

УДК 621.3:614.8

Є. А. Бондаренко, канд. техн. наук, доц.

МЕТОДИ АНАЛІЗУ ТА ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ ЕЛЕКТРОТРАВМАТИЗМУ

Проаналізовано основні методи аналізу та оцінювання ризику травматизму; запропоновано нові підходи оцінювання та аналізу ризику електротравматизму в електроустановках, які базуються на енергоентропійній концепції електробезпеки, що дає можливість удосконалити систему захисту людини в електроустановках.

Вступ

За оцінками Міжнародного бюро праці щорічно нещасні випадки на виробництві і професійні захворювання забирають життя приблизно 2 млн чоловік і обходяться глобальній економіці в 1,25 трлн доларів США. Статистичні дані Міжнародної Організації Праці (МОП) свідчать, що 4 % світового валового продукту втрачається внаслідок нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань [1].

Згідно з багаторічними статистичними даними електротравми в загальному виробничому травматизмі складають близько 1 %, а в смертельному — 15 % і більше, так, наприклад, кількість нещасних випадків в електроенергетичній галузі становить близько 30 % [2]. Останнє свідчить про тяжкість електротравм, в цілому, про значні етично-моральні та економічні проблеми особи, сім'ї, суспільства, пов'язані з електротравматизмом.

З вищезазначеного випливає, вирішення проблеми удосконалення захисту людей, які взаємодіють з електроустановками, винятково важливо для розвитку країни. По суті воно зводиться до створення ефективної системи безпеки електроустановок для попередження електротравматизму, яка базується на нормативно-правовому, науковому й технологічному забезпеченні.

Вимога абсолютної безпеки, що панувала у радянському суспільстві, навряд чи була виправдана, оскільки, з одного боку, будь-який вид людської діяльності носить імовірнісний характер і в силу цього пов'язаний з деяким початковим ризиком. З іншого боку, вимога повного виключення ризику аварій, загибелі людей приводить до абсурду — необхідності відмови від електрики, транспорту й багатьох інших породжень технічного прогресу. Ризик у сучасному житті принципово неусувний, й абсолютна безпека неможлива в жодній сфері людської діяльності. Тому для вирішення проблеми електротравматизму необхідне нове теоретичне обґрунтування на основі нового міждисциплінарного напрямлення — аналізу ризику, яке б дозволило вибирати оптимальний комплекс засобів та заходів для мінімізації ризику електротравматизму на різних ієрархічних рівнях.

Результати дослідження

У другій половині XX століття почався інтенсивний розвиток загальної теорії ризику і безпеки, який продовжується в наш час [2—5]. Історично ця теорія виникла досить давно і спочатку була пов'язана з розвитком мореплавання, зростанням міських поселень. Вже тоді були спроби оцінити ризики втрати корабля у разі корабельної аварії, втрати майна у разі пожежі та ін. Саме для таких випадків і сформувався визначення ризиків як добуток відносної частоти загибелі кораблів на їх середню вартість, або частоти пожеж на середню вартість згорілого майна.

Так тривало практично до середини XX століття, коли ризики вивчалися, аналізувалися і оцінювалися, головним чином, для економічних систем, в області економічної теорії (проблеми страхування, інвестування, розвитку бізнесу та ін.) [6—8].

Проте, в другій половині XX століття з'ясувалося, що методологія оцінювання ризику може бути корисна під час аналізу і забезпечення безпеки практично будь-яких систем (соціальних, технічних, біологічних, екологічних і ін.).

Важливість розвитку національних програм, що базуються на принципах оцінки професійних ризиків і системного управління ризиками, підкреслюється Конвенцією 187 та Рекомендаціями 197, прийнятими Міжнародною організацією праці в 2006 році [9].

У липні 2007 р. затверджено міжнародний стандарт OHSAS 18001:2007 «Системи менеджменту

професійного здоров'я і безпеки — Вимоги» [10].

Для організацій, що впроваджують і підтримують цей стандарт, на перший план виступають питання ідентифікації небезпек різних видів діяльності, оцінювання і управління відповідними ризиками в галузі професійного здоров'я і безпеки (OHSAS). Забезпечення безпеки виробничої діяльності розглядається керівниками таких організацій як пріоритетна або рівнозначна мета поряд з економічними, екологічними та іншими завданнями.

Для оцінювання ризику використовують як якісні, так і кількісні показники. В галузі OHSAS ризик R у найзагальнішому вигляді є показником кількісної міри небезпеки або несприятливої події (нещасного випадку, професійного захворювання) і для випадку електротравматизму буде визначатися як добуток двох функцій: функції частоти (вірогідності) появи небезпечної події Q (виникнення електробезпечної ситуації) і функції міри очікуваного збитку Z (важкість наслідків електротравми). На практиці прийнято оперувати детермінованими значеннями Q і Z . Тоді ризик розглядається як функція $R = f(Q, Z)$ і зазвичай записується у вигляді формули

$$R = Q \cdot Z.$$

Спрощеним виразом для кількісного оцінювання ризику користуються, якщо міра наслідків Z несприятливої події є чітко визначеною (однорозмірний вихід, збитки, шкода). Тоді під час розрахунків і порівняння цих однокомпонентних за наслідками подій їх можна подавати у вигляді лише значень частоти (повторюваності у певні проміжки часу), або вірогідності настання такої однозначно визначеної за наслідками несприятливої події, інтерпретуючи ці значення як значення ризиків. До таких значень відносяться показники, що знайшли широке розповсюдження в охороні праці: коефіцієнт частоти нещасних випадків зі смертельним наслідком на 1000 зайнятих робітників [2].

Концептуальні положення щодо теорії ризику викладені в [4, 5, 7]. Більшість цих робіт стосується небезпечних виробництв хімічного та ядерного профілю.

Оцінюючи небезпеку, потрібно пам'ятати, що поняття «ризик» — у край багатозначне і вживається в таких характерних контекстах: індивідуального, групового, соціального, виробничого та професіонального ризиків [2, 3].

Індивідуальний ризик [3] — частота ураження окремого індивідуума в результаті впливу досліджуваних факторів небезпеки.

Груповий ризик [2, 3] — частота появи травмованих або потерпілих, що вибрана із загальної групи за певною ознакою (професія, вік, стать та ін.), у результаті дії можливих небезпек за певний період часу.

Виробничий ризик [2] — це ймовірність ушкодження життя і здоров'я працівника під час виконання ним трудових обов'язків.

Професіональний ризик [2] — це величина ймовірності порушення (ушкодження) здоров'я з урахуванням тяжкості наслідків у результаті несприятливого впливу факторів виробничого середовища.

Аналіз літературних джерел показав, що наразі немає єдиної методології, яка регулює порядок проведення оцінювання ризику в електроустановках. Відсутній системний підхід до аналізу й оцінювання ризику, який би найповніше відображав реальні механізми виникнення й розвитку електротравм у разі взаємодії людини з електроустановками. Публікації з оцінювання та аналізу ризику електротравматизму [11—13] відрізняються суперечністю факторів дії електрики, точністю методів оцінювання ризику, спірністю трактувань, визначень, не містять системних рекомендацій щодо вирішення проблеми електробезпеки, що неминуче при виникненні і розвитку нових теорій.

Аналіз ризику травматизму в електроустановках являє собою відносно самостійну область досліджень, у рамках якої можна виділити два основних підходи.

У рамках першого підходу аналізу ризиків електроустановки О. К. Нікольський [13] пропонує такі напрямки досліджень:

- вимірювання ризику (сприйняття його людьми, способи його кількісного визначення);
- оптимізація безпеки складних технічних систем, включаючи визначення припустимого рівня ризику (установлення стандартів), аналіз ризику людино-машинної взаємодії, розробка організаційних заходів і технічних засобів, які б забезпечили допустиму взаємодію людини та техніки.

Автор статті пропонує дещо інший підхід до диференціації областей аналізу ризику в електроустановках. Для успішного вирішення проблеми забезпечення електробезпеки людини у виробничому середовищі пропонується прийняття єдиної науково обґрунтованої методології на основі системного аналізу, що базується на об'єктивних уявленнях про природу та закономірності при-

чин травматизму і професійних захворювань, яка обґрунтовує основні принципи теоретичних досліджень щодо аналізу ризику електротравматизму (аналізу можливості небезпечного розвитку подій в сукупності з небажаними для людини наслідками).

Такою методологією, відповідно до [14], є енергоентропійна концепція електробезпеки. Суть її полягає в об'єктивному прагненні енергетичних потенціалів до вирівнювання, з однієї сторони, і протидії різних захисних механізмів їх можливим руйнівним наслідкам — з іншої. Справа в тому, що ентропія будь-якої системи обернено пропорційна величині накопиченої в ній енергії, тобто тій, яка здатна до подальших перетворень.

Відповідно до [14] енергоентропійна концепція електробезпеки може бути подана такими твердженнями:

1. Функціонування системи «електроустановка—людина—середовище» не забезпечує абсолютну безпеку, оскільки потенційна небезпека ураження людини електричною енергією має прихований, неявний характер за певних умов;

2. Для забезпечення безпечних умов взаємодії людини з електроустановками в певному середовищі раптова, несанкціонована дія електричної енергії з електротехнічних систем на людину не має перевищувати граничних значень;

3. Гранично допустимі значення електричної енергії, що поглинається тілом людини, мають бути встановлені з урахуванням параметрів конкретної людини, граничних значень напруги дотику, струму, що протікає через тіло людини, роду, частоти, та часу дії струму;

4. Дія електричної енергії на людину має бути обмежена в просторі та часі;

5. Підвищити рівень електробезпеки людини, яка взаємодіє з електроустановками, можна шляхом усунення ланцюга передумов появи електротравм: помилкові і несанкціоновані дії персоналу; погана професійна підготовка; несправності і відмови електроустаткування (низька надійність); несподівані або такі, що перевищують допустимі межі зовнішні дії (агресивний вплив середовища; знос, старіння устаткування) і т. п.

Перераховані напрямки якоюсь мірою відображають еволюцію підходів до аналізу ризику, в області яких спочатку розроблялися інженерні і медичні аспекти дослідження, а потім — соціально-психологічні аспекти проблеми.

У рамках перерахованих напрямків автором статті виділено низку підходів і методів оцінювання та аналізу ризику травматизму, які наведені в таблиці.

Основні підходи та методи оцінювання та аналізу ризику травматизму

Напрямок досліджень	Методологічні підходи	Конкретні методи
Оцінювання ризику	інженерний	дерева відмов, дерева подій
	модельний	числові методи, доза—ефект
	експертний	експертні оцінки, матриця «вірогідність небезпеки—школа»
	соціологічний	метод анкетування, статистичного аналізу, соціологічного опитування
Аналіз безпеки складних технічних систем	мінімізація ризику на стадії проектування: вибір та розробка нової системи	числові методи математичного програмування, економічний аналіз (критерій оптимальності—мінімум витрат), багатокритеріальний аналіз «витрати—вигода»
	мінімізація існуючого ризику: оптимізація людино-машинної взаємодії	ергономічні методи, метод експертних оцінювань
	створення систем із внутрішньовластивою безпекою	дерева відмов, дерева подій

Існують чотири різних підходи до оцінювання ризику.

Перший — інженерний. Він опирається на статистику поломок і аварій, на ймовірнісний аналіз безпеки: побудова й розрахунок так званих дерев подій і дерев відмов; процес заснований на орієнтованих графах. За допомогою перших передбачають, що може розвинути та або інша відмова техніки, а дерева подій, навпаки, допомагають простежити всі причини, які здатні викликати якісь небажані явища. Коли дерева побудовані, розраховується ймовірність реалізації кожного зі сценаріїв (кожної галузі), а потім — загальна ймовірність аварії на об'єкті.

Другий підхід, модельний, — побудова моделей впливу шкідливих факторів на людину й навколишнє середовище. У багатьох видах життєдіяльності ризик взагалі можна порівняти не з можливими збитками, а з показниками, що визначають певний вид діяльності, наприклад, з величиною електричного струму, напруги, кількістю отриманого радіаційного опромінення, з характеристи-

ками механічних коливань, масою хімічно небезпечних речовин, що потрапили в організм. Для цього випадку актуальним є принцип: чим ризикуємо, те і є оцінкою ризику.

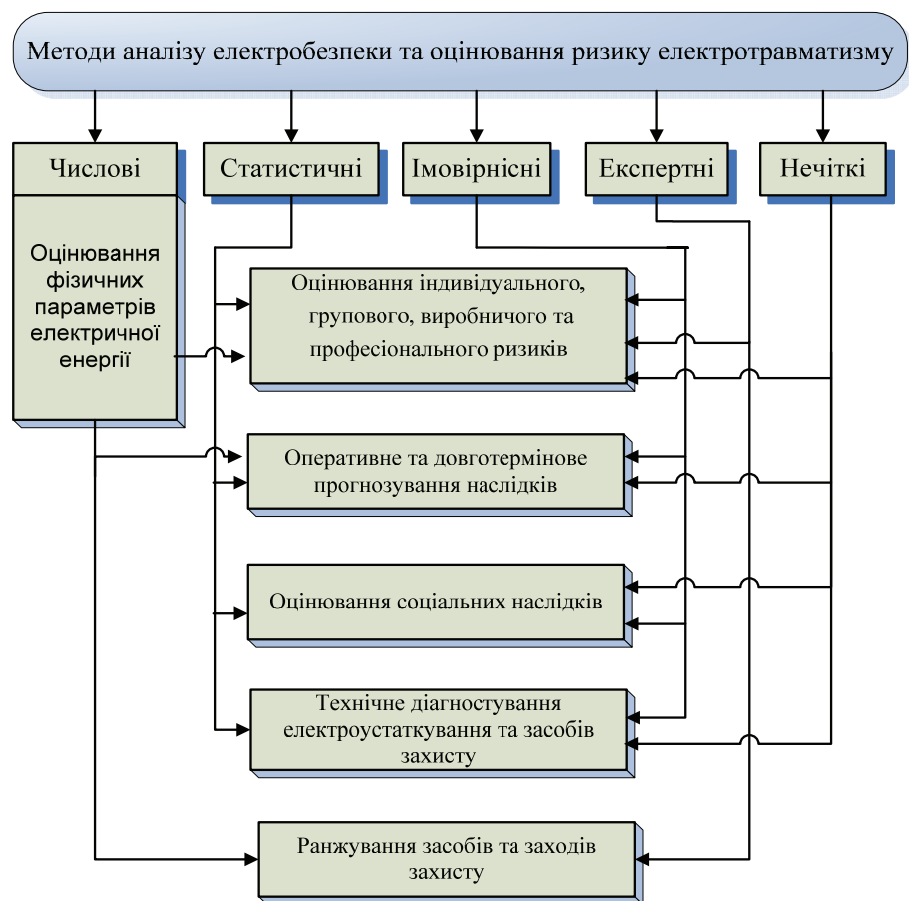
Модельний метод, який ґрунтується на побудові моделей впливу небезпек на окрему людину, соціальні та професійні групи, дозволяє оцінити ризик за небезпечними показниками.

Перші два підходи основані на розрахунках, однак для таких розрахунків далеко не завжди вистачає надійних вихідних даних. У цьому випадку прийнятним є третій підхід — експертний: імовірності різних подій, зв'язок між ними та їх наслідок визначають не обчисленнями, а опитуванням досвідчених експертів. До робіт з експертного оцінювання залучають досвідчених спеціалістів з техніки безпеки, ергономіки, технічної естетики та виробничої санітарії, які випробовують технологічний процес або виріб, а також спеціалізовані науково-дослідні та проектні інститути.

Нарешті, у рамках четвертого підходу — соціологічного — досліджується відношення населення до різних видів ризику, наприклад, за допомогою соціологічних опитувань.

На основі аналізу [2—13] запропоновано класифікацію методів кількісного оцінювання ризику, які можуть бути використані для розв'язання задач аналізу електробезпеки та мінімізації ризику електротравматизму. Ця класифікація показана на рисунку.

Аналізуючи ризик електротравматизму, варто виділити три етапи: перший — ризик неконтрольованого виходу електричної енергії, другий — ризик негативних впливів електричної енергії як у результаті аварії в електроустановці, так і в результаті нормального функціонування електроустановки, третій — ризик віддалених наслідків (впливів) — екологічних і соціальних.



Методи аналізу електробезпеки та кількісного оцінювання ризику електротравматизму

В процесі моделювання фізичних процесів, які визначають ступінь електротравми, повинні враховуватися такі явища:

- вид та режим роботи електроустановки;
- розсіяння електричної енергії в зовнішньому середовищі та тілі людини, яка взаємодіє з електроустановками;
- утворення передумови та виникнення пожежі внаслідок дії електричної енергії;
- дія захисту в небезпечній ситуації.

Крім того, моделюючи розвиток електротравматизму, необхідно оцінювати:

- значення електричної енергії, що передається у навколишній простір у результаті виникнення аварійних ситуацій;
- максимальні розміри небезпечних зон;
- значення напруги дотику, струму, що проходить крізь тіло людини, та часу його дії при небезпечній ситуації з урахуванням допустимої електричної енергії;
- індивідуальні особливості людини, що взаємодіє з електроустановками;
- інтенсивність теплового опромінення;
- оптимальну структуру витрат для управління величиною ризику й зменшення небезпеки до прийнятного рівня із соціальної, економічної й екологічної точки зору.

Граничні значення енергії промислової частоти, яка поглинається тілом людини, та діючі граничні значення напруг дотику, допустима величина струму, що проходить через тіло людини, та тривалість дії електричного струму на людину, визначаються в роботах [15—18].

Висновки

Для удосконалення системи захисту людини в електроустановках та мінімізування ризику електротравматизму запропоновано новий підхід та методи оцінювання та аналізу ризику електротравматизму в електроустановках. Цей підхід та методи базуються на енергоентропійній концепції електробезпеки та спільному використанні «детерміністських» енергетичних критеріїв електробезпеки і «імовірнісних» рекомендацій з аналізу небезпек.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зеркалов Д. В. Охорона праці в галузі: Загальні вимоги : навч. посіб. / Д. В. Зеркалов. — К. : Основа, 2011. — 551 с.
2. Основи охорони праці : підруч. / [К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський В. В. Зацарний та ін.] ; за ред. К. Ткачука і М. Халімовського. — К. : Основа, 2006 — 448 с.
3. Яким Р. С. Безпека життєдіяльності : навч. посіб. / Р. С. Яким. — Львів : Бескид Біт, 2005. — 304 с.
4. Хенли Э. Д. Надежность технических систем и оценка риска / Э. Д. Хенли, Х. Кумamoto ; пер. с англ. — М. : Машиностроение, 1984. — 528 с.
5. Маршалл В. Основные опасности химических производств / В. Маршалл ; пер. с англ. — М. : Мир, 1989. — 672 с.
6. Соложенцев Е. Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике. — 2-е изд. / Е. Д. Соложенцев. — СПб. : Издательский дом «Бизнес-пресса». — 2006. — 530 с.
7. Шапкин А. С. Теория риска и моделирование рискованных ситуаций : учеб. / А. С. Шапкин, В. А. Шапкин. — М. : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°». 2005. — 880 с.
8. Шоломицкий А. Г. Теория риска. Выбор при неопределенности и моделирование риска : учеб. пос. / А. Г. Шоломицкий. — М. : Издательский дом ГУ ВШЭ. 2005. — 880 с.
9. Організатору проведення всемирного дня охорони труда : Методические рекомендации и информационные материалы / МОТ субрегиональное бюро для стран восточной Европы и центральной Азии. — М., 2007. — 12 с.
10. OHSAS 18001:2007. Occupational health and safety management systems — Requirements.
11. Рижков В. Г. Застосування ризик-орієнтовного підходу для аналізу електротравматизму на металургійних підприємствах / В. Г. Рижков, О. В. Новошорова // Металургія : зб. наук. праць ЗДІА. — Запоріжжя. — 2011. — Вип. 23. — С. 180—186.
12. Щуцкий В. И. Вероятностно-статистическая модель для расчета параметров и показателей электробезопасности при воздействии тока частотой 50 Гц / В. И. Щуцкий, В. В. Корнилюк // Энергетика (Изв. высш. учебн. заведений). — 1990. — № 4. — С. 26—32.
13. 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.
14. Бондаренко С. А. Енергоентропійна концепція електробезпеки / С. А. Бондаренко // Вісник Вінницького політехнічного інституту — 2012. — № 4. — С. 136—138. — ISSN 1997-9266.
15. Бондаренко С. А. Граничнодопустимі значення напруг дотику та струмів промислової частоти / С. А. Бондаренко // Вісник Вінницького політехнічного інституту — 2011. — № 2. — С. 31—34. — ISSN 1997-9266.
16. Бондаренко С. А. Гранично допустимі значення напруг дотику та струмів промислової частоти побутових електроустановок / С. А. Бондаренко // Вісник Вінницького політехнічного інституту — 2012. — № 3. — С. 100—102.
17. Кутін В. М. Санітарно-гігієнічне нормування електромагнітного поля промислової частоти / В. М. Кутін, С. А. Бондаренко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету — 2003. — № 2. — Том 2. — С. 39—40.
18. Bondarenko E. A. Determination technique of overload capacity of contact voltage and currents / E. A. Bondarenko // European Science and Technology : materials of the 2dn International scientific conference, Vol. II, Wiesbaden, Germany, May 9th—10th, 2012. «Bildungszentrum Rodnik e. V.». — P. 189—193. — ISBN 978-3-9811753-7-0.

Рекомендована кафедрою хімії та безпеки життєдіяльності

Стаття надійшла до редакції 11.12.2012
Рекомендована до друку 14.01.2013

Бондаренко Євгеній Аркадійович — доцент кафедри хімії та безпеки життєдіяльності.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця