

ОЦІНКА РИЗИКУ УТВОРЕННЯ ЧАДНОГО ГАЗУ ПРИ РУЧНОМУ ДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ

Березуцький В. В., проф., д.т.н., Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри «Безпека праці та навколишнього середовища», Харків, Україна, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7318-1039>

Хондак І. І., Харківський національний університет радіоелектроніки, старший викладач кафедри «Охорона праці», Харків, Україна, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6644-9968>

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30092020/7204

ARTICLE INFO

Received: 13 July 2020
Accepted: 19 August 2020
Published: 23 August 2020

KEYWORDS

carbon monoxide, protection, risk, reliability, probability, failure tree, pollution, welding, methods, alarm system.

ABSTRACT

The risk analysis is performed of carbon monoxide formation during manual arc welding of metal products using electrodes. The system of protection is considered of the person against carbon monoxide in the room of manufacturing which consists of means of collective and individual protection. The reasons are analysed for failures of the workplace safety system. A failure tree was constructed of the welder's protection system against carbon monoxide using a protective mask, which is not equipped with a gas detector, and when working in a mask which is equipped with a gas detector. The mathematical models of welding processes are obtained as a result of research and analysis of the results. Mathematical expressions are given for calculating the reliability of the protection system. The risk assessment take the place for carbon monoxide poisoning during welding works with the system of ensuring the safety of the employee, i.e. the notification system for the presence of carbon monoxide in the work area (individual alarm) and without it.

Citation: Viachelav Berezutskyi, Inna Hondak. (2020) Risk Assessment of Carbonate Gas Formation in Manual Arc Welding. *World Science*. 7(59). doi: 10.31435/rsglobal_ws/30092020/7204

Copyright: © 2020 Viachelav Berezutskyi, Inna Hondak. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Вступ. Технологічні процеси зварювання широко поширені в промисловості, будівництві та інших галузях народного господарства. До шкідливих виробничих факторів зварювального виробництва відноситься чадний газ, здатний викликати отруєння людей.

Методи і засоби захисту людини, які існують, як правило дозволяють нормалізувати повітряне середовище виробничих приміщень, щоб дотримувались гранично допустимі концентрації робочої зони.

Вимоги по надійності технічних засобів захисту носять як правило локальний характер, і поширюються на окремі технічні засоби: вентиляційні системи, пристрої сигналізації, індикації або засоби індивідуального захисту (протигази). На сьогоднішній день відсутня методика мінімізації ризику, що враховує наявні засоби захисту комплексно. В результаті цього утруднене формулювання об'єктивних вимог щодо допустимого ризику отруєння чадним газом як на законодавчому, так і на нормативному рівнях. Це в свою чергу обмежує ефективність засобів захисту, які використовуються комплексно. Тому управління ризиком отруєння людини чадним газом в зварювальному виробництві залишається важливим і актуальним завданням.

Аналіз систем оцінки ризику отруєння чадним газом зварювальників

На сьогоднішній день розроблено ряд методів оцінки ризику, що дозволяють визначати їх кількісні і якісні характеристики з метою вжиття превентивних заходів безпеки.

Аналіз ризику проводиться у такій послідовності:

1) визначення внутрішніх та зовнішніх чинників, що збільшують чи зменшують ступінь певного виду ризику;

2) аналіз виявлених чинників;

3) оцінювання певного виду ризику;

4) встановлення допустимого ступеня ризику;

5) аналіз окремих операцій щодо обраного ступеня ризику;

6) розробка заходів щодо зниження ступеня ризику.

На ризик формування та виникнення професійних захворювань зварників впливають такі чинники: вік, стаж загальний та стаж роботи у контакті з пилом, а також середнє пилове навантаження [1].

Для побудови графіка залежності ризику формування та виникнення захворювання пилової етіології від множини чинників, що впливають, були використані медичні статистичні дані, приведені в табл. 1 (дані щодо ризику професійної захворюваності взяті з аналізу цього явища за останні 10 років, виконаного Інститутом медицини праці АМН України) [2].

Таблиця 1. Статистичні дані, які характеризують ризик професійної захворюваності зварників [2].

Вік працівника, роки	Загальний стаж роботи працівника, роки	Стаж роботи у контакті з пилом, роки	Середнє пилове навантаження на організм працівника, мг	Ризик професійного захворювання, %
32	10	4	12	15
32	10	8	15	21
40	20	10	20	27
45	23	15	18	29
50	27	20	22	37
55	33	27	18	41

На основі таблиці 1 побудований графік залежності ризику формування та виникнення захворювання пилової етіології від множини чинників, що впливають (рис.1).



Рис.1. Залежність ризику формування та виникнення професійного захворювання у зварювальників від стажу роботи у контакті з пилом.

Аналізуючи ситуацію в Україні з базою даних і доступними методиками розрахунків ризиків, слід відзначити їх практично повну відсутність і орієнтацію на особливо небезпечні об'єкти [3].

На сьогоднішній день основні методи оцінки ризику [4]: мозковий штурм, метод Дельфі, метод аналізу видів і наслідків відмов (FMEA – Failure Mode Effect Analysis), методу Маркова, метод аналізу дерева несправностей (FTA – Fault Tree Analysis), аналіз дерева подій, метод Файн–Кінні та інші. У деяких випадках використовують кілька методів оцінки ризику. Оцінка ризику може бути виконана з різним ступенем глибини і деталізації з використанням одного або декількох методів різного рівня складності. Форма оцінки та її вихідні дані повинні бути сумісні з критеріями ризику, встановленими при визначенні сфери застосування.

В роботі [5] наводиться метод аналізу ризику і надійності вітряних турбін і електростанцій на основі стандартного методу FMEA (failure mode effect analysis). Інформація про збої в системі обмежена знаннями і кваліфікацією експертів. Ця умова не гарантує точну оцінку факторів ризику та визначення їх пріоритетів. Дана робота не враховує специфіку систем захисту людини від чадного газу в зварювальному виробництві. В результаті цього використання даного методу ускладнено для кількісної оцінки ризиків та підвищення надійності зазначених систем. Близька задача вирішена в роботі [6]. Управління ризиками при лікуванні пацієнтів в медичному закладі здійснюється на основі методу FMEA. Ідентифікуються різні ризики, пов'язані з утилізацією медичних відходів і з травмуванням людини. Рекомендується комплекс заходів щодо зниження виявлених ризиків. Однак використовуваний метод здійснює якісну оцінку ризиків, що має низьку точність і низьку ефективність управління. Кількісна оцінка ризику системи, що складається з декількох модулів, наводиться в роботах [7; 8] на основі методу Маркова. Основний недолік полягає в необхідності інформації про ймовірність переходу системи з одного стану в інше (працездатне, погіршене, непрацездатне). У реальних виробничих умовах часто спостерігається дефіцит такої інформації, через що ускладнено застосування даного методу і обмежена точність розрахунку ризику. Більш висока точність досягається в роботі [9]. Оцінюється ризик при роботі технологічних систем гірничодобувної промисловості на основі стандартного методу FTA (fault tree analysis). Аналізуються збої в роботі дробильно-змішувального цеху на ділянках дроблення, змішування і конвеєрних систем. Управління надійністю, обслуговуванням і безпекою підвищує продуктивність процесу видобутку в цілому. Аналогічний підхід здійснено в роботі [10], де виконується аналіз дерева відмов з метою визначення критичних чинників, людських помилок і оптимізації характеристик процесу. Дані роботи також не враховують специфіку систем захисту людини від чадного газу. Тим більше, вони не містять конкретних відомостей про підвищення надійності цих систем. Більш досконалий підхід здійснено в роботах [11; 12], в яких використовується комбінація методів FMEA і FTA. Результати одного методу є вихідними даними для іншого. Дані методи також не дають конкретних рішень щодо підвищення надійності систем захисту від аномального повітряного середовища. Наближене рішення даного завдання наводиться в роботі [13], де оцінюється вплив окремого елемента на вихідний параметр системи в цілому.

Аналіз існуючих аналогів дозволив сформулювати проблему. Вона полягає в тому, що в даний час відсутній аналітичний підхід, який би враховував специфіку систем захисту людини від чадного газу в зварювальному виробництві.

Основна частина.

Мета роботи: підвищення безпеки системи захисту людини від чадного газу.

У виробничому приміщенні розташовано n робочих місць, які мають однакове зварювальне обладнання. Розглядається ситуація, коли одночасно задіяні всі робочі місця. Зварювальне обладнання на робочих місцях працює в однаковому та незмінному режимі.

Система захисту людей від чадного газу включає загальнообмінну припливну вентиляцію 1, загальнообмінну витяжну вентиляцію 2 та місцеву витяжну вентиляцію 3 на кожному робочому місці, див. рис. 2. Плановий термін експлуатації системи захисту складає $4,8 \cdot 10^3$ год. (1 рік за умови двозмінної роботи).

Ймовірність відмови системи захисту від чадного газу залежить від показників надійності окремих елементів, див. табл. 2. Значення інтенсивностей відмов елементів системи обрані з [14-17].

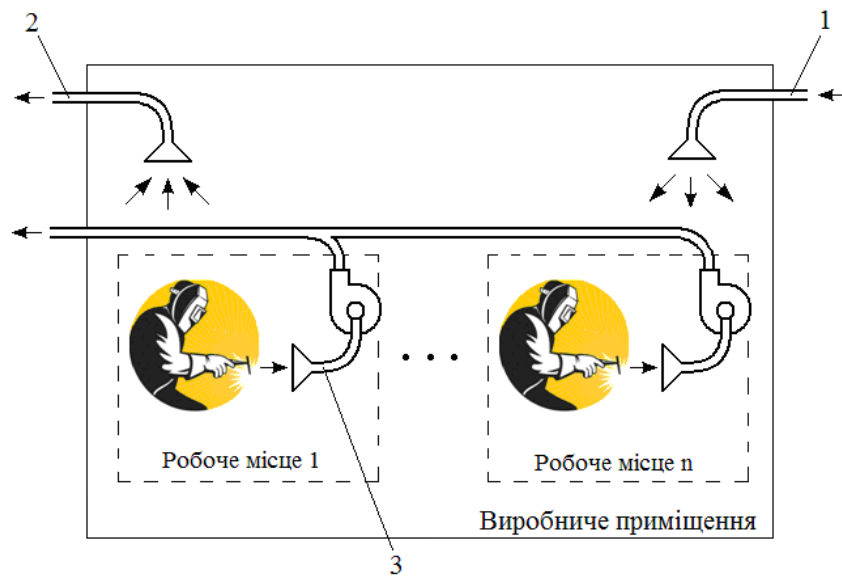


Рис. 2. Функціональна схема системи захисту працівників зварювальної ділянки від чадного газу (шоломи без сигналізатора газу).

Таблиця 2. Показники надійності елементів системи захисту

Подія x	Інтенсивність подій (1/год.)	Кількість робочих місць (n)
Відмови загально обмінної припливної вентиляції	$4,2 \cdot 10^{-6}$	5
Відмови загально обмінної витяжної вентиляції	$2,8 \cdot 10^{-6}$	
Відмови місцевої витяжної вентиляції на окремому робочому місці	$2,2 \cdot 10^{-6}$	

На рис.3 побудовано дерево відмов системи захисту людини від чадного газу, враховуючи наявність захисної маски зварювальника без сигналізатора газу.

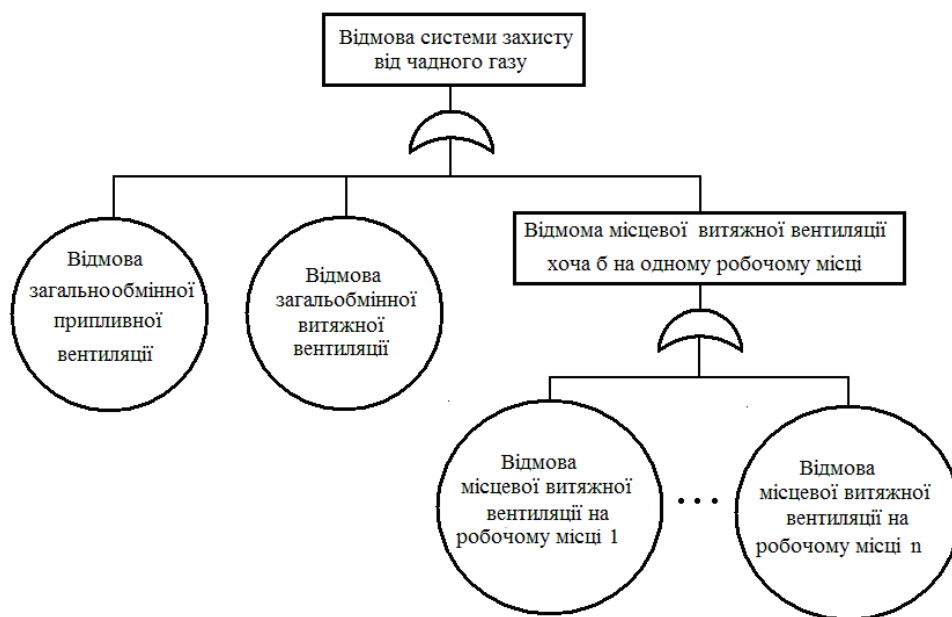


Рис.3. Дерево відмов системи захисту людини від чадного газу (шоломи без сигналізатора газу)

Ймовірність відмови системи захисту розраховується на підставі дерева відмов (рис. 2) за формулою (1):

$$P = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2)(1 - P_3), \quad (1)$$

де P_1 - ймовірність відмови загальнообмінної припливної вентиляції; P_2 - ймовірність відмови загальнообмінної витяжної вентиляції; P_3 - ймовірність відмови місцевої витяжної вентиляції хоча б на одному робочому місці.

Величина P_3 розраховується за формулою:

$$P_3 = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_4), \quad (2)$$

де P_4 - ймовірність відмови місцевої витяжної вентиляції на окремому робочому місці (1 - n).

Ймовірності P_1 , P_2 і P_4 розраховуються за допомогою формули (3):

$$P_x(t) = 1 - e^{-t \cdot \lambda_x}, \quad (3)$$

де x - умовне позначення подій; t - тривалість експлуатації елементу, λ_x - інтенсивність подій x (дана величина залишається постійною під час експлуатації).

Підставляючи певні чисельні значення у формули (3) та (1), відповідно, отримаємо: $P_1 = 0,0199$; $P_2 = 0,0180$; $P_4 = 0,0152$; $P_3 = 0,0739$. Ймовірність відмови системи захисту (див. рис. 1) дорівнює

$$P = 1 - (1 - 0,0199)(1 - 0,0180)(1 - 0,0739) = 0,1086 \approx 1,09 \cdot 10^{-1}$$

Основним показником у зварювальних технологіях є те, що всі показники ризиків мають не перевищувати ризик рівня 10^{-6} [18, 19].

Ризик отруєння чадним газом значно перевищує допустиму величину (10^{-6}) [18, 19].

Необхідна розробка заходів та засобів захисту від чадного газу.

Для удосконалення методики та стандартного засобу оцінки чадного газу на робочих місцях система захисту доповнена сигналізаторами чадного газу, які вмонтовані в шоломи, рис. 4.

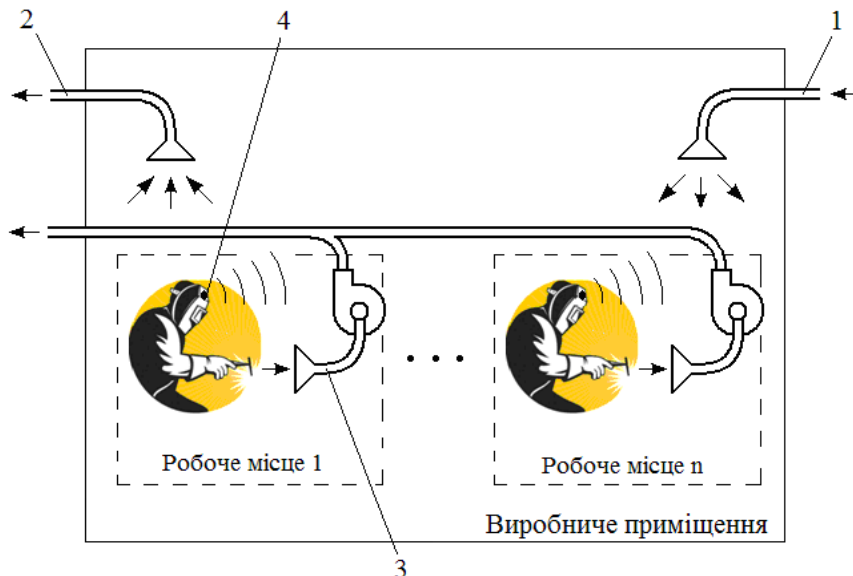


Рис. 4. Функціональна схема захисту працівників зварювальної ділянки від чадного газу (шоломи з сигналізатором газу): 1 – загальнообмінна припливна вентиляція; 2 – загальнообмінна витяжна вентиляція; 3 – місцева витяжна вентиляція на робочому місці; 4 – сигналізатор чадного газу

Інтенсивність відмов сигналізатора складає $1,8 \cdot 10^{-6}$ згідно паспортних даних на сигналізатор чадного газу. Дерево відмов системи показано на рис. 5.

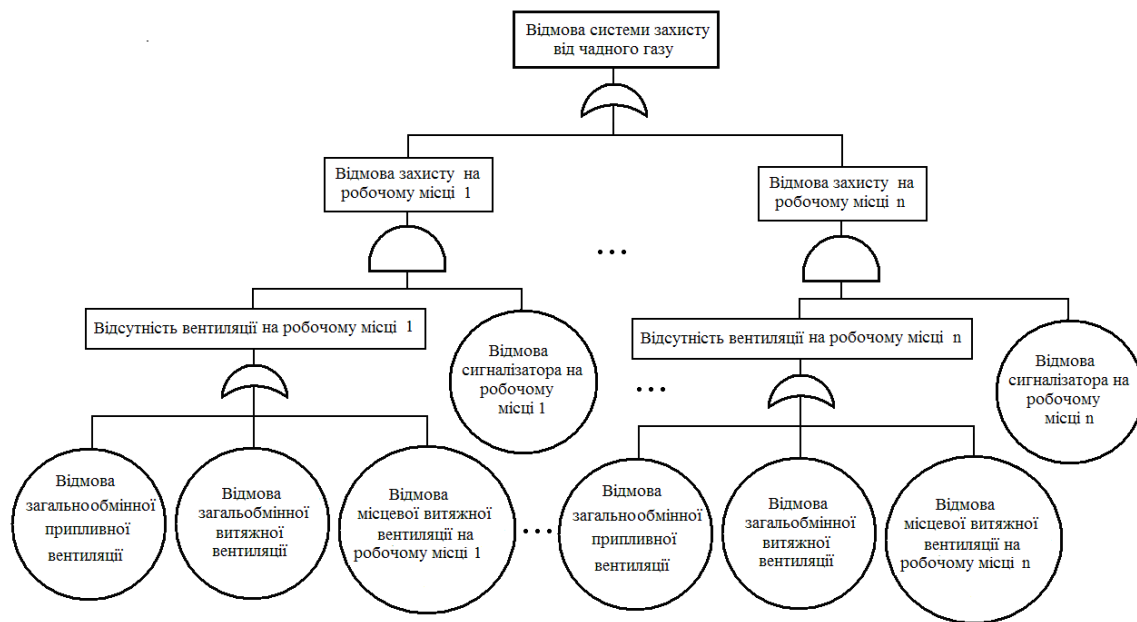


Рис. 5. Дерево відмов системи захисту людини від чадного газу (шоломи з сигналізатором газу)

Ймовірність відмови доповненої системи захисту розраховується за формулою (4):

$$P_5 = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_6) \quad (4)$$

де P_6 - ймовірність відмови захисту на окремому робочому місці,

$$P_6 = P_7 \cdot P_8, \quad (5)$$

де P_7 - ймовірність відмови вентиляції на окремому робочому місці, P_8 - ймовірність відмови сигналізатора (розраховується за допомогою формули (3)),

$$P_7 = 1 - (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) \cdot (1 - P_4). \quad (6)$$

Підставляючи певні чисельні значення в формули (3, 6, 5, 4), відповідно, отримаємо: $P_8 = 0,0009$; $P_7 = 0,0523$; $P_6 = 0,0005$.

Ймовірність відмови доповненої системи захисту дорівнює

$$P_5 = 1 - (1 - 0,0005)^5 = 0,0022 \approx 2 \cdot 10^{-3}$$

Обговорення результатів оцінки ризику. Виконаний аналіз методів оцінки ризиків, показав достатньо широку групу методів та підходів, щодо оцінки ризиків. Автори врахували те, що за багато років до появи теорії ризиків, інженери використовували теорію надійності систем, а тому запропонували зробити оцінку ризику із використанням методу оцінки надійності систем та обладнання. Виконанні розрахунки показали, що для оцінки ризиків можна використовувати класичні прийоми теорії надійності систем, а саме надійність систем і їх елементів виходячи із ймовірності виходу їх з ладу за певний час роботи. Отримані результати дозволяють продовжити дослідження з визначення ризиків із використанням теорії надійності систем та їх елементів. Цікавим аспектом у цьому напрямі є розрахунок надійності людини як елемента системи "Людина-машина" та визначення ризику невиконання дій людиною в умовах наявності небезпек, таких як чадний газ та інших.

Висновки. Виконані дослідження та оцінка ризиків отруєння чадним газом, довели можливість використання методів теорії надійності для оцінки небезпек на робочих місцях.

Ризик отруєння чадним газом при застосуванні захисної маски зварювальника, яку обладнано сигналізатором чадного газу значно знизився, однак це ще не відповідає припустимому рівню безпеки на робочому місці.

Дослідження необхідно продовжити зважуючи на те, що застосовані індивідуальні засоби захисту у вигляді вбудованого сигналізатора чадного газу у шоломі зварювальника, ще не гарантують необхідного рівня безпеки працівника. Слід розглянути питання застосування додаткових заходів та засобів захисту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Levchenko, O.G. Svarochnyie aerezoly i gazyi: protsessyi obrazovaniya, metodyi neytralizatsii i sredstva zaschityi [Welding aerosols and gases: education processes, neutralization methods and protective equipment], (2015), Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
2. Прогнозування професійної захворюваності зварників залежно від умов праці О. Є. Кружилко, Я. Б. Сторож, В. С. Гуць// Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 6/2017 (107). Частина 1, с.129-135.
3. Методи і засоби оцінки ризику здоров'ю населення від забруднення атмосферного повітря: [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 122 «Комп'ютерні науки та інформаційні технології», спеціалізації «Інформаційні технології моніторингу довкілля» / Н. В. Караєва, І. В. Варава; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 4,38 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 56 с.
4. Березуцький В.В., Адаменко М.І. Б 48 Небезпечні виробничі ризики та надійність: навчальний посібник для студентів за напрямком підготовки 6.170202 «Цивільна безпека»/ В.В. Березуцький, М.І. Адаменко – Харків.: ФОП Панов А. М., 2016. – 385 с.
5. Dinmohammadi F., Shafiee M. A fuzzy-FMEA risk assessment approach for offshore wind turbines // Health Manag. Int. J. Progn., 2013. №4. p.59–68.
6. Ho CC1, Liao CJ. The use of failure mode and effects analysis to construct an effective disposal and prevention mechanism for infectious hospital waste // Waste Manag. 2011.31(12).
7. Baoping Cai, Yonghong Liu. Reliability analysis of subsea blowout preventer control systems subjected to multiple error shocks // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2012. № 25(6). P.1044–1054.
8. Zengkai Liu, Yonghong Liu, Baoping Cai. Reliability Analysis of the Electrical Control System of Subsea Blowout Preventers Using Markov Models // Plos one. 2014. 9(11).
9. Ali Nouri.Gharahasanlou, Ashkan Mokhtarei, Aliasqar Khodayarei, Mohammad Ataei. Fault tree analysis of failure cause of crushing plant and mixing bed hall at Khoey cement factory in Iran // Case Studies in Engineering Failure Analysis. 2014. P.33-38.
10. Roland-Iosif Moraru, Gabriel-Bujor Băbuț. The use of fault tree in industrial risk analysis: a case study // Recent advances in industrial and manufacturing technologies : 1st wseas international conference on industrial and manufacturing technologies). 2013. P.70-75.
11. N A Wessiani, F Yoshio. Failure mode effect analysis and fault tree analysis as a combined methodology in risk management // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 337. 2018. P.1-11.
12. Liu, C.-T.; Hwang, S.-L.; Lin, I.-K. Safety analysis of combined FMEA and FTA with computer software assistance—take Photovoltaic plant for example. IFAC Proc. Vol. 2013, 46, 2151–2155.
13. Zhai Guofu, Zhou Yuege, Ye Xuerong, Hu Bo. A method of multi-objective reliability tolerance design for electronic circuits // Chinese Journal of Aeronautics 2011. P. 161-170.
14. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. - Москва.: Госстандарт СССР, 1992. - 68 с.
15. РД 26-01-143-83. Надежность изделий химического машиностроения. Оценка надежности и эффективности при проектировании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.skonline.ru/doc/7966.html>
16. Сборник задач по теории надёжности / А.М. Половко [и др.]; под ред. А.М. Половко. – Москва.: Сов. радио, 1972. – 408 с.
17. Металлорежущие станки: учебник / В.Д. Ефремов [и др.]; под ред. П.И. Ящерицына. – 5-е изд., перераб. и доп. – Старый Оскол: ТНТ, 2009. – 696 с.
18. Розпорядження Кабміну України від 22 січня 2014 р. № 37-р. Київ. Про схвалення Концепції управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/37-2014-%D1%80#Text>
19. Retrieved from https://studme.org/12810419/bzhd/priemlemyu_risk_kak_uroven_bezopasnosti_proizvodstva