5	C10	C15	B20	B25	B30
0,05–0,3 (4)	H4	C8	C12	C16	B20	B24
10 ⁻³ –0,05 (3)	H3	H6	C9	C12	C15	B18
10 ⁻⁶ –10 ⁻³ (2)	H2	H4	H6	C8	C10	C12
0–10 ⁻⁶ (1)	H1	H2	H3	H4	H5	C6
Частота в рік ↑	2 (1)	3.1 (2)	3.2 (3)	3.3 (4)	3.4 (5)	4 (6)
	→ Наслідки					

У такій матриці виділено 36 різновидів ризику у вигляді значень ризику для бінарних груп "ймовірність нещасного випадку – важкість травматичної події від дії електричної енергії". Така інформація дає підставу для об'єктивного судження про міру загрози, що забезпечує більш адресність вибору профілактичних заходів з електробезпеки в електроустановках НВН.

Числовий приклад, який використовується в практиці щодо опису ймовірності небажаного наслідку (шість рівнів ймовірності небезпечної події по горизонталі), обрано за [5].

Кожному рівню важкості наслідків уздовж вертикальної осі і кожному рівню ймовірності уздовж горизонтальної осі (табл. 1) присвоюють рангові оцінки 1, 2, 3, 4, 5, 6, яким відповідають значення важкості наслідків і ймовірності настання події згідно з описом певної ситуації (за сценарієм) і якісної характеристики частоти події (ранжування сценаріїв).

Віднесення умов праці до того чи іншого класу шкідливості та небезпечності при дії електричного поля промислової частоти пропонується здійснювати, відповідно до [10], за табл. 2 залежно від величини перевищення гранично допустимого рівня електричної енергії (раз), що поглинена тілом людини, яка знаходиться в ЕП ПЧ.

Таблиця 2 – Приклад оцінювання ймовірності реалізації загрози від дії електричної енергії з урахуванням гігієнічної класифікації праці та за запропонованим виразом пробіт-функції

Фактор виробничого середовища	Клас умов праці					
	Допустимий 2	Шкідливий 3 (ступені)				Небезпечний 4
		3.1	3.2	3.3	3.4	
Електрична енергія ПЧ (50 Гц)	Значення параметрів ризику електротравматизму за методикою, що пропонується					
	≤ ГДР	1,1–3	3–5	5–10	10–40	>40
	Ймовірність реалізації загрози	0,0007–0,04	0,04–0,08	0,08–0,2	0,2–0,54	0,54–1

Зазначені у табл. 2 параметри ймовірності наслідків ризику електротравматизму R від дії електричної енергії W_h , що поглинається тілом працівника отримані, відповідно до [10], за виразом пробіт-функції електротравматизму (2)

$$R = 2,5 + 0,7 \cdot \ln(W_{h,}/W_{h,dop.}), \quad (2)$$

де $W_{h,dop.}$ – допустиме значення поглинутої енергії промислової частоти для працівника, який знаходиться в ЕП ПЧ.

На основі комбінованого підходу, з урахуванням реальних параметрів людини, напруги дотику та струмів, що проходять через тіло працівника, діючих санітарно-гігієнічних норм, шляхом поєднання числового методу оцінювання допустимого рівня електричної потужності та часу перебування працівника під впливом ЕП ПЧ, відповідно до [10], отримана математична модель визначення значення допустимої електричної енергії для тіла працівника середньої маси, яка дозволила обґрунтувати кількісну величину гранично допустимого значення електричної енергії, що поглинається тілом працівника, при взаємодії з електроустановками НВН. Значення гранично допустимої енергії для тіла працівника в цьому випадку, відповідно до прикладу розрахунку, дорівнює 0,36 Дж.

При визначенні індивідуального ризику у вираз для допустимої енергії вводиться поправковий коефіцієнт k , який визначається, відповідно до [11], як

$$k = \frac{m_h \cdot 1.7^2}{a_h^2 \cdot 71.9}, \quad (3)$$

де m_h , a_h – відповідно маса та зріст конкретної людини, яка знаходиться в ЕП ПЧ.

Після визначення рівня передбачуваного наслідку за табл. 2 і рівня вірогідності (передбачуваної частоти) величина ризику відповідно до МОР (табл. 1) визначається шляхом множення номера рядка і номера стовпця відповідно до визначення ризику.

Величина ризику, яка визначається за МОР, змінюється від 1 до 36. На основі зіставлення всіх рівнів наслідків та ймовірностей з відомими з практики наслідками за МОР, ризики в залежності від величини поділяються на низькі (1–5), середні (6–16) та високі (17–36). Таким чином, результат оцінювання ризику професійного захворювання від дії ЕП ПЧ за табл. 2 полягає у визначенні величини та міри ризику:

- низький (Н): H1; H2; H3; H4; H5;
- середній (С): C6; C8; C9; C10; C12; C15; C16;
- високий (В): B18; B20; B25; B30; B36.

В залежності від ступеня ризику для МОР повинні передбачатися черговість та час проведення заходів та дії щодо зниження ризику. Так, при великих значеннях ризику від 18–36, необхідне негайне втручання, зменшення ризику обов'язкове, при середньому ризику від 6–16 вимагатиметься зниження ризику до мінімально можливого в установленій термін, і при низьких значеннях від 3–5 спеціальні заходи щодо зниження ризику не потрібні, але його все ж потрібно

контролювати для певної групи робітників (працівників, які мають значний стаж роботи в електроустановках НВН та ін.) потребують додаткового захисту. Низький рівень ризику 1–2 спеціальних заходів не потребує.

Для захисту людини від дії електромагнітних випромінювань застосовують різні заходи і засоби захисту: час, відстань, екранування, зменшення випромінювання безпосередньо в самому джерелі випромінювання, екранування робочих місць, засоби індивідуального захисту.

Прикладом реалізації системи оперативного управління системою електробезпеки є використання розробленого за участю співробітників ВНТУ захисного одягу з пристроєм контролю його захисних властивостей для працівника, що знаходиться безпосередньо на проводі повітряної лінії НВН під напругою [11].

Висновки. З наведеного матеріалу можна зробити висновок, що запропонований комбінований підхід (враховує: системний, ризик-орієнтовний та енергетичний підходи) та побудована на його основі матриця оцінювання ризику електротравматизму дали змогу проводити контроль та оцінювання показників професійного ризику захворювання персоналу від дії електричної енергії та обґрунтовувати вибір заходів та засобів захисту персоналу щодо мінімізації ризику електротравматизму.

Список використаних джерел

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 року [Електронний ресурс]: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 р. N 145-р. – Режим доступу: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/FIN38530.html

2. Кульматицкий О. И. Безопасность линий электропередачи / О. И. Кульматицкий, В. М. Кутин. – К.: Техніка. 1991. – 112 с.

3. Измеров Н. Ф. Физические факторы производственной и природной среды. Гигиеническая оценка и контроль : учеб. пособ. / Н. Ф. Измеров, Г. А. Суворов. – М.: Медицина, 2003. – 560 с.

4. Довбыш В. М. Электромагнитная безопасность элементов энергетических систем: монография / В. М. Довбыш, М. Ю. Маслов, Ю. М. Сподобаев. – Самара: ООО ИПК "Содружество", 2009. – 198 с.

5. Кальки Валдис. Основные направления оценки рисков рабочей среды / Валдис Кальки, Имант Кристиньш, Жения Роя. – Рига: SIA "Jelgavas tipografija", 2005. – 73 с.

6. Никольский О. К. Новый взгляд на техногенную безопасность в контексте теории оптимизации и риска / О. К. Никольский, Т. В. Ерёмкина, П. И. Семичевский // Вестник Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова. – 2009. – № 4. – С. 20-25.

7. Бондаренко В. О Системний підхід передпроектної оцінки повітряних ліній в умовах ринкових відносин: монографія / В. О. Бондаренко, М. М. Черемісін, В. В. Черкашина. – Харків: "Факт", 2013. – 259 с.

8. Бондаренко Є. А. Методи аналізу та оцінювання ризику електротравматизму / Є. А. Бондаренко //

Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – № 2. – С. 52-56.

9. Бондаренко Є. А. Модель дослідження станів системи електробезпеки від дії електромагнітного поля ліній електропередачі 330-750 кВ / Є. А. Бондаренко, В. М. Кутін, О. В. Остапчук // Вісник ХНТУ сільськогосподарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 175. "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – Харків: ХНТУСГ, 2016. – С. 40-42.

10. Bondarenko Y. A. Evaluation of the risk of occupation a diseases caused by electromagnetic field generated by extra-highvoltage electric installations // Y. Bondarenko, V. Kutin, M. Kutina, A. Mussabekova, K. Gromaszek // SMAILOVA3PRZEGLADELEKTROT ECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 93 NR 5. – 2017.– P. 118–121.

11. Бондаренко Є. А. Удосконалення методу забезпечення електробезпеки під час виконання робіт на струмовідних частинах електроустановок надвисоких класів напруги / Є. А. Бондаренко, В. М. Кутін // НТУУ "КПІ". "ЕНЕРГЕТИКА: економіка, технології, екологія". – 2014. – № 4 (38). – С. 26–34.

Анотація

УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И СИСТЕМ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ РИСКА ЭЛЕКТРОТРАВМАТИЗМА

Бондаренко Е. А., Кушнир Д.

Предложена методология комбинированного подхода для усовершенствования системы электробезопасности персонала электрических станций и систем, которая позволила проводить контроль и оценку показателей профессионального риска персонала от воздействия электрической энергии и обосновывать выбор средств защиты для минимизации риска электротравматизма.

Abstract

MANAGEMENT OF SYSTEM OF THE ELECTROSECURITY OF THE PERSONNEL OF THE POWER PLANTS END SYSTEMS FOR MINIMIZATION OF RISK OF THE ELECTROTRAUMATISM

Y. Bondarenko, D. Kushnir

The methodology of the combined approach for improvement of system of an electrosecurity of the personnel of power plants and systems which has allowed to spend the control and an assessment of parameters of a professional risk of the personnel over influence of electric energy is offered and to prove a choice of means of protection for minimization of risk of an electrotraumatism.