

## **ВИКОРИСТАННЯ ВИПАДКОВИХ МАРКОВСЬКИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ОЦІНКИ РИЗИКУ ВИНИКНЕННЯ НЕБАЖАНИХ ПОДІЙ НА ВИРОБНИЦТВІ**

**І.О.ТКАЧЕНКО, ас. каф.**

*Харківський національний університет міського господарства імені  
О.М.Бекетова*

*У статті розглядаються основні принципи оцінки ризику виникнення небажаних подій на виробництві, використовуючи теорію випадкових марковських процесів з дискретним числом станів та безперервним часом при збіганні в просторі та часі помилок двох незалежних осіб на прикладі оцінки ризику травмування електрослюсаря при проведенні ремонтних робіт. Ризик, виробничий травматизм, небажана подія, імовірність, марковські процеси,*

Визначення ризику виникнення небажаних подій на виробництві дуже складна для практичного рішення проблема. Тому що при аналізі даних щодо аварійних ситуацій та випадків травмування працівників на виробництві не враховується випадкова природа виникнення подій, складність їх прогнозування в умовах невизначеності та присутність фактора раптовості. Відсутність об'єктивної інформації щодо помилок людини, які призводять до аварії; оцінки існуючих засобів та заходів, що здатні запобігати аварійним ситуаціям, не дозволяють з прийнятною для практичних розрахунків точністю прогнозувати виникнення небажаних подій.

Існуючі в Україні нормативно - правові документи [1-3], що відповідають вимогам Міжнародної організації праці, є основою у вирішенні даної проблеми.

Концепція Загальнодержавної програми поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 2012 – 2016р.р., яка затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 31.08.2011 р. №889-г передбачає сприяння комплексного розв'язання проблем у сфері охорони праці, формуванню сучасного безпечного та здорового виробничого середовища, мінімізації виробничих ризиків.

Важливість розвитку національних програм, які ґрунтуються на принципах оцінки професійних ризиків і системного управління ризиками, підкреслюється Конвенцією про основи, що сприяють безпеки та гігієни праці № 187 та Рекомендаціями №197, прийнятими Міжнародною організацією праці у 2006 році.

Огляд існуючих проблем приведений у багатьох роботах. Так пропозиції щодо підвищення рівня безпеки у електротехнічних комплексах України виконано в [4]. Описані критерії оцінки ступеня ризику для людини при

певному виді діяльності [5-6]. В [7] викладається короткий курс теорії випадкових процесів, основні розділи сучасного стохастичного аналізу. Розглянуто основні поняття теорії надійності, показники надійності та аналітичні залежності між ними, питання надійності програмного та апаратного забезпечення, поняття теорії відновлення, надійність відновлюваних і невідновлюваних технічних пристроїв, структурні схеми надійності, питання оцінки надійності апаратно-програмних комплексів з урахуванням характеристик програмного та інформаційного забезпечення, практичні методи статистичної оцінки надійності [8], описані основи математичних обчислень [9].

Ризик виникнення небажаних подій на виробництві, в тому числі випадків виробничого травматизму, зокрема із смертельними наслідками, можна визначити частотою появи даної події в одиницю часу при заданих умовах і певному виді діяльності людини, або ймовірністю появи її протягом визначеного відрізка часу. Але при цьому не враховуються вплив різноманітних факторів, таких як збіг в просторі та часі помилок двох незалежних осіб.

Тому при прогнозуванні та визначенні ризику виникнення випадків виробничого травматизму доцільно використовувати теорію однорідних марковських процесів з дискретним числом станів і безперервним часом, яка дозволяє встановити залежність ймовірності виникнення випадків виробничого травматизму протягом часу від частоти та тривалості появи працівника в "небезпечній" зоні, частоти появи і тривалості існування загрози для життя працівника, що випадково опинився в "небезпечній" зоні.

Марковські випадкові процеси - процеси без імовірнісних наслідків, статистичні властивості яких в наступні моменти часу залежать тільки від значень процесів в даний момент і не залежать від їх передісторії. Іншими словами можна сказати, що випадковий процес, що протікає в системі, називається марковським, якщо для будь-якого моменту часу імовірнісні характеристики процесу в майбутньому залежать тільки від його стану в даний момент і не залежать від того, коли і як система прийшла в цей стан.

При аналізі даних щодо виробничого травматизму у різних галузях промисловості України було визначено, що одне з перших місць займають електротравми, які в багатьох випадках призводять до втрати працездатності на тривалий термін або до смерті працівника.

У статті наведений приклад визначення імовірності ураження струмом електрослюсаря протягом року при виконанні ним своїх посадових обов'язків з використанням теорії однорідних марковських процесів.

Причини ураження людини електричним струмом різноманітні. В електроустановках напругою до 1000 В до них відносяться: випадковий дотик до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою; попадання під напругу через помилкове вмикання; дотик до не струмоведучих частин електрообладнання, що виявилися під напругою внаслідок ушкодження ізоляції; попадання під крокову напругу та напругу дотику.

Збіг у просторі та часі помилок двох різних людей призводить до електротравми працівника. Наприклад, один працівник – порушив вимоги безпечного виконання робіт, другий – подав напругу на обладнання, що

ремонтуються тощо.

Імовірність виникнення випадку травмування електрослюсаря в продовж часу можна визначити за допомогою формул:

$$F_1(t) = 1 - e^{-H_1 \cdot t}, \quad (1)$$

$$H_1 = 1/\tau_1 \quad (2)$$

де:  $\tau$  - середній час до настання випадку травмування, год;  
 $H$  – частота загибелі працівника при певному виді діяльності.

Дисперсію часу до настання випадку травмування працівника, якщо в початковий момент часу система знаходилась у безпечному стані, визначимо із системи алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (2 & 0 & 0) \\ (0 & 2 & 0) \\ (0 & 0 & 2) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} (\lambda_1 + \lambda_2 & -\lambda_1 & -\lambda_2) \\ (-\mu_1 & \mu_1 + \lambda_2 & 0) \\ (-\mu_2 & 0 & \lambda_1 + \mu_2) \end{bmatrix}^{-1} - \begin{bmatrix} (1 & 0 & 0) \\ (0 & 1 & 0) \\ (0 & 0 & 1) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \tau_1^2 \\ \tau_2^2 \\ \tau_3^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

де:  $\lambda_1 = 1/\bar{d}_1$ ;  $\bar{d}_1$  – середній інтервал часу між появою працівника в "небезпечній" зоні;

$\lambda_2 = 1/\bar{d}_2$ ;  $\bar{d}_2$  – середній інтервал часу між появою несприятливого для працівника фактора;

$\mu_1 = 1/d_1$ ;  $d_1$  – середня тривалість перебування працівника в "небезпечній" зоні;

$\mu_2 = 1/d_2$ ;  $d_2$  – середня тривалість існування несприятливого фактора.

Із системи рівнянь знаходимо:

$$D_1 = \left[ \frac{2 \cdot (\mu_1 + \lambda_2) \cdot (\lambda_1 + \mu_2)}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)} - 1 \right] \cdot \tau_1 + \left[ \frac{2 \cdot (\lambda_1 + \mu_2)}{\lambda_2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)} - 1 \right] \cdot \tau_2 + \left[ \frac{2 \cdot (\mu_1 + \lambda_2)}{\lambda_1 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)} - 1 \right] \cdot \tau_3 - \tau_1^2 \quad (4)$$

В тому випадку, якщо виконується умова:

$$\lambda_i \leq 100 \cdot \mu_i, \quad i = 1, 2 \quad (5)$$

тоді:

$$D_1 = D_2 = D_3 \cong \frac{\mu_1^2 \cdot \mu_2^2}{\lambda_1^2 \cdot \lambda_2^2 \cdot (\mu_1^2 + 2\mu_1 \cdot \mu_2 + \mu_2^2)} \quad (6)$$

У всіх випадках, якщо при розрахунках отримаємо,

$$\tau_1 \cong \sqrt{D_1}, \quad (7)$$

імовірність виникнення випадку травмування електрослюсаря при проведенні ремонтних робіт впродовж часу  $t$  можна оцінити за допомогою формули:

$$F_1(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{1}{\tau_1}\right) \cdot t\right]. \quad (8)$$

Проведення аналізу статистичних даних щодо травматизму електрослюсаря на окремому підприємстві, та вивчення плану робіт за рік, дало можливість визначити:

$\bar{d}_1 = 280$  ч – середній інтервал часу між ремонтами обладнання електрослюсарем впродовж року;

$d_1 = 3$  ч – середній час, протягом якого здійснюється ремонт електрообладнання;

$\bar{d}_2 = 3210$  ч – помилкова подача іншою людиною напруги на обладнання, яке знаходиться на ремонті;

$d_2 = 5$  с – середній час знаходження напруги на струмопровідних частинах електрообладнання, яке знаходиться під напругою.

Використовуючи наведений алгоритм, з урахуванням умови  $d_2 \gg d_1$ , отримуємо:

$$H = \frac{d_1 + d_2}{\bar{d}_1 \cdot \bar{d}_2} = \frac{3}{3210 \cdot 280} = 3,27 \cdot 10^{-6} \quad \text{1/год.}$$

$$F(8760) = 1 - \exp[-3,27 \cdot 10^{-6} \cdot 8760] = 0,029.$$

Отже, ризик загинути протягом року із-за помилкової подачі напруги на обладнання, що ремонтується, складе величину  $2,9 \cdot 10^{-2}$ .

У разі, якщо електрослюсар перед початком ремонтних робіт повісить попереджувальний плакат "Стій, працюють люди!", тоді середній інтервал часу між випадками помилкової подачі напруги на електрообладнання, яке знаходиться в ремонті, збільшиться згідно "експертних оцінок" у 12 разів, тобто  $\bar{d}_2 = 38520$  год., а інтервал часу  $\bar{d}_1$  збільшиться у 5 разів, тобто  $\bar{d}_1 = 1430$  год. Тоді

ризик загинути для електрослюсаря зменшується до величини:

$$H = \frac{3}{38520 \cdot 1430} = 5,45 \cdot 10^{-8} \quad K = \frac{3,27 \cdot 10^{-6}}{5,45 \cdot 10^{-8}} = 60$$

Тобто в цьому випадку ризик загибелі зменшиться у 60 разів.

Отже, нещасний випадок з електрослюсарем при виконанні ним своїх посадових обов'язків представлений, як процес поєднання в просторі і часі двох незалежних випадкових марківських процесів з дискретним числом станів і безперервним часом, кожен з яких має два стани: 0 - безпечне і 1 - небезпечне. Випадковий збіг двох розглянутих процесів в стані 1 характеризує виникнення несприятливої події – травмування працівника.

В статті розглянуті системи лінійних алгебраїчних рівнянь, з допомогою яких було визначено - середній час до першої травми  $\tau$  і дисперсія часу до першої травми  $D$ , якщо система в початковий момент часу перебувала в безпечному стані. Це дозволяє прогнозувати протягом певного інтервалу часу ризик виникнення випадків виробничого травматизму, у тому числі зі смертельними наслідками, для працівників різних професій усіх галузей промисловості.

### Список використаних джерел

1. Закон України Про об'єкти підвищеної небезпеки : за станом на 20.09.2011р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К. : Парлам. вид-во, 2011. – 147с.
2. Методика визначення ризиків та їх прийнятих рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки: за станом на 04.12.2002р./ Міністерство праці та соціальної політики України – К.: Основа, 2003. – 193 с.
3. Про ідентифікацію та декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки: НПАОП 0.00 – 6.21 – 02 – [Чинний від 2002-07-11] – К.: Основа, 2003. –16с.
4. Ковалев А.П. О проблемах оценки безопасности электротехнических объектов / А.П. Ковалев // Электричество. – 1991. – №8. – С. 50-55.
5. Ткаченко И.А. Об оценке степени риска для человека при определенном виде его деятельности/ И.И.Лехтман, И.А.Ткаченко// Матеріали I міжнародної Науково-практичної конференції курсантів, студентів, аспірантів та ад'юнктів «Проблеми та перспективи розвитку охорони праці», Львів – 2013. – С.40-41.
6. Ткаченко И.А. О вероятности травмирования человека в течении времени при нарушении правил дорожного движения/И.И.Лехтман, И.А.Ткаченко// Весник ХНАДУ: наук. - тех. збірник, В. 60. – X., 2013.– С. 77-82.
7. Розанов Ю.А. Введение в теорию случайных процессов. – М.: Наука,

1982. – 128 с.
8. Сандлер Дж. Техника надежности систем. / Дж. Сандлер – М.: Наука, 1966. – 300 с.
9. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВУЗов./ И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев // – М.: Наука, Гл.ред. физ-мат. Лит.,1986 – 554 с.

## **Аннотация**

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ МАРКОВСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕЖЕЛАТЕЛЬНЫХ СОБЫТИЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕ**

Ткаченко И.

*В статье рассматриваются основные принципы оценки риска возникновения нежелательных событий на производстве, используя теорию марковских случайных процессов с дискретным числом состояний и непрерывным временем при совпадении в пространстве и времени ошибок двух независимых людей на примере оценки риска травмирования электрослесаря при проведении ремонтных работ.*

*Риск, производственный травматизм, нежелательное событие, вероятность, марковские процессы.*

## **Abstract**

### **USING RANDOM MARKOV PROCESSES FOR RISK ASSESSMENT UNDESIRABLE EVENTS WORKPLACE**

I. Tkachenko

The article discusses the basic principles of risk assessment of adverse events in production, using the theory of Markov random processes with discrete number of States and continuous time when the coincidence in time and space errors of two independent people on example of evaluation the risk of injuries electrical fitter repair.

Risk, industrial injuries, adverse events, probability, Markov processes.