

УДК 697.92

В.Г. Рижков, доцент, к.т.н.,

Г.Б. Кожемякін, зав. кафедри, к.т.н., доцент

Є.А. Манідіна, асистент

ВИКОРИСТАННЯ «ДЕРЕВА ПОДІЙ» ДЛЯ АНАЛІЗУ ТРАВМАТИЗМУ ТА АВАРІЙ НА МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Запорізька державна інженерна академія

Виконано аналіз методів аналізу ризиків, що існують в охороні праці. Подано приклади використання побудови «дерева подій» та «дерева помилок» для аналізу наслідків аварій на металургійному підприємстві.

Ключові слова: охорона праці, металургія, аварія, ймовірність, «дерево подій», «дерево помилок», аналіз

Выполнен анализ методов анализа рисков, существующих в охране труда. Приведены примеры использования построения «дерева событий» и «дерева ошибок» для анализа последствий аварий на металлургическом предприятии.

Ключевые слова: охрана труда, металлургия, авария, вероятность, «дерево событий», «дерево ошибок», анализ

The analysis of methods for risks existing in industrial safety measureis has been executed. Examples of the use of construction of «tree of events» and «tree of errors» for the analysis of accidents consequences on a metallurgical plant have been made.

Keywords: industrial safety measureis, metallurgy, accident, probability, «tree of events», «tree of errors», analysis

Вступ. Відповідно до глобальної стратегії Всесвітньої організації охорони здоров'я одним з основних напрямків розвитку охорони праці є уникнення ризиків [1,2], і, в першу чергу, здійснення профілактики травм і професійних захворювань. У зв'язку з цим зростає роль прогнозування ймовірності аварій або нещасних випадків, а також визначення найбільш прийнятних та ефективних шляхів зниження цієї ймовірності.

Аналіз досягнень. У сфері охорони праці для аналізу ризиків застосовують методи експертних оцінок, економічні та ергономічні методи, а також статистичний аналіз.

Оцінку надійності складних систем виконують, як правило, на основі аналітичних методів із залученням дослідних даних про відмови та відновлення елементів зазначених систем. Основою таких методів є теорія випадкових процесів (марківських, напівмарківських та ін.). Так, за допомогою одно-рідних марківських процесів описують еволюцію складних систем з певними обмеженнями, тобто такі величини, як час безвідмовної роботи, час відновлення, частота відмовлення, повинні мати експоненціальний розподіл і не залежати від передісторії [3]. Проте випадкові процеси в охороні праці суттєво виходять за рамки марківських процесів. Спроба відмовитися від припущення про експоненціальний характер розподілу подій призводить до

значних труднощів через необхідність складання системи інтегро-диференційних рівнянь.

Деякі автори намагаються обійти зазначені складнощі шляхом уведення емпіричних коефіцієнтів і додаткових дослідних даних. Так, у роботі [4] подано обґрунтування критерію ризику травмування в транспортно-технологічній системі «оператор-машина-середовище». Відповідно до запропонованої методики для розрахунку ризику необхідно визначити кількість операцій для забезпечення безпеки оператора з урахуванням його кваліфікації, що для реальної системи є дуже складним, а часто і зовсім неможливим.

С. В. Гуров [5] пропонує систему рівнянь для описування ймовірності готовності та простоїв (несправності) технічної системи. Проте на практиці використання цих залежностей є дуже ускладненим через необхідність знання характеристик кожного елементу складної технічної системи.

Значно спрощують аналіз випадкових подій, у тому числі травматизму й аварій, використання методик, заснованих на побудові особливих графів – «дерева відмов», «дерева подій» або «дерева прийняття вирішень». Для такого аналізу потрібне знання ймовірності базових подій і логіки розвитку ситуації. Такі методи більше двадцяти п'яти років використовують у розвинених країнах світу для розрахунків ризиків та ухвалення вирішень у потенційно небезпечних системах: АЕС, авіації, військових об'єктах, металургійних агрегатах [6,7].

Постановка завдання. Розглянути варіанти застосування методів побудови «дерева подій» для аналізу травматизму й аварійності в металургії.

Основна частина. Визначення ймовірності тієї або іншої небажаної події, наприклад нещасного випадку або аварії, є можливим шляхом побудови «дерева відмов» (ДВ) [8], яке є графічною моделлю найрізноманітніших сполучень подій, що завершуються цією небажаною подією. Відмовами можуть бути помилки людей, відмова елементів систем, втручання природних сил і так далі. ДВ допомагає знайти не лише ймовірність небажаної події, але й визначити найбільш небезпечні ланцюги подій, значущість окремих базисних (початкових) подій та, як результат, розробити найбільш ефективні заходи щодо зниження ймовірності небажаної події. Приклад побудови «дерева відмов» для аналізу електричного травматизму в металургії розглянуто у роботі [9].

Інший метод аналізу ризиків – побудова «дерева подій» (ДП) – дозволяє розглянути логіку розвитку небажаної події (аварії, нещасного випадку, стихійного лиха, відмови системи тощо), яка вже відбулася або може статися, тобто так званої події, що ініціює (ІП). Метод засновано на поділенні розвитку наслідків події, що ініціює, за декількома напрямками, що галузяться. Наслідки ІП визначаються кількісно на основі ймовірності реалізації певних шляхів розвитку зазначеної події.

ДП є логічним графом, який визначає безліч можливих кінцевих станів розвитку ІП і включає діаграму станів (власне «граф-дерево») і таблицю, що розташована над нею. Діаграма станів є сполученням горизонтальних і вертикальних ліній, які йдуть зліва направо упродовж послідовно складених елементів таблиці. У лівому крайньому елементі таблиці вказують ІП, у наступних елементах – проміжні події. Розгалуження горизонтальної лінії у межах якого-небудь елемента таблиці означає або здійснення (верхня гілка), або нездійснення (нижня гілка) події, вказаної в осередку. У правій частині діаграми біля відповідних гілок вказують можливі кінцеві стани.

Аналіз за допомогою ДП є методом вивчення ланцюга подій, починаючи з першого з них, які можуть призвести або не призвести до небажаних наслідків. Таким чином, метод є особливо корисним під час вивчення структури існуючої або планованої безпеки (попередження, захист, протидія). Для ефективного аналізу необхідно правильно визначити першу подію (ІП), яка служить об'єктом аналізу.

Розрізняють системні, функціональні, феноменологічні та комбіновані ДП [3]. Перші розглядають варіанти дії систем захисту (спрацювала чи ні), другі – виконання функцій безпеки, треті – варіан-

ти розвитку фізичних явищ, а комбіновані ДП можуть містити всі перераховані варіанти.

Розглянемо феноменологічне ДП для випадку сходу ковша грушовидної форми, наповненого рідким чавуном, з рейок (рис. 1). У верхній частині (у вигляді таблиці) подано ситуації, які можуть мати місце в даному випадку. Нижче розташовано без посередньо граф. Після кожної точки розгалуження вказано ймовірність такого шляху розвитку подій.

Виходячи з ймовірності того або іншого шляху (які беруть із статистичних даних або розраховують) визначають ймовірність настання важких наслідків ІП.

Ймовірність настання тяжких наслідків сходу вищезгаданого ковша з рейок P_{II} розраховують за формулою

$$P_{II} = P_O \cdot P_{TH} + (1 - P_O) \cdot P'_{TH} , \quad (1)$$

де P_O – ймовірність перекидання ковша грушовидної форми з рідким чавуном, P_{TH} – ймовірність важких наслідків за перекиданням зазначеного ковша, P'_{TH} – ймовірність тяжких наслідків у разі, коли ківш з рідким чавуном не перекидається.

Встановлено, що ймовірність тяжких наслідків за швидкості руху ковша не більше ніж 5 км/год. складає $P_{II,1} = 0,130$, за швидкості його руху від 5 до 10 км/год. $P_{II,2} = 0,270$, за швидкості його руху більше ніж 10 км/год. $P_{II,3} = 0,525$.

Тоді підсумкова ймовірність тяжких наслідків ІП, що обчислюють за формулою:

$$P_{II} = \sum_{i=1}^3 P_{vi} \cdot P_{Ti} , \quad (2)$$

де P_{vi} – ймовірність руху ковша з рідким чавуном з певною швидкістю, P_{Ti} – ймовірність тяжких наслідків за цієї швидкості, – складає $P_{II} = 0,212$.

Оскільки знайдена ймовірність тяжких наслідків є високою, слід приймати заходи для її зниження. Однією з них може бути застосування ковшів міксерного типу, що мають велику стійкість. Окрім того, виливання рідкого чавуну навіть під час перекидання пропонованого ковша, через вузьку горловину мікзера, буде у меншій кількості та на меншу відстань, ніж у ковші грушовидної форми.

Розглянемо системне ДП для випадку проривання трубопроводу доменного газу в будівлі газової утилізаційної безкомпресорної турбіни (рис. 2). Тут після кожної точки розгалуження події можуть розвиватися за двома варіантами: спрацювала система захисту чи ні. Якщо ймовірність спрацювання захисту прийняти за P , то ймовірність її неспрацювання становить $(1 - P)$. Ймовірність подієвих подій дорівнює добутку їх ймовірності. Ймовірність того, що станеться та або інша з взає-

мовиключних подій дорівнює сумі ймовірності таких подій. Виходячи з цього виконують розрахунок ймовірності, що будівля газової утилізаційної безкомпресорної турбіни (ГУБТ) не буде пошкодженою під час проривання трубопроводу:

$$P_{II} = \sum_{i=1}^n \prod_{k=1}^m P_{ki} = \sum_{i=1}^n (P_{1i} \cdot P_{2i} \cdot \dots \cdot P_{mi}) , \quad (3)$$

де n – кількість шляхів (сукупність подій), які ведуть до того, що будівлю ГУБТ не буде пошкоджено (у нашому випадку $n = 8$); m – кількість подій

на шляху (у нашому випадку $m = 2...5$); P_{ki} – ймовірність k -ої події на i -му шляху.

Одержують $P_{II} = 0,981$.

Для виявлення напряму роботи щодо підвищення зазначеної ймовірності послідовно збільшують ймовірність спрацювання трьох основних захисних систем у будівлі ГУБТ на однакову величину за незмінного значення ймовірності інших систем. Під час збільшення ймовірності спрацювання автоматичної засувки з 0,90 до 0,95 загальна ймовірність сприятливого результату складає $P' = 0,990$, під час аналогічного збільшення ймовірності спрацювання аварійної вентиляції $P'' = 0,983$.

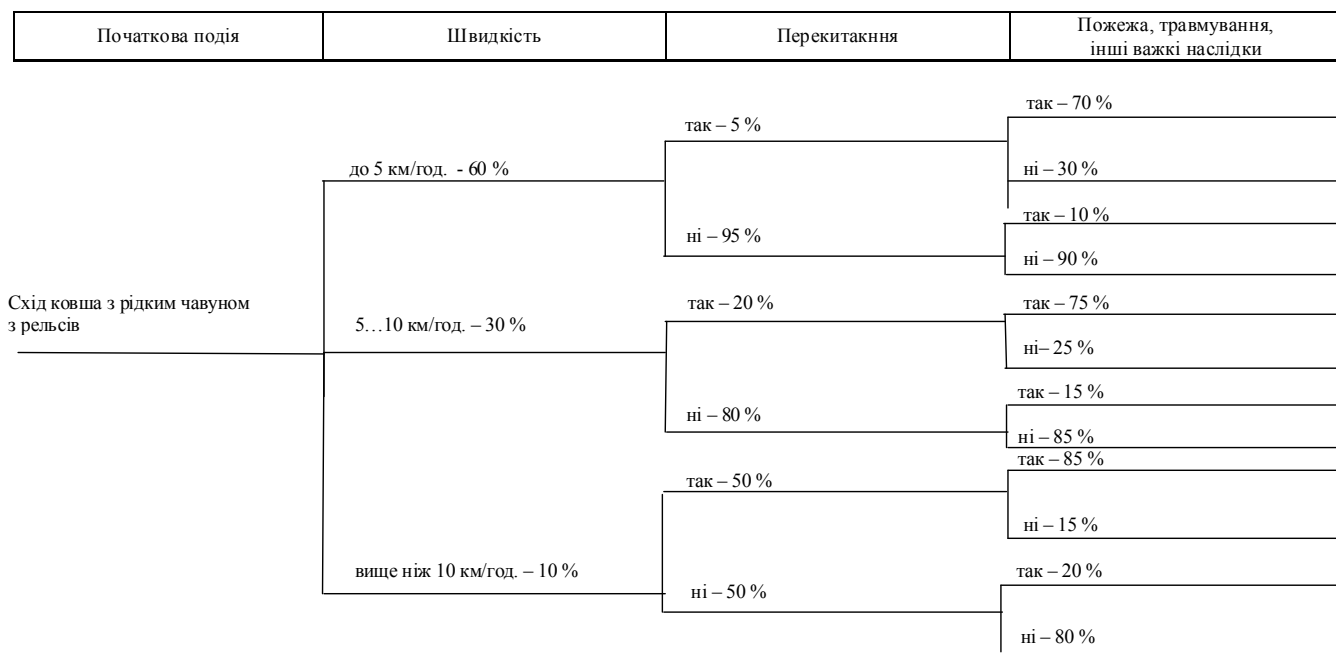


Рисунок 1 – Дерево подій для випадку сходу з рейок чугунової

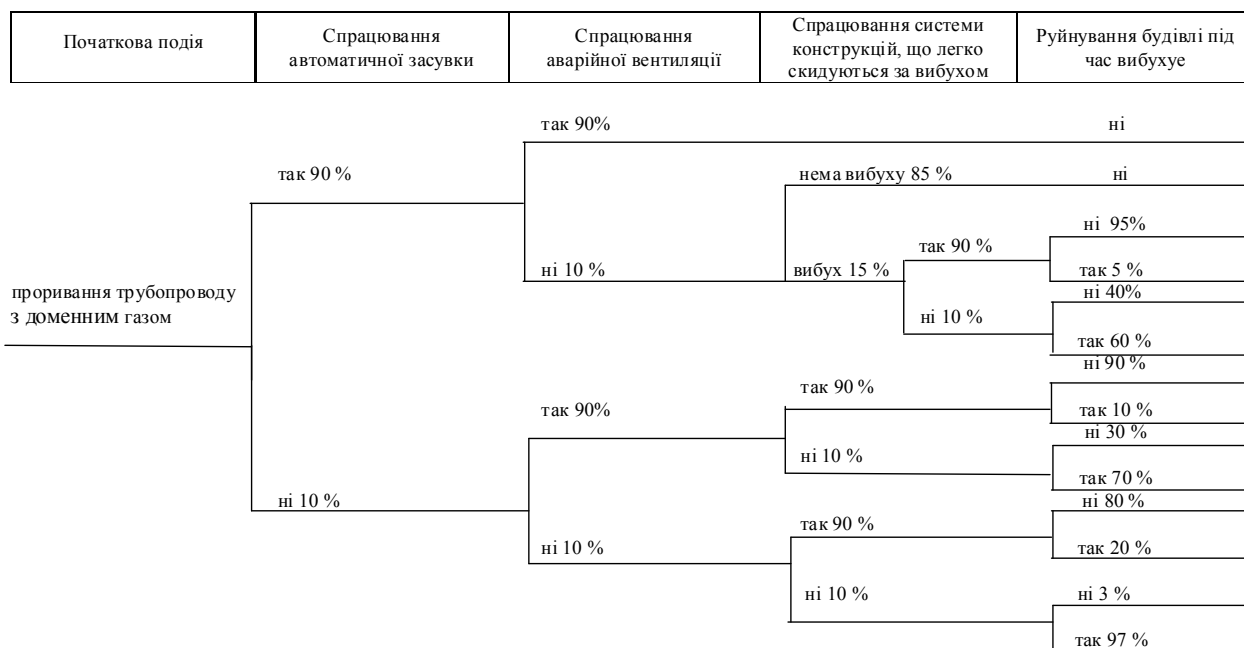


Рисунок 2 – Проривання трубопроводу доменного газу в будівлі газової утилізаційної безкомпресорної турбіни

Далі за аналогічним підвищенням ймовірності спрацювання конструкцій, які легко скидаються сяноє $P''' = 0,985$. Зіставлення значень P' , P'' та P''' дозволяє зробити висновок про доцільність підвищення ефективності спрацювання автоматичної засувки.

Здійснюємо аналіз небезпеки відсутності того або іншого способу захисту шляхом прирівнювання нулю відповідної ймовірності. За відсутності автоматичної засувки ймовірність, що будівлю ГУБТ не буде пошкоджено під час проривання трубопроводу доменного газу, складає $P_1 = 0,828$, за відсутності аварійної вентиляції $P_2 = 0,958$ і за відсутності конструкцій, які легко скидаються, $P_3 = 0,919$. Таким чином найбільшою небезпекою є відсутність автоматичної засувки.

«Дерево прийняття вирішень» або «дерево помилок» можна розглядати як один з різновидів ДП. Тут точки розгалуження показують розвиток подій за двома варіантами – вірний чи помилковий [8]. Як приклад можна розглянути «дерево прийняття вирішень» під час виконання штучного дихання, наприклад як результат поразки робітника електричним струмом (рис. 3).

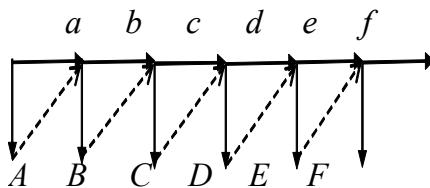


Рисунок 3 – Дерево «прийняття вирішень» під час проведення штучного дихання

За горизонталлю відкладають правильні вирішення (малі букви), вниз щодо вертикалі – невірні вирішення (заголовні букви). Позначають: a – потерпілого укладають на горизонтальну поверхню; b – потерпілому захиляють голову та утримують у такому положенні за допомогою валика під лопатками; c – очищують його ротову порожнину від сторонніх предметів і слизу; d – на рот кладуть сер-

ветку або носову хустку; e – затискують носа у потерпілого; f – здійснюють вдихання повітря з необхідною частотою (12-14 разів на хвилину). Відповідно великі букви означають відсутність цієї дії або її неправильне виконання. Пунктиром позначають можливість повернення на вірний шлях. Якщо знати долю, яку вносить кожна правильна дія у загальну ймовірність сприятливого результату, можна розрахувати відповідні значення для різних шляхів.

Всього різних варіантів послідовності дій $2^6 = 64$. Приймаємо долі, що вносять різні дії у ймовірність сприятливого результату: $P_a = 0,95$; $P_b = 0,97$; $P_c = 0,95$; $P_d = 1,00$; $P_e = 0,95$; $P_f = 0,90$; $P_A = 0,85$; $P_B = 0,40$; $P_C = 0,9$; $P_D = 1,00$; $P_E = 0,70$; $P_F = 0,20$.

Підсумкова ймовірність дорівнює добутку відповідних долей. Надаємо деякі з результатів: $P_{(abcdef)} = 0,748$; $P_{(Abcdef)} = 0,670$; $P_{(aBcdef)} = 0,309$; $P_{(abCdef)} = 0,709$; $P_{(abcDef)} = 0,748$; $P_{(abcdEf)} = 0,552$; $P_{(abcdeF)} = 0,166$; $P_{(ABCDEF)} = 0,043$; $P_{(aBCDEF)} = 0,048$; $P_{(AbCDEF)} = 0,104$; $P_{(ABCDEF)} = 0,193$.

Найбільш правильним шляхом є $abcdef$, самим неправильним – $ABCDEF$. Ймовірність сприятливого результату в першому випадку в 15,6 разів більше, ніж в другому. Таку ж ймовірність сприятливого результату як $abcdef$ дозволяє одержати шлях $abcDef$ (відповідна дія D потрібна для захисту того, що робить допомогу, а не потерпілого).

На підставі аналізу цього «дерева прийняття вирішень» визначають найбільш несприятливі варіанти поєднань дій (вірних і невірних) і розробляють методику їх усунення. В даному випадку, наприклад, під час навчання проведенню штучного дихання вказують найбільш небезпечні помилки (події F , B , E), та їх поєднання, а також здійснюють акцент на найбільш важливі дії.

Висновки. Використання методів побудови «дерева подій» і його різновиду «дерева прийняття вирішень», дозволяє визначати ймовірність того або іншого шляху розвитку аварії, виявляти «слабкі ланки» у системі безпеки, знаходити самі несприятливі варіанти поєднань дій під час ліквідації наслідків аварій або надання допомоги потерпілому.

Бібліографічний список

1. **Международное законодательство по охране труда** [Электронный ресурс] / Reftrend.ru. База данных. – Режим доступа : [www/ URL: http://reftrend.ru/573898.html/](http://www/URL: http://reftrend.ru/573898.html/) – 4.09.2014 г. – (дата обращения 10.11.2014).
2. **Бусленко, Н. П.** Лекции по теории сложных систем [Текст] / Н. П. Бусленко, В. В. Калашников, И. Н. Коваленко. – М. : Советское радио, 1993. – 360 с. – Библиогр. : с. 355-357. – 2500 экз.
3. **Попова, А. Г.** Улучшение условий и охраны труда операторов мобильных колесных машин путем автоматизации устранения транспортно-технологических отказов [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.26.01 / Попова Анна Георгиевна. – Челябинск, 2006. – 178 с. – Библиогр.: с. 154-162.
4. **Гуров, С. В.** Методы и модели анализа надежности сложных технических систем с переменной структурой и произвольными законами распределений случайных параметров, отказов и восстановлений [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук / С. В. Гуров. – С. Петербург, 1997. – 328 с. – Библиогр.: с. 301-314.
5. **Директивы ЕС по охране труда** [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www/ URL: http://rost-prof.ru/documents/international/es/page1.html/](http://rost-prof.ru/documents/international/es/page1.html/) – 4.09.2014 г. – (дата обращения 12.11.2014)..

6. **Лола, І. О.** Впровадження ризик-орієнтованих підходів у регулюючу діяльність в Україні [Текст] / І. О. Лола, О. Е. Севбо // Ядерная и радиационная безопасность. – 2002. – № 2. – С. 28-32. – Библиогр.: с. 32.
7. **Бегун, В. В.** Вероятностный анализ безопасности атомных станций [Текст] / В. В. Бегун, О. В. Горбунов, И. Н. Каденко и др. ; учебн. пособие. – Киев, 2000. – 212 с. – Библиогр.: с. 208-210. – 300 экз. – ISBN 966-651-220-2.
8. **Бегун, В. В.** Безпека життєдіяльності (забезпечення соціальної, техногенної та природної безпеки) [Текст] / В. В. Бегун, І. М. Науменко; навч. посібник. – Київ : МОНУ, МНС, 2004. – 328 с. – Бібліогр.: с. 323-327. – 300 прим. – ISBN 966-651-130-4.
9. **Рижков, В. Г.** Застосування ризик-орієнтованого підходу для аналізу електротравматизму на металургійних підприємствах [Текст] / В. Г. Рижков, О. В. Новокщона // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2011. – Вип. 23. – С. 180-186. – Библиогр.: с. 185-186.

Стаття надійшла до редакції 03.12.2014 р.
Рецензент, проф. М.О. Українець

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>