

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНОГЕННОГО РИЗИКУ ПРОМИСЛОВОГО ОБ'ЄКТУ

Бойко Т. В.¹, Абрамова А. О.¹, Вавулін П. А.², Бондаренко С. Г.¹

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННОГО РИСКА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБЪЕКТА

Бойко Т. В.¹, Абрамова А. А.¹, Вавулин П. А.², Бондаренко С. Г.¹

SOFTWARE TO PROCESS TECHNOGENIC RISK ASSESSMENT OF INDUSTRIAL OBJECT

Bojko T.¹, Abramova A.¹, Vavulin P.², Bondarenko S.¹

¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Київ, Україна
alla_abramova@ukr.net

²Компания - ИП "И-АП-СИ"
Київ, Україна
lestatxa81@gmail.com

Запропоновано програмний комплекс з метою полегшення прийняття рішень щодо умов експлуатації промислового об'єкту та його стану шляхом оцінювання техногенного ризику. Основою для такого оцінювання є теорія надійності із поєднанням моделювання роботи системи методом Монте-Карло.

Ключові слова: техногенний ризик, промисловий об'єкт, теорія надійності, метод Монте-Карло

Предложен программный комплекс с целью облегчения принятия решений про условия эксплуатации промышленного объекта и его состояния путем оценки техногенного риска. Основой для такой оценки является теория надежности с сочетанием моделирования работы системы методом Монте-Карло.

Ключевые слова: техногенный риск, промышленный объект, теория надежности, метод Монте-Карло

A software package has been proposed to facilitate decision-making regarding the operating conditions of an industrial facility and its condition through anthropogenic risk assessment. The basis for this assessment is reliability theory, with the combination of Monte Carlo modeling of system operation.

Keywords: technogenic risk, industrial object, reliability theory, Monte Carlo method

ВСТУП

На сьогоднішній день існує велика кількість методик оцінки ризику, але складність визначення «вузьких місць» об'єкту дослідження, різноманітність технологічних схем, обмеженість початкових даних, складність визначення наслідків аварій і її можливі сценарії розвитку позначаються на процедурі оцінки ризику і приводять до ситуацій використання методик не за призначенням. Це в подальшому призводить до негативного впливу на адекватність оцінювання ризику при

експлуатації потенційно-небезпечних виробництв. тому вдосконалення математичного та методологічного апарату для кількісного та якісного аналізу ризику та створення універсального алгоритму ризик-аналізу є перспективним і актуальним питанням в Україні.

Метою роботи є розроблення програмного комплексу з метою полегшення прийняття рішень щодо умов експлуатації промислового об'єкту та його стану шляхом оцінювання ТЕХНОГЕННОГО РИЗИКУ НА ОСНОВІ теорії надійності із поєднанням моделювання роботи системи методом Монте-Карло.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методичною базою для кількісного оцінювання ризиків є теорія надійності. У відповідності до теорії надійності відмова розглядається як випадкова подія, причини відмов задаються функцією розподілу. Кількісний аналіз небезпек у відповідності до елементів теорії надійності дає змогу визначити ймовірність аварій та нещасних випадків, величину ризику, величину можливих наслідків. Методи розрахунку ймовірностей і статистичний аналіз являються складовими частинами кількісного аналізу небезпек та техногенного ризику.

Розглянемо показник безвідмовності технічного об'єкта з точки зору його надійності. Таким показником є ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ – ймовірність того, що в заданому інтервалі $t=T$ не виникає відмови даного об'єкта. Значення цієї ймовірності, як і будь-якої іншої лежить в інтервалі $0 \leq P(t) \leq 1$ [1]. Ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ і ймовірність відмови $F(t)$ утворюють повну групу подій:

$$P(t) + F(t) = 1 \quad (1)$$

Допустиме значення $P(t)$ ймовірності обирається в залежності від степеню небезпечності відмови.

Причина виникнення раптових відмов не пов'язана з зміною стану об'єкта і часом його попередньої роботи, а залежить лише від рівня зовнішніх чинників. Раптові відмови оцінюються інтенсивністю відмов λ – ймовірністю виникнення відмови в одиницю часу, за умови що до того часу відмов не було[1]:

$$\lambda = \frac{F\left(\frac{\Delta t}{t}\right)}{\Delta t} = \frac{1 - p\left(\frac{\Delta t}{t}\right)}{\Delta t} \quad (2)$$

Основна закономірність теорії надійності:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda \cdot dt} = \exp \left[-\int_0^t \lambda(t) \cdot dt \right] \quad (3)$$

При розрахунку надійності складної системи використовують структурні схеми (рис. 1).

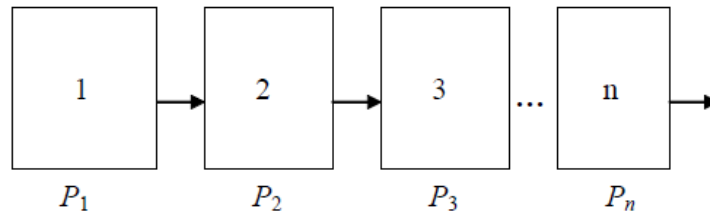


Рис. 1. Структурна схема надійної роботи технічної системи

Ймовірність безвідмовної роботи дорівнює добутку ймовірностей безвідмовної роботи елементів цієї системи:

$$P(t) = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot \dots \cdot P_n = \prod_{i=1}^n P_i \quad (4)$$

При постійному (навантаженому) резервуванні, коли резервні елементи постійно підключені до основних і знаходяться в однаковому з ними режимі роботи, відмова системи є складною подією, яка буде мати місце при відмові усіх елементів.

Ймовірність одночасної появи усіх відмов матиме вигляд:

$$F(t) = F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot \dots \cdot F_n = \prod_{i=1}^n F_i \quad (5)$$

Тому безвідмовність системи:

$$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^n F_i = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) \quad (6)$$

Кількісна оцінка ризику за даною методикою представляє собою процес оцінки числових значень ймовірності і наслідків небажаних процесів, явищ, подій, тому до достовірності таких оцінок слід ставитись обережно [1].

Зазвичай при оцінці ризику його характеризують двома величинами – ймовірністю події P та наслідками U , які у вираженні математичного очікування виступають множниками:

$$R = PX \quad (7)$$

По відношенню до джерел ризику, його оцінка передбачає розділення нормального режиму роботи R_H та аварійних ситуацій R_{AB} :

$$R = R_H + R_{AB} = P_H X_H + P_{AB} X_{AB} \quad (8)$$

Техногенний ризик оцінюють за формулою, яка включає як ймовірність небажаної події так і величину наслідків у вигляді збитків U :

$$R = PU \quad (9)$$

Якщо кожній події, яка виникає з ймовірністю P , відповідає збиток U_i то величина ризику буде представляти очікувану величину збитку U^* :

$$R = U_* = \sum_{i=1}^n P_i U_i \quad (10)$$

Логічний аналіз внутрішньої структури системи та визначення ймовірності небажаних подій E як функції окремих подій являється однією з задач аналізу небезпек.

Для автоматизації оцінки небезпек техногенних ризиків промислових об'єктів в процесі нормальної експлуатації було використано наступні математичні моделі відмови системи з декількох елементів.

Через $P\{E_i\}$ будемо позначати ймовірність небажаної події E_i .

Для повної групи подій:

$$\sum_{i=1}^n P\{E_i\} = 1 \quad (11)$$

Для рівно ймовірних подій ($P\{\Sigma E_i\} = p, i=1, 2, \dots, n$), які утворюють повну групу подій, ймовірність дорівнює $p=1/n$.

Протилежні події E_i і $(-E_i)$ утворюють повну групу подій тому:

$$P\{E\} = 1 - P\{-E\} \quad (12)$$

На практиці користуються формулою об'єктивної ймовірності:

$$P\{E\} = \frac{n_E}{n}, \quad (13)$$

де n та n_E — загальне число випадків і число випадків при яких настає небажана подія E .

Ймовірність події E_1 при умові E_2 позначають $P\{E_1|E_2\}$.

Якщо події E_1 та E_2 незалежні, то отримаємо:

$$P\{E_1 E_2\} = P\{E_1\} P\{E_2\} \quad (14)$$

При n незалежних подій $E, E_1, \dots, E_n$ отримаємо:

$$P\left\{\prod_{i=1, n} E_i\right\} = \prod_{i=1}^n P\{E_i\} \quad (15)$$

Для компонентів системи і системи в цілому:

$$p_i = P\{E_i\}, q_i = P\{-E_i\} = 1 - p_i, p = P\{E\}, q = P\{-E\} = 1 - p \quad (16)$$

Логічна функція системи має вигляд:

$$E = F(E_1, E_2, \dots, E_n) \quad (17)$$

Застосовуючи правила теорії ймовірностей, знаходимо ймовірність появи небажаної події у вигляді функції загрози:

$$p = F_p(p_1, p_2, \dots, p_n) \quad (18)$$

До небажаної події в технічній системі в якій елементи з'єднані послідовно може призвести відмова будь-якого компонента. Якщо E_j є відмовою j -го компонента, то відмова такої системи виражається наступним рівнянням [1]:

$$E = E_1 + E_2 + \dots + E_n = \sum_{j=1, m} E_j, \quad (19)$$

де m — число компонентів (елементів) системи.

Якщо відмови елементів незалежні, то ймовірність відмови в такій системі виражається наступним чином:

$$P\left\{\sum_{j=1} E_j\right\} = 1 - P\left\{\sum_{j=1, m} E_j\right\} = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - P\{E_j\}) \quad (20)$$

Для рівно імовірних відмов ймовірність відмови в такій системі:

$$P\{E\} = 1 - (1 - p)^m \quad (21)$$

Це демонструє, що у випадку складних систем існує доволі висока ймовірність відмови. Розглянемо системи, елементи яких з'єднанні паралельно.

До відмови такої системи призводить лише відмова усіх її елементів:

$$E = E_1 \cdot E_2 \cdot \dots \cdot E_m = \prod_{j=1, m} E_j \quad (22)$$

Якщо відмови елементів можна вважати взаємозалежними, то ймовірність відмови в такій системі буде такою:

$$P\{E\} = \prod_{j=1}^m P\{E_j\} \quad (23)$$

На практиці застосування таких систем являється операцією резервування, яку застосовують коли необхідно досягти високої ступені надійності.

Оцінювання рівня ризику проводиться за класифікацією приведеною у [2].

Для проведення кількісного аналізу небезпек з метою визначення ймовірності аварій та нещасних випадків, величини ризику, величини можливих наслідків запропоновано використати метод Монте-Карло.

Цей метод базується на одержанні так званих псевдо-випадкових числах, які при вирішенні задач використовуються як випадкові [1]. Важливою перевагою цього методу є його простота, яка полягає в тому що для побудови моделі необхідно записати один цикл реалізації моделі, а потім повторити його визначену кількість разів, в залежності від точності розрахункової характеристики.

При використанні методу Монте-Карло ймовірність відмови елемента системи, чи системи визначається за наступною залежністю:

$$P = \frac{N^*}{N} \quad (24)$$

де N^* — кількість відмов елемента системи чи системи за час моделювання; N — загальна кількість ітерацій (повторень) алгоритму в якому моделювалась робота системи.

Даний метод дає змогу звести більшу частину обчислень до простої залежності (24), що значно спрощує визначення ймовірності відмови обладнання.

В результаті проведених досліджень і опрацювань різноманітних теоретичних та практичних матеріалів було розроблено алгоритм для визначення техногенного ризику об'єктів хімічної промисловості та об'єктів інших видів виробництва (рис.2).

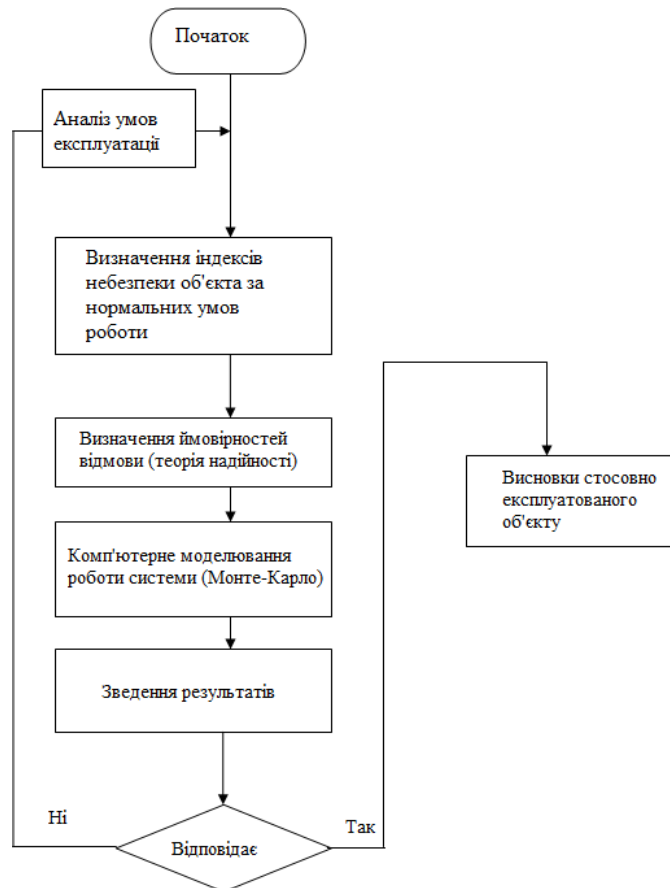


Рис. 2. Узагальнений алгоритм визначення техногенного ризику об'єкта хімічної промисловості при експлуатації

З метою полегшення прийняття рішень щодо умов експлуатації промислового об'єкту та його стану шляхом оцінювання техногенного ризику розроблено програмний комплекс «РИСК 1.2» [3] на основі теорії надійності із поєднанням моделювання роботи системи методом Монте-Карло. Розроблений програмний комплекс включає в себе елементи баз даних, які дозволяють проаналізувати рівні техногенного ризику при використанні тих чи інших способів з'єднання елементів системи, а також при використанні різних складових елементів, а також оцінити зміни надійності системи при використанні інших складових елементів.

Роботу програми доцільно представити на прикладі системи, складовими елементами якої є підігрівачі ПВТ1-7 в технологічній системі ТЕЦ [4].

Оценка рисков 1.2

Файл Помощь

Расчет Вкладка 2 Статистика Работа с БД

	Эфф. узел №1	Эфф. узел №2	Эфф. узел №3	Эфф. узел №4	Эфф. узел №5	Эфф. узел №6	Эфф. узел №7
С	1E-5	1E-5	1E-5	1E-5	2E-6	2E-6	2E-6

Количество эффективных узлов: 7

Количество сценариев: 1

Количество итераций: 1E7

Статистика по сценарию №: 1

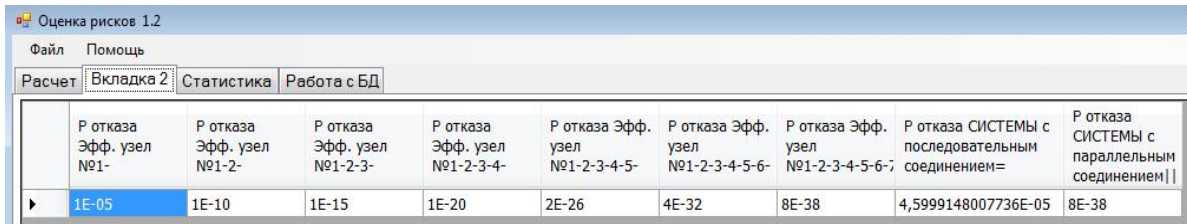
Задать

Расчет

Моделирование

Рис.3. Вікно введення початкових даних

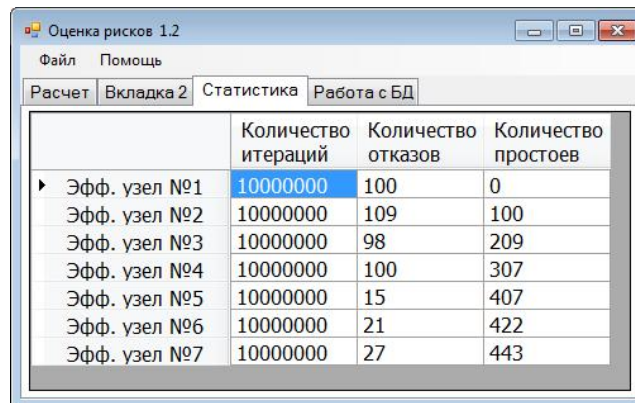
Після проведемо розрахунок. Результати представлені на рис. 4.



	Р отказа Эфф. узел №1-	Р отказа Эфф. узел №1-2-	Р отказа Эфф. узел №1-2-3-	Р отказа Эфф. узел №1-2-3-4-	Р отказа Эфф. узел №1-2-3-4-5-	Р отказа Эфф. узел №1-2-3-4-5-6-	Р отказа Эфф. узел №1-2-3-4-5-6-7	Р отказа СИСТЕМЫ с последовательным соединением=	Р отказа СИСТЕМЫ с параллельным соединением=
	1E-05	1E-10	1E-15	1E-20	2E-26	4E-32	8E-38	4,5999148007736E-05	8E-38

Рис.4. Розрахунок імовірності відмови системи

Проведемо уточнення ймовірностей відмови системи та її елементів за допомогою методів математичного моделювання, а саме методу Монте-Карло (рис.5).



	Количество итераций	Количество отказов	Количество простоев
Эфф. узел №1	10000000	100	0
Эфф. узел №2	10000000	109	100
Эфф. узел №3	10000000	98	209
Эфф. узел №4	10000000	100	307
Эфф. узел №5	10000000	15	407
Эфф. узел №6	10000000	21	422
Эфф. узел №7	10000000	27	443

Рис. 5. Результати моделювання роботи елементів складної технологічної системи

Розрахована імовірність відмови системи дорівнює $P_{отказа} = 4,6 \cdot 10^{-5}$. Ймовірність відмови усіх елементів системи $P_{повної відмови} = 8 \cdot 10^{-38}$.

ВИСНОВКИ

Як бачимо проводити розрахунки ризиків відмови технологічного обладнання з використанням розробленого програмного комплексу досить просто. Слід відмітити, що можливість використання методів теорії надійності й методів комп'ютерного моделювання є великою перевагою, адже окрім проведення розрахунків тим чи іншим методом, завжди можна провести перевірку отриманих результатів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алымов В. Т., Тарасова Н. П. Техногенный риск: Анализ и оценка. М.: Академкнига, ИКЦ, 2006. 118с.
2. Вавулин П. А., Бойко Т. В. Расчет прогнозного техногенного риска промышленных объектов при эксплуатации». *Восточно-европейский журнал передовых технологий*, 2014, №5/10(77). с. 42-47.
3. Бойко Т. В., Абрамова А. О., Вавулін П. А. Програмний комплекс РИСК 1.2. *Авторське свідоцтво України*, № 75863, 12.01.2018.
4. Публічне акціонерне товариство «Харківська ТЕЦ-5» [Електронний ресурс]. Режим доступа: <http://www.chpp5.kharkiv.com/>