

БСЛОКОНЬ К.В., к.т.н., доцент
РИЖКОВ В.Г., к.т.н., доцент
МАНІДІНА Є.А., к.т.н.
ТРОЇЦЬКА О.О., к.б.н., ст. наук. співр.
БЕРЕНДА Н.В., к.т.н., доцент

Запорізька державна інженерна академія

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ РИЗИКУ ДЛЯ АНАЛІЗУ І ПРОФІЛАКТИКИ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ

Вступ. За підсумками 2017 року в Україні травмовано на виробництві 4627 людей, у тому числі смертельно – 332, допущено низку резонансних аварій із значними людськими і матеріальними втратами. Загальна кількість нещасних випадків на виробництві збільшилось у порівнянні з 2016 роком на 4,2% (на 199 випадків) [1]. Тому застосування новітніх методів розрахунку ризиків з метою зниження виробничого травматизму є актуальним.

Постановка задачі. В теперішній час при прийнятті рішень щодо безпеки використовуються різні методи розрахунку ризиків. Універсальний і найпоширеніший метод аналізу ризиків – метод побудови «дерева відмов» (ДВ) [2].

Поставлено задачу проаналізувати виробничий травматизм на металургійних підприємствах України на основі побудови «дерева відмов». Оскільки видів і причин травматизму досить багато, вирішено обмежитися електротравматизмом.

Електротравматизм відрізняється від інших видів травмування низкою особливостей:

- небезпека поразки електричним струмом збільшується тим, що людина не може без спеціальних пристроїв виявити напругу дистанційно;
- частка електротравм у загальному виробничому травматизмі відносно мала – 0,5...1,5%, але у травматизмі із смертельними наслідками сягає 40%;
- різке погіршення стану здоров'я потерпілого від електричного удару може спостерігатися через декілька годин, а іноді і днів після нещасного випадку;
- електричний струм спричиняє на організм різноманітний вплив (розрізняють термічну, електролітичну, механічну та біологічну дію струму) і викликає різні види травм: електричний удар, опік (контактний чи дуговий), електричний знак, металізація шкіри, електроофтальмія, механічні пошкодження;
- на сьогоднішній день вважають, що немає абсолютно безпечної напруги та сили струму; є випадки смертельної поразки від напруг, менших ніж 12 В; з іншого боку, іноді потерпілий виживає після дії напруги 60 кВ і вищої. [4].

Результати роботи. Дерево відмов є графічною моделлю різних паралельних і послідовних сполучень відмов (події, пов'язані з виходом з ладу елементів системи, помилками персоналу, неготовністю устаткування), що призводять до реалізації заздалегідь визначеної небажаної події. Таким чином, дерево відмов відображає логічні взаємозв'язки базисних подій, які ведуть до небажаної події, що являє собою «верхню подію» дерева відмов. Схеми ДВ точно визначають логічні комбінації базисних подій, що призводять до верхньої події. ДВ враховують можливі відмови всіх елементів, що складають систему, їхній взаємозв'язок і взаємозалежність, та дозволяють розрахувати імовірність відмови системи на основі відомих характеристик надійності її елементів [3].

Використовуючи статистичні дані [5, 6], побудовано дерево відмов (рис.1), де верхньою, небажаною подією є ураження людини електричним струмом на виробництві протягом року. На цьому ДВ базисними є наступні події:

- A_1 – двофазний дотик до відкритих струмоведучих частин;
- A_2 – доступність відкритих струмоведучих частин;
- A_3 – поява робітника у зоні відкритих струмоведучих частин;
- A_4 – однофазний дотик до відкритих струмоведучих частин;
- A_5 – наявність струмопровідної основи у разі A_4 ;
- A_6 – дотик до відкритих струмоведучих частин під час проведення ремонтних робіт;
- A_7 – помилкове подання напруги;
- A_8 – дотик до неструмоведучих частин установки, що випадково опинилася під напругою;
- A_9 – наявність струмопровідної основи у разі A_8 ;
- A_{10} – пробивання на корпус;
- A_{11} – неспрацьовування чи відсутність захисту (заземлення, занулення, відключення);
- A_{12} – дотик до струмоведучих частин із пошкодженою чи недостатньою ізоляцією;
- A_{13} – пошкодження ізоляції внаслідок старіння;
- A_{14} – механічне, термічне або інше пошкодження ізоляції;
- A_{15} – невірний вибір ізоляції;
- A_{16} – обрив проводу небезпечної напруги на землю;
- A_{17} – неспрацьовування чи відсутність захисту від напруги кроку;
- A_{18} – знаходження робітника у зоні крокової напруги;
- A_{19} – наближення робітника до струмоведучих частин високої напруги;
- A_{20} – утворення електричної дуги.

До подій, що настають внаслідок реалізації базисних подій, слід віднести:

- A_{2-3} – можливість дотику робітника до відкритих струмоведучих частин;
- A_{1-3} – ураження струмом внаслідок двофазного дотику робітника до відкритих струмоведучих частин;
- A_{4-T} – можливість однофазного дотику робітника до відкритих струмоведучих частин;
- A_{1-T} – ураження струмом внаслідок випадкового дотику до відкритих струмоведучих частин;
- A_{6-7} – ураження струмом внаслідок дотику до відкритих струмоведучих частин під час проведення ремонтних робіт;
- A_{1-7} – ураження струмом внаслідок дотику до відкритих струмоведучих частин;
- A_{10-11} – наявність напруги на неструмоведучих частинах;
- A_{8-11} – ураження струмом внаслідок дотику до неструмоведучих частин установки, що випадково опинилася під напругою;
- A_{13-15} – пошкодження електроізоляції внаслідок будь-якої причини;
- A_{12-15} – ураження струмом внаслідок дотику до струмоведучих частин із пошкодженою чи недостатньою ізоляцією;
- A_{16-18} – ураження струмом внаслідок дії крокової напруги;
- A_{19-20} – ураження струмом внаслідок дії електричної дуги.

На підставі аналізу статистичних даних з електротравматизму прийнято значення ймовірності базисних подій, наведені у табл.1. Проведені розрахунки дозволили одержати значення ймовірності небажаної події (ураження людини струмом) $P_y = 10^{-5}$.

Це відповідає реальним цифрам: ймовірність травмування на виробництві в Україні дорівнює приблизно 10^{-3} рік⁻¹, частка електротравм у загальному травматизмі складає 0,5...1,5%, отже ймовірність ураження струмом на виробництві за рік сягає $(0,5...1,5) \cdot 10^{-5}$ рік⁻¹ [4-6].

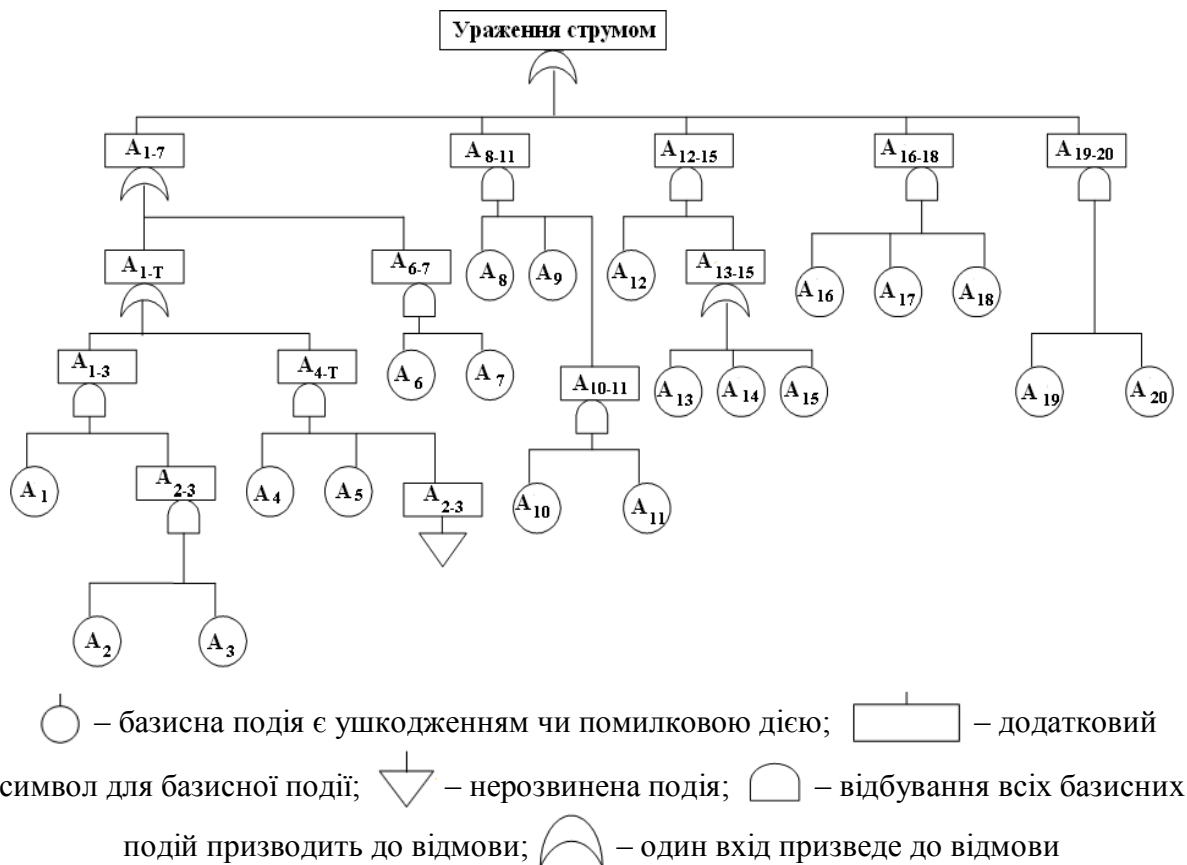


Рисунок 1 – Дерево відмов для аналізу ураження людини струмом

Таблиця 1 – Значення ймовірностей базисних подій P_i для випадку «ураження людини струмом»

Подія	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}
P_i	10^{-3}	$2 \cdot 10^{-3}$	0,10	0,01	0,90	0,95	$4,2 \cdot 10^{-6}$	0,90	0,90	0,10
Подія	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}	A_{15}	A_{16}	A_{17}	A_{18}	A_{19}	A_{20}
P_i	$3 \cdot 10^{-5}$	0,10	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}	0,10	10^{-5}	0,01

Імовірність верхньої події для елемента AND розраховується за формулою добутку ймовірностей [3]:

$$P_{and} = \prod p_i \quad (1)$$

Імовірність верхньої події для елемента OR розраховується за формулою [3]:

$$P_{or} = 1 - \prod (1 - p_i), \quad (2)$$

де p_i – імовірність базових подій.

У табл.2 наведено результати розрахунку мінімальних перетинів – низок базисних подій, які обумовлюють настання верхньої (небажаної) події для всього ДВ.

Мінімальний перетин № 1, що має найбільшу ймовірність, складається з двох базисних подій: дотику до відкритих струмоведучих частин під час проведення ремонтних робіт (A_6) і одночасно помилкового подання напруги (A_7).

Подію A_7 , яку в даному ДВ розглядають як базисну, можна подати як наслідок інших подій: відсутність на рубильнику плаката «не вмикати, працюють люди»; помилкове відключення не тієї установки; невідключення установки перед початком робіт; зловмісне подання напруги.

Таблиця 2 – Результати розрахунків мінімальних перетинів для випадку «ураження струмом»

Номер мінімального перетину	Базисні події, що складають мінімальний перетин	Значення ймовірності мінімального перетину	Вклад мінімального перетину у загальний ризик, %
1	A ₆ , A ₇	$4,0 \cdot 10^{-6}$	40
2	A ₈ , A ₉ , A ₁₀ , A ₁₁	$2,5 \cdot 10^{-6}$	25
3	A ₂ , A ₃ , A ₄ , A ₅	$1,8 \cdot 10^{-6}$	18
4	A ₁₂ , A ₁₃	$5,0 \cdot 10^{-7}$	5
5	A ₁₂ , A ₁₄	$5,0 \cdot 10^{-7}$	5
6	A ₁₂ , A ₁₅	$2,0 \cdot 10^{-7}$	2
7	A ₁ , A ₂ , A ₃	$2,0 \cdot 10^{-7}$	2
8	A ₁₆ , A ₁₇ , A ₁₈	$2,0 \cdot 10^{-7}$	2
9	A ₁₉ , A ₂₀	$1,0 \cdot 10^{-7}$	1

Високий вклад у ризик ураження струмом вносить також мінімальний перетин № 2. Він складається з первинних подій, що обумовлюють ураження струмом внаслідок дотику до неструмоведучих частин установки, які випадково опинилися під напругою (наприклад, замкнення на корпус). Усі нижні базові події цього перетину, крім A₁₁, мають високу ймовірність.

У ризик-орієнтованому підході застосовуються також інші показники значимості базисних подій. Загальна ідея визначення значимості базисних подій для системи полягає у визначенні зміни ймовірності верхньої події за умови, що базисна подія X ніколи не відбудеться (ймовірність $P = 0$) чи є абсолютно ймовірною ($P = 1$).

Існують два основних показники значимості: значимість за Бірнбаумом і значимість за Фусселлом-Веселі.

Значимість за Бірнбаумом події X може визначатися як різниця ймовірності верхньої події $F(1)$ у припущенні, що подія X реалізувалася, і ймовірності верхньої події $F(0)$ у припущенні, що подія X не реалізувалася:

$$B(X) = F(1) - F(0). \quad (3)$$

Показник значимості Фуссела-Веселі події X визначається як відносний внесок події X в ймовірність небажаної (верхньої) події:

$$FV = \frac{F(X) - F(0)}{F(X)}. \quad (4)$$

Результати розрахунку показують щодо ступеня важливості за показниками Бірнбаума та Фуссела-Веселі двох подій – помилкового подання напруги під час виконання ремонтних робіт на струмоведучих частинах (A₇) та неспрацьовування чи відсутність захисту у випадку ураження людини при дотику до неструмоведучих частин, що випадково опинилися під напругою (A₁₁):

$$B(A_7) = 0,95; B(A_{11}) = 0,08;$$

$$FV(A_7) = 0,40; FV(A_{11}) = 0,25.$$

Інші базисні події мають значно меншу важливість.

Важливо забезпечити надійність спрацьовування захисного заземлення чи занулення. Практика показує, що надійність захисту від ураження струмом значно підвищується, якщо паралельно до заземлення (занулення) підключають устрій захисного відк-

лючення (УЗВ). Відповідно до схеми мережі та конкретної ситуації ними можуть бути УЗВ, що реагують на потенціал корпусу, струм замикання на землю, напругу чи струм нульової послідовності, оперативний струм. Наприклад, система захисного заземлення дублюється УЗВ [7]. Беруть ймовірність неспрацьовування захисного заземлення таким, що дорівнює $P_z = 3 \cdot 10^{-5}$ [8], а ймовірність неспрацьовування захисного відключення трохи більшою (так як система УЗВ є більш складною та має більшу кількість елементів), $P_e = 10^{-4}$. Тоді загальна ймовірність неспрацьовування захисту $P_{\Sigma} = P_z \cdot P_e = 3 \cdot 10^{-9}$. Це є дуже малим, нехтовним ризиком. Значення ймовірності мінімального перетину № 2 зменшується більш ніж у десять тисяч разів і складає $2,43 \cdot 10^{-10}$. Вклад мінімального перетину у загальний ризик буде дорівнювати $3,2 \cdot 10^{-3}\%$ замість 25%.

Висновки.

1. Загальний ризик (ймовірність) ураження струмом на виробництві на протязі року складає близько 10^{-5} рік⁻¹. Враховуючи велику смертність електротравм, цей ризик необхідно вважати високим.

2. Найважливішими мінімальними перетинами є перетини, що складаються з подій A_6, A_7 та A_8, A_9, A_{10}, A_{11} . Перша група подій стосується дотику до відкритих струмоведучих частин, друга – дотику до неструмоведучих частин, що випадково опинилися під напругою. Разом ці два перетини дають 65% вкладу у загальний ризик.

3. Визначальними базисними подіями, що здійснюють найбільший внесок у ризик, є події A_7 – помилкове подання напруги (перетин № 1) та A_{11} – неспрацьовування чи відсутність захисту – заземлення, занулення, відключення (перетин № 2). Це зрозуміло, тому що ці базисні події дуже небезпечні – вони з високою ймовірністю ведуть до ураження струмом.

4. Для зниження небезпеки поразки струмом необхідно, в першу чергу, унеможливити помилкове подання напруги або звести цю можливість до мінімуму. Шляхи реалізації – посилення нагляду за виконанням робіт на струмоведучих частинах, за дотриманням системи нарядів-допусків, за проведенням інструктажів. Як технічний захід можна запропонувати блокування апаратів вмикання струму під час проведення ремонтних робіт.

5. Важливо забезпечити надійність спрацьовування захисного заземлення чи занулення. Практика показує, що надійність захисту від ураження струмом значно підвищується, якщо паралельно до заземлення (занулення) підключають пристрій УЗВ. Відповідно до схеми мережі та конкретної ситуації ними можуть бути УЗВ, що реагують на потенціал корпусу, струм замикання на землю, напругу чи струм нульової послідовності, оперативний струм тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. Итоги-2017. Травматизм на производстве. URL: https://www.2000.ua/spectemy/itogi-2017/itogi-2017_-travmatizm-na-proizvodstve.htm. (дата доступу листопад 2018).
2. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування об'єктів підвищеної небезпеки: наказ Міністерства праці та соціальної політики України від 04.12.2012 р. № 637. К.: Основа, 2003. 25с.
3. Бегун В.В., Науменко І.М. Безпека життєдіяльності (забезпечення соціальної, техногенної та природної безпеки). К.: МОНУ, МНС, 2004. 328с.
4. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Энергоиздат, 1984. 448с.
5. Оперативные данные о состоянии производственного травматизма за 2014 г. по сравнению с 2013 г. *Охрана труда*. 2015. №2. С.38.

6. Оперативные данные о состоянии производственного травматизма за 2016 г. по сравнению с 2015 г. *Охрана труда*. 2017. №2. С.38.
7. Бацеливич И.Э., Сидоров И.Ф. Анализ влияния переходных процессов на исход травм. *Машины и механизмы горных работ*, 1988. № 3. С. 13-15.
8. Глазенап М.С., Манойлов В.Е. Методика исследования электротравм. Тенгер – Фрунзе: Изд-во АН Кирг. ССР, 1980. 62 с.

Надійшла до редколегії 18.03.2019.

УДК 612.821:004.514

DOI 10.31319/2519-2884.34.2019.32

ЖУЛЬКОВСЬКИЙ О.О., к.т.н., доцент
КОЗЛОВ Є.Є., магістрант,
ЖУЛЬКОВСЬКА І.І., к.т.н., доцент,
ТРИКІЛО А.І., к.т.н., доцент

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАСОБІВ КОМП'ЮТЕРНОГО ОЦІНЮВАННЯ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНОГО СТАНУ КОРИСТУВАЧА ПК

Вступ. Одним з практико-орієнтованих напрямків психофізіології є діагностика, вимір і корекція функціональних станів людини, оцінка витрачання резервів, що важливо для збереження здоров'я і професійного довголіття працівників [1-3]. Нові підходи для визначення ймовірності виникнення негативних функціональних станів людини в даний час набувають поширення в різних сферах професійної діяльності [4].

На думку більшості дослідників, фізична працездатність є інтегральним показником функціонального стану організму і залежить від морфологічного і функціонального стану основних систем життєзабезпечення і, в першу чергу, від стану серцево-судинної і дихальної систем. У відомих результатах наукових досліджень психофізіологічного стану людини [5] домінує ідея, що дані варіаційної хронорефлексометрії (статистичного аналізу часу простої зорово-моторної реакції) є інтегральним показником працездатності людини. В цій же роботі позначено підходи до вдосконалення методики визначення психологічного та фізіологічного стану людини, а також способи її оптимізації.

Усе більше посилюється інтерес до виявлення зв'язків між факторами життєдіяльності людини, здоров'ям та умовами його праці [6], розробки нових підходів до професійного відбору кадрів. При цьому основні положення в професійному доборі кадрів, які за своїми психофізіологічними якостями найбільшою мірою відповідають обраній професії, залишаються непорушними [7].

Багато дослідників відзначають, що стеження за емоційною напругою людини дозволяє за певних умов прогнозувати можливе погіршення працездатності людини до того, як це сталося. При цьому в якості інформативного показника зміни психофізіологічного стану людини використовуються вегетативні реакції.

Проблема автоматизованого моніторингу оцінки рівня функціональних станів і визначення працездатності фахівців в різних сферах людської діяльності, що піддаються високим психоемоційним та фізичним навантаженням, є актуальною і потребує свого вирішення.

Постановка задачі. Мета даної роботи полягає у створенні принципово нового та затребуваного програмного продукту (ПП) для оцінки й аналізу психофізіологічного стану користувача ПК з урахуванням обмеженої наявності таких засобів на ринку програмного забезпечення (ПЗ) та підвищенні ефективності дослідження психофізіологічного стану користувача ПК.