

ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТЕЙ ДЛЯ ТРАВМ, ОТРИМАНИХ В РЕЗУЛЬТАТІ НЕЩАСНОГО ВИПАДКУ НА ВИРОБНИЦТВІ

На сьогодні існує декілька тлумачень терміна «нешасний випадок на виробництві» (далі – НВ):

нешасний випадок на виробництві – раптове погіршення стану здоров'я чи настання смерті працівника під час виконання ним трудових обов'язків внаслідок короткочасного (тривалістю не довше однієї робочої зміни) впливу небезпечного або шкідливого чинника [1];

нешасний випадок – це обмежена в часі подія або раптовий вплив на працівника небезпечного виробничого фактора чи середовища, що сталися у процесі виконання ним трудових обов'язків, внаслідок яких заподіяно шкоду здоров'ю або настала смерть [2, 3].

За визначенням Міжнародної організації праці (далі – МОП) *нешасний випадок на виробництві* – несподівана та незапланована подія включно з діями умисного, насильницького характеру, яка виникає внаслідок трудової або пов'язаної з нею діяльності, що призводить до травмування, хвороби або смерті [4].

Як бачимо, визначення МОП не обмежує поняття нещасного випадку впливом небезпечного або шкідливого чинника, а пов'язує його з процесом трудової діяльності, що повніше розкриває картину виробничого травматизму.

Виходячи з наведених тлумачень, нещасний випадок на виробництві можна вважати випадковою подією, тобто подією, яка за заданих умов може як відбутись, так і не відбутись, причому існує визначена ймовірність p ($0 \leq p \leq 1$) того, що вона відбудеться за заданих умов [5].

Чинне законодавство України встановлює певну класифікацію страхових випадків [6], частина якої щодо видів нещасних випадків наведена на рис. 1

Класифікуючими ознаками тяжкості травм, отриманих в результаті нещасного випадку на виробництві (далі – травми), є характер отриманих ушкоджень, ускладнення та наслідки, пов'язані з цими ушкодженнями. За ступенем тяжкості травми розподіляються на 2 категорії: тяжкі та легкі [7].

За даними міжнародної статистики найчастіше причиною нещасного випадку на виробництві є «людський фактор», до того ж зрозуміло, що експериментальне дослідження цього процесу неможливе.



Рис. 1. Класифікація нещасного випадку

Отже, для дослідження нещасного випадку як такого, і травм отриманих у результаті його настання, можна використовувати методи математичної статистики та теорії ймовірності.

Проблемним питанням стосовно дослідження такого явища, як «нещасний випадок на виробництві» та виробничого травматизму, присвячено наукові праці та публікації Г. Г. Гогіташвілі [8], Л. П. Присяжної [9], Т. М. Таїрової [10, 11, 12], А. С. Єсипенка [13], С. П. Ткачука [14], О. Є. Кружилка [15] та інших.

Метою цієї статті є з'ясування можливості визначення ймовірностей травм, отриманих в результаті нещасного випадку на виробництві, із застосуванням методів теорії ймовірностей, а саме ланцюгів Маркова.

1. Концепція небезпечної події [16]

Концепцію небезпечної події, а НВ є безумовно небезпечною подією, можна схематично зобразити у вигляді взаємозв'язку «Небезпечна ситуація – Небезпечна подія – Шкода / Збиток» (рис. 2).



Рис. 2. Схема взаємозв'язку «Небезпечна ситуація – Небезпечна подія – Збиток»

У термінах британського стандарту BS OHSAS 18001:2007 [17] цей взаємозв'язок матиме вигляд, поданий на рис. 3.

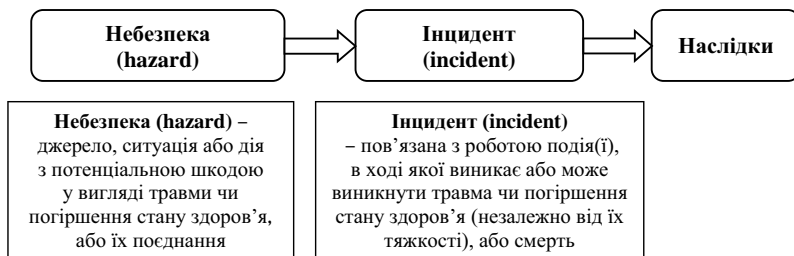


Рис. 3. Схема Концепції небезпечної події у термінах BS OHSAS 18001:2007

2. Загальні відомості з теорії ланцюгів Маркова

Випадковий процес, що відбувається у будь-якій системі S з дискретними станами $S_1, S_2, \dots, S_n, \dots$, називається *марковським*, або випадковим процесом без наслідків, якщо для будь-якого моменту часу t_0 ймовірність кожного зі станів системи у майбутньому (при $t > t_0$) залежить тільки від її стану на сьогодні ($t = t_0$) і не залежить від того, коли і як вона потрапила у цей стан, тобто не залежить від її поведінки у минулому (при $t < t_0$). Іншими словами: майбутнє залежить від минулого тільки через сьогодні.

Ланцюгом Маркова є марковський випадковий процес з дискретним часом, в якому його можливі стани S_1, S_2, \dots можна заздалегідь перерахувати, а перехід зі стану у стан відбувається миттєво (стрибокподібно), але тільки у визначені моменти часу (t_0, t_1, \dots), що називаються кроками процесу.

Випадковий механізм, що викликає зміну стану, визначається матрицею перехідних ймовірностей P з елементами p_{ij} , де $i, j \in S$. Елемент p_{ij} дорівнює ймовірності, з якою система перейде зі стану S_i у стан S_j за одиницю часу. Таким чином, p_{ij} – це умовна ймовірність того, що система буде знаходитись у стані S_j у наступний момент, за умови що у цей момент вона знаходиться у стані S_i . Отже, усі елементи P невід'ємні, але не перевищують 1, і сума усіх елементів у будь-якому рядку дорівнює 1:

$$\begin{aligned} 0 \leq p_{ij} \leq 1 \quad \forall i, j \in S \\ \sum_{j \in S} p_{ij} = 1 \quad \forall i \in S. \end{aligned} \quad (1)$$

Матриця P , що має такі властивості, є стохастичною, тобто ймовірнісною [18].

Ланцюг Маркова також визначається вектором початкових ймовірностей (початковим розподілом), що визначає ймовірності $p(0)_i$ того, що у початковий момент часу t_0 процес знаходився у стані S_i :

$$P(0) = (p(0)_1, \dots, p(0)_n) \quad (2)$$

де n – кількість кроків у системі S .

Марковський ланцюг доцільно зображати у вигляді графа переходів, вершини якого відповідають станам ланцюга, а дуги – переходам між ними. Вага дуги (i, j) , що зв'язує вершини S_i та S_j дорівнюватиме ймовірності p_{ij} переходу з першого стану у другий [19].

Слід відзначити, що особливе місце марковських процесів серед інших випадкових процесів обумовлено такими практичними обставинами:

- для марковських процесів досконало розроблено математичний апарат, який дозволяє вирішувати практичні задачі у різних сферах діяльності (економічній, воєнній, соціальній, інформаційній);
- застосовуючи теорію марковських процесів можна досліджувати динаміку достатньо складних систем.

3. Методика визначення ймовірностей

Для визначення ймовірностей травм, отриманих в результаті НВ, за основу математичної моделі взято частину наведеної на рис. 2 схеми, доповнену розподілом травм за ступенем тяжкості, (рис. 4):

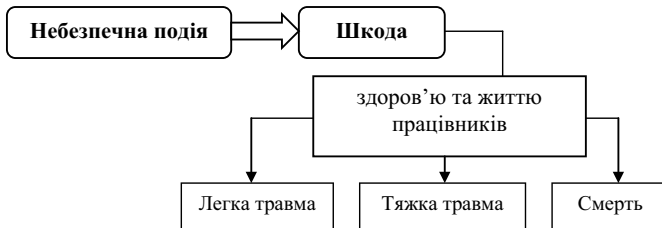
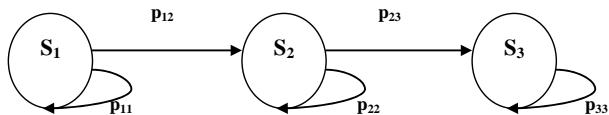


Рис. 4. Основа математичної моделі для визначення ймовірностей травм

Для побудови математичної моделі та подальшого визначення ймовірностей використовується теорія ланцюгів Маркова, а саме некеровані, з дискретним часом, неоднорідні, ергодичні ланцюги Маркова з дискретними станами.

Задано систему, що може перебувати у 3-х станах $(S_i, i = \overline{1,3})$: НВ з легкими наслідками (легка травма) – НВ з важкими наслідками (тяжка травма) – НВ із смертельним наслідком (смерть). Причому ймовірність переходу з одного стану в інший на n -му кроці залежить тільки від попереднього кроку (неоднорідність системи). Ця система визначається як марковський випадковий процес з дискретними станами та дискретним часом (ланцюг Маркова).

Граф переходів заданої системи S_i зображено на рис. 5.



Стани системи: S_1 – легка травма; S_2 – тяжка травма; S_3 – смерть.
 Ймовірності переходу системи S_i : p_{12} – зі стану S_1 у стан S_2 ;
 p_{11} – зі стану S_1 у стан S_1 ;
 p_{23} – зі стану S_2 у стан S_3 ;
 p_{22} – зі стану S_2 у стан S_2 ;
 p_{33} – зі стану S_3 у стан S_3 .

Рис. 5. Граф переходів заданої системи S_i

На кожному кроці система S_i може переходити у будь-який з трьох станів (ергодичність ланцюга Маркова).

Цьому графу (рис. 5), з урахуванням математичних умов (1), відповідає квадратна матриця перехідних ймовірностей у загальному вигляді:

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_{11} & (1-P_{11}) & 0 \\ 0 & P_{22} & (1-P_{22}) \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Складання матриці перехідних ймовірностей та задання вектора початкових ймовірностей здійснюється на підставі статистичних даних про нещасні випадки на виробництві, а саме – за тяжкістю травм, отриманих внаслідок них, за певний проміжок часу.

Якщо $P(0)$ – це вектор початкових ймовірностей, то $P(n)$ – ймовірнісний вектор на кроці n . Значення $P(n+1)$ залежить від $P(n)$. Отже, формула розрахунку ймовірнісного вектора $P(n+1)$ на кроці $(n+1)$ у матричному вигляді така:

$$P(n+1) = P(n) \cdot P. \quad (4)$$

Звідси випливає:

$$P(n) = P(0) \cdot P, \quad (5)$$

де P – матриця перехідних ймовірностей [20].

Ймовірність переходу $P_{ij}(n)$ може бути знайдено за формулою (6), що має назву *рівності Маркова*:

$$p_{ij}(n) = \sum_{r=1}^k p_{ir}(m) \cdot p_{rj}(n-m), \quad (6)$$

де n – кількість кроків у системі S ;

r – проміжний стан між i та j ;

m – кількість кроків, які система має зробити для переходу у проміжний стан r з ймовірністю $p_{ir}(m)$.

Застосовуючи прийоми матричного числення, формулу (6) в загальному вигляді можна записати як:

$$P_n = P_1^n, \quad (7)$$

де P_n – матриця перехідних ймовірностей на n -му кроці;

P_1 – матриця перехідних ймовірностей зі стану у стан за один крок [21].

У теорії ланцюгів Маркова (*теорема про граничну ймовірність*) показано, що в границі, при $n \rightarrow \infty$, ймовірності станів прямують до визначених граничних значень, які задовольняють співвідношенню:

$$P(*) = P(*) \cdot P. \quad (8)$$

З формули (8) стає очевидною така важлива властивість граничних векторів ймовірностей $P(*)$, яка полягає в тому, що вектор $P(*)$ є єдиним і не залежить від вектора початкових ймовірностей $P(0)$ та визначається тільки матрицею перехідних ймовірностей [20].

4. *Визначення ймовірностей травм, отриманих в результаті НВ, які сталися на виробництві машинобудівного комплексу*

Враховуючи статистичні дані про нещасні випадки на виробництві машинобудівного комплексу України за три роки, матриця перехідних ймовірностей (3) матиме такий вигляд:

$$P = \begin{pmatrix} 0,95 & 0,05 & 0 \\ 0 & 0,8 & 0,2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Задаємо значення вектору початкових ймовірностей:

$$P(0) = (0,82; 0,04; 0,14).$$

За формулою (5) визначаємо ймовірності стану системи S на першому кроці:

$$P(1) = (0,82; 0,04; 0,14) \cdot \begin{pmatrix} 0,95 & 0,05 & 0 \\ 0 & 0,8 & 0,2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = (0,779; 0,073; 0,148).$$

За формулою (7) уточнюємо матрицю перехідних ймовірностей для другого кроку:

$$P_2 = \begin{pmatrix} 0,95 & 0,05 & 0 \\ 0 & 0,8 & 0,2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}^2 = \begin{pmatrix} 0,903 & 0,088 & 0,01 \\ 0 & 0,64 & 0,36 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

За формулою (4) визначаємо ймовірності стану системи S на другому кроці:

$$P(2) = (0,779; 0,073; 0,148) \cdot \begin{pmatrix} 0,903 & 0,088 & 0,01 \\ 0 & 0,64 & 0,36 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = (0,703; 0,115; 0,182).$$

Наступні розрахунки виконуються аналогічно другому кроку, з використанням формул (7) та (4), доти, доки не буде отримано граничний вектор ймовірностей, який відповідає умовам (8).

За результатами проведених розрахунків складено таблицю 1.

Таблиця 1

Значення ймовірностей для травм, отриманих у результаті НВ на виробництві машинобудівного комплексу

Номер кроку	Значення ймовірностей		
	Легка травма	Тяжка травма	Смерть
0	0,82	0,04	0,14
1	0,779	0,073	0,148
2	0,703	0,115	0,182
3	0,603	0,14	0,257
4	0,517	0,141	0,342
5	0,421	0,127	0,452
6	0,326	0,104	0,57
7	0,239	0,079	0,682
8	0,167	0,056	0,777
9	0,111	0,037	0,852
10	0,07	0,023	0,907
12	0,042	0,014	0,944
13	0,024	0,008	0,968
14	0,013	0,004	0,983
15	0,007	0,002	0,991
16	0,003	0,001	0,996
17	0,002	0	0,998
18	0,001	0	0,999
19	0	0	1

Висновки

На сьогодні для марковських процесів досконало розроблено математичний апарат, що дозволяє вирішувати практичні задачі у різних сферах діяльності.

У роботі запропоновано методику визначення ймовірності нещасних випадків на виробництві (з урахуванням ступеня тяжкості травм) із застосуванням ланцюгів Маркова з дискретним станом та дискретним часом у системі S , яка, за наявності впливів, має можливість переходити з одного стану в інший.

За результатами проведених розрахунків авторами підтверджено, що при достатньо великій кількості переходів (кроків), системою S досягаються граничні ймовірності станів, представлені граничним вектором ймовірностей. У наведеному прикладі граничні ймовірності було досягнуто за 19 кроків.

Однак запропонований ланцюг Маркова (рис. 5) є неповоротним (тобто якщо система виходить за межі обраної множини станів, то вже не може до неї повернутися) та закінчується поглинаючим станом S_3 (нешасний випадок із смертельним наслідком), а це означає, що випадковий процес, потрапляючи до нього, закінчується.

Таким чином, за допомогою розрахунків доведено, що неповоротний ланцюг Маркова з кінцевим поглинаючим станом не варто використовувати як математичну модель для достовірного визначення ймовірностей.

Список літератури

1. ДСТУ 2293-99 «Охорона праці. Терміни та визначення основних понять».
2. Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності» від 23.09.1999 р. № 1105-XIV.
3. Постанова Кабінету Міністрів України «Деякі питання розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві» від 30.11.2011 р. № 1232.
4. Резолюція Міжнародної організації праці (МОП) «Про статистику виробничого травматизму», прийнята на XVI Міжнародній конференції зі статистики праці у 1998 році.
5. Пустовіт М. Нещасний випадок на виробництві // Бухгалтерський тиждень. – 01.11.2004 р. – № 44 (148). – С. 38. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://it-s.com.ua/doc/ns1.htm>
6. Наказ Міністерства охорони здоров'я України «Про затвердження Класифікатора розподілу травм за ступенем тяжкості» від 04.07.2007 р. № 370
7. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://uk.wikipedia.org/wiki/Випадкова_подія
8. Гогіташвілі Г. Г., Карчевські Є.-Т., Лапін В. М. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами: Навч. посібник. – К.: Знання, 2007. – 367 с.
9. Присяжна Л. П., Переверзева Л. М., Винокуров М. О., Шерстюк О. В., Гречко Т. Ю. Удосконалення методики аналізу виробничого травматизму / [Електронний ресурс]. – Режим доступу :

www.khntusg.com.ua/files/sbornik/vestnik_135/80.pdf

10. Таїрова Т. М. Методологічні засади моніторингу виробничого травматизму. – [Електронне видання] Монографія. – К. : Основа. 2014. – 201 с.

11. Таїрова Т. М., Ткачук К. Н., Цибульська О. В. Методологічні підходи до прогнозування рівня виробничого травматизму // Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки: Зб. матер. Дев'ятої наук.-метод. конф. (з участю студентів), м. Київ, 12-13 листопада 2013 р. – К. : Основа, 2013. – С. 238–242.

12. Таїрова Т. М. Імовірнісний метод прогнозування виробничого травматизму. // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки»: науковий збірник / Черніг. держ. технол. ун-т. – Чернігів: Черніг. держ. технол. ун-т, 2013. – № 1 (63). – С. 215–219.

13. Єсипенко А. С., Сліпачук О. А., Таїрова Т. М. Дослідження деяких аспектів настання раптової смерті працівників на робочому місці // Проблеми охорони праці в Україні: Зб. наук. праць. – К.: ННДПБООП, 2011. – Вип. 21. – С. 29–37.

14. Ткачук С. П. Використання апарату математичного моделювання в системі управління охороною праці // Проблеми охорони праці в Україні : Зб. наук. праць. – К. : ННДІОП, 2000. – Вип. 3. – С. 32–35.

15. Крижилко О. Є. Дослідження впливу виробничих чинників на стан охорони праці методами статистичного аналізу // Проблеми охорони праці в Україні : Зб. наук. праць. – К. : ННДІОП, 2004. – Вип. 8. – С. 20–24.

16. Цопа В. А. Напрямки удосконалення систем менеджменту охорони праці та промислової безпеки на українських підприємствах на основі впровадження стандарту BS OHSAS 18001:2007 та методик управління ризиками згідно серії стандартів ISO 31000 та інших // Удосконалення систем менеджменту охорони праці та промислової безпеки підприємств України за рахунок упровадження управління професійними ризиками згідно з вимогами міжнародних стандартів. Семінар Держгірпромнагляду та ДП «ГНМЦ», м. Київ, 21-23 січня 2014 р. / [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ex.ua/719999866758>.

17. BS OHSAS 18001:2007 «Occupational health and safety management systems - Requirements».

18. Цепи Маркова – частный случай случайного процесса, применительно к изучению состояния рейтинга МИЭФ / [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.hse.ru/data/2011/11/25/1271150849/pdf-версия.pdf.

19. Введение в теорию марковских цепей / [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://rain.ifmo.ru/cat/view.php/theory/processes-automata/markov-2008>.

20. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.armadaboard.com/articles22.htm>

21. Равенство Маркова / [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.stat-mat.com/?p=564.

Дата надходження статті до збірника – 5.03.2014

Рецензент – д-р техн. наук, професор К. Н. Ткачук