

---

**УДК 519.87: (504.75 + 614.87)**

*О.Д. Малько, к.військ.н., доцент, викладач, НУЦЗУ,  
О.П. Шароватова, к.пед.н., доцент, доц. кафедри, НУЦЗУ,  
Б.М. Цимбал, к.т.н., ст. викладач, НУЦЗУ,  
Г.Ю. Бахарєва, к.т.н., доцент, НТУ «ХП»*

## **МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИНИКНЕННЯ АВАРІЇ НА ПОТЕНЦІЙНО-НЕБЕЗПЕЧНОМУ ОБ'ЄКТІ З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ НАДІЙНОСТІ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ**

(представлено д.т.н. Туркіним І.Б.)

Визначені умови переходу складної технічної системи в стан аварії та запропоновано модель надійності технічної системи потенційно-небезпечного об'єкта і розроблено багаторівневу систему (держава-регіон-район-потенційно небезпечний об'єкт) прогнозування виникнення аварії на потенційно-небезпечному об'єкті.

**Ключові слова:** аварія, потенційно-небезпечний об'єкт, складна технічна система, надійність технічної системи.

**Постановка проблеми.** Техногенна ситуація в Україні залишається напруженою, а в окремих її регіонах – загрозовою. Вагомими причинами, які обумовлюють високу ступінь техногенної напруги і загрози, є аварії. Аварії є одними із основних причин скоєння надзвичайних ситуацій техногенного характеру. Ризик скоєння аварій постійно зростає внаслідок підвищення відносної частки застарілих технологій та обладнання, зниження темпів відновлення і модернізації виробництва. При цьому найбільшу небезпеку складають загрози виникнення аварій на потенційно небезпечних об'єктах (далі по тексту ПНО). Такі загрози пов'язані з хімічною небезпекою (27 регіонів), загрози пожежовибухової та гідрометеорологічної небезпек були характерні для 24 регіонів України. Для 15 регіонів загрозу становить радіаційна небезпека [1].

Для зниження ризику скоєння аварій на ПНО надзвичайно актуальною стає проблема прогнозування та запобігання таких аварій.[2]. Прогнозування з використанням математичних моделей є ключовим елементом вирішення задачі зниження ризику скоєння аварії, оскільки саме результати такого прогнозування мають вирішальне значення для обґрунтованого прийняття рішень. Тому розробка методики прогнозування аварії на ПНО з використанням математичної моделі надійності технічної системи може значно поліпшити дану ситуацію.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемні питання прогнозування аварій на ПНО не залишаються поза увагою науковців.

Результати досліджень зазначених питань знайшли відбиття у наукових працях Ю. Абрамова, С. Азарова, М. Астаф'єва, О. Дмитрієвої, А. Полежаєва, В. Попова, К. Романчука, Д. Тютюника, В. Сидоренка, Стефанишина, В. Тютюника, І. Чуба та ін.

Робота М. Астаф'єва та О. Дмитрієва присвячена питанням аналізу факторів, що впливають на терміни безаварійної експлуатації об'єктів підвищеної небезпеки різних виробництв. На основі проведеного аналізу виявлені параметри, зміна яких впливає на швидкість накопичення дефектів в матеріалі обладнання. В роботі обґрунтовано необхідність розробки математичної моделі прогнозування термінів безаварійної експлуатації із заданою вірогідністю [3]. В. Сидоренко та С. Азаров запропонували методологічні основи проведення досліджень потенційно-небезпечних військових об'єктів з метою запобігання, попередження, прогнозування і моделювання розвитку аварій та аварійних ситуацій на них [4]. Ю. Абрамов, О. Тютюник, В. Шевченко за допомогою математичного апарату логіко-імовірнісної теорії безпеки провели оцінку безпечної роботи об'єктів підвищеної небезпеки нафтогазового комплексу [5].

Водночас, незважаючи на значну практичну потребу, в даний час відсутній єдиний теоретико-методологічний підхід до побудови методів, що забезпечують прогнозування виникнення аварії на ПНО на основі математичних моделей надійності технічних систем.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою статті є розробка методики прогнозування виникнення аварії на ПНО на основі математичних моделей надійності технічної системи.

ПНО є складною технічною системою. Система внаслідок зовнішніх і внутрішніх впливів може отримувати ушкодження, які викликають порушення функціонування системи або її складових і можуть призвести до виникнення аварії.

Відповідно до [8] аварії можуть бути першої і другої категорії. До першої категорії відноситься аварія, внаслідок якої:

- смертельно травмовано п'ять та більше осіб або травмовано десять і більше осіб;
- спричинено викид отруйних, радіоактивних та небезпечних речовин за межі санітарно-захисної зони підприємства;
- збільшилася більш як у 10 разів концентрація забруднюючих речовин у навколишньому природному середовищі;
- зруйновано будівлі, споруди чи основні конструкції об'єкта, що створило загрозу для життя і здоров'я працівників підприємства чи населення;

До другої категорії відноситься аварія, внаслідок якої:

- смертельно травмовано до п'яти осіб або травмовано від чотирьох до десяти осіб;

– зруйновано будівлі, споруди чи основні конструкції об'єкта, що створило загрозу для життя і здоров'я працівників цеху, дільниці з чисельністю працюючих 100 і більше осіб.

Виникнення аварії першої чи другої категорії на технічній системі ПНО може стати наслідком трьох випадкових подій:

- виходу із ладу окремих елементів технічної системи (будівель, споруд, обладнання, складових виробничого процесу) внаслідок відмови та зносу їх елементів;
- порушення персоналом правил або умов безпечної експлуатації технічної системи (так званого «людського фактору»);
- внаслідок впливу природного або антропогенного факторів навколишнього середовища.

Вихід із ладу окремих елементів технічної системи пов'язаний з можливим їх переходом в інший технічний стан. Умови такого переходу характеризується певним ступенем надійності, що представляє собою комплексну імовірнісну характеристику успішного виконання системою необхідних цільових функцій при збереженні нею своїх експлуатаційних показників у заданих межах протягом необхідного часу [7].

Згідно з ДСТУ 2389-94 технічний стан – це стан, який характеризується значеннями параметрів, що встановлені технічною документацією на об'єкт для визначених умов навколишнього середовища та у визначений момент часу. У залежності від значень параметрів, технічні стани складають низку випадкових подій: Коли параметр перевищує допустимі межі, порушуються властивості надійності технічної системи і виникає відмова або несправність об'єкта [7].

Ймовірність переходу технічної системи у аварійний стан внаслідок відмови або несправності технічних систем ПНО у загальному випадку, може визначитися виразом [7]

$$P_i = \sum_l P_{ав i} \sum_j P_{ав ij}, \quad i = \overline{1,2}; \quad j = \overline{1,3}; \quad (1)$$

за умов, що

$$P_{нф} + P_{ав1} + P_{ав2} + P_{ав} = 1, \quad (2)$$

де  $P_1, P_2$  – ймовірність виникнення аварії 1 і 2 категорії відповідно;  $P_{ав 1}, \dots, P_{ав 3}$  – ймовірність виникнення аварії на технічній системі внаслідок різних причин (зносу основних фондів, людського фактору, зовнішнього втручання);  $P_{нсij}$  – умовна ймовірність виникнення НС  $i$ -го рівня в наслідок виникнення аварії по  $j$ -ї причині;  $P_{нф}$  – ймовірність нормального функціонування технічної системи.

Таким чином, прогнозування виникнення аварії певної категорії може бути зведено до визначення відповідної ймовірності виникнення аварії з подальшим порівнянням її з критичної величиною. У випадку,

коли величина ймовірності виникнення аварії наближається до критичної, виникає необхідність прийняття запобіжних заходів (заміна застарілих основних фондів, удосконалення технології, прийняття заходів щодо зміцнення технологічної та трудової дисципліни тощо).

В умовах наявності Державного реєстру ПНО, системи їх моніторингу та банку даних моніторингу, вирішення загальної задачі прогнозування може зводитися до вирішення чотирьох підзадач:

- моделювання умов відмови та зносу елементів технічної системи ПНО, які можуть призвести до виникнення аварії;
- визначення ймовірності виникнення аварії на ПНО;
- визначення ймовірності виникнення аварії певної категорії;
- визначення ймовірності виникнення аварії певної категорії на ПНО в межах їх розташування на території держави.

Будь-яка аварія має свій логічний процес розвитку і реалізується за певних умов. За результатами проведення контролю, технічної експертизи визначають небезпечні умови та конкретні ситуації, які можуть призвести до аварії ПНО. При цьому враховується, що вихід із ладу окремих елементів технічних систем в наслідок відмови та зносу їх елементів відбувається в потоці випадкових статистично залежних або незалежних випадкових подій. З врахуванням наведеного, в якості математичної моделі виникнення аварії на ПНО пропонується використати модель надійності системи, яка працює до першої відмови з урахуванням старіння (зносу). Моделювання умов відмови та зносу елементів технічної системи ПНО, які можуть призвести до виникнення аварії дає можливість визначити пріоритети таких випадкових подій. Наприклад, модель може мати вигляд [8]

$$P(t) = 1 - \{ 0,5 - \Phi[(t - \bar{t})/\sigma_t] \} \times \{ 0,5 + \Phi[ t/\sigma_t] \}, \quad (3)$$

де  $P(t)$  – ймовірність виникнення аварії на технічній системі;  $\Phi[...]$  – функція Лапласа від аргументу;  $\sigma_t$  – середнє квадратичне відхилення часу між аваріями на даному типі технічних систем;  $\bar{t}$  D.G. Tregubov, O.O. Kiriev, A.A. Kovalyov, K.V. ZHernoklev середній час між аваріями на даному типі технічних систем.

З метою використання запропонованої моделі для прогнозування події виникнення аварії необхідно узгодити модель з даними моніторингу технічної системи. В якості параметра, який контролюється, пропонується використовувати час –  $T_i$ , який визначається від моменту оновлення основних виробничих фондів  $i$ -ї технічної системи до моменту виникнення аварії, який прогнозується –  $t_{\text{при}}$ . При цьому, величина інтервалу часу [7]

$$\Delta T_i = t_{\text{при}} - T_i, \quad (4)$$

де  $i = \overline{1, n}$  визначається для кожної  $i$ -ї технічної системи з характеристикою зносу її основних виробничих фондів. Зв'язок інтервалу часу  $\Delta T_i$  зі зносом основних виробничих фондів системи в моделі пропонується здійснювати за допомогою поняття інтенсивності відмови системи  $\lambda$ , яка у власну чергу є функцією часу

$$\lambda = f(t), t = \Delta T_i, i = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Як відомо, знос основних фондів будь-якого промислового об'єкта супроводжується збільшенням кількості аварій на обладнанні. Для основних типів промислового обладнання існує статистика відмов. Вважається, що кожному ступеню зносу технічної системи (основних виробничих фондів) за допомогою статистичних даних можливо встановити відповідне значення інтенсивності відмови системи. Інтенсивність відмови системи в наслідок старіння її елементів визначається [8]

$$\lambda(t) = \{(1/\sigma_t \sqrt{2\pi}) \times \exp[-(t - \bar{t})^2 / 2\sigma_t^2]\} / 0,5 - \Phi[(t - \bar{t})/\sigma_t]. \quad (6)$$

Параметри  $\bar{t}$  і  $\sigma_t$  можуть бути визначені з використанням структурних схем надійності технічної системи [7]. При відомих параметрах  $\bar{t}$  і  $\sigma_t$ , інтенсивності відмови системи на момент прогнозування  $\lambda(t_{\text{пр}})$  за допомогою (6) визначається параметр моделі  $t$ , який використовується в моделі (3) для визначення ймовірності виникнення аварії на технічній системі на момент часу  $t_{\text{пр}}$ .

Підзадача визначення ймовірності виникнення аварії на ПНО внаслідок різних впливів може бути вирішена за допомогою аналізу структурних схем технологічних процесів, які реалізуються. При цьому можуть враховуватися наслідки аналогічних аварій, які мали місце у світі.

Третя підзадача визначення ймовірності виникнення аварії певної категорії, при відомих ймовірностях виникнення аварії на ПНО, може бути визначена за допомогою загального біноміального закону (за схемою «досягнення хоча б одної із ознак аварії першої або другої категорій»).

Визначення ймовірності виникнення аварії певної категорії на ПНО в межах їх розташування на території держави можна здійснювати із наступних припущень. Ймовірність виникнення аварії першої категорії ( $P_{1k}$ ) в  $j$ -му районі  $k$ -го регіону можна визначити як ймовірність виникнення аварії за допомогою біноміального закону, як ймовірність виникнення аварії із ознаками –  $Z$ , які визначають її належність до першої категорії, принаймні, на одному з потенційно небезпечних об'єктів району [9]

$$\varphi(z)_{1kj} = \prod_j (P_{1kj}z + q_{1ki}), \quad i = \overline{1, n_{kj}}; j = \overline{1, h_k}; k = \overline{1, f}, \quad (7)$$

де  $f$  – кількість регіонів в державі;  $h_k$  – кількість районів в  $k$ -му регіоні;  $n_{kj}$  – загальна кількість ПНО в  $j$ -му районі  $i$ -го регіону;  $P_{2kji}$  – ймовірність виникнення аварії першої категорії на  $i$ -му потенційно небезпечному об'єкті в  $j$ -му районі  $k$ -го регіону

$$q_{1kji} = 1 - P_{1kji}. \quad (8)$$

Ймовірність виникнення аварії другої категорії може бути визначена також, за допомогою біноміального закону із ознаками –  $Z$ , які визначають її належність до другої категорії

$$\varphi(z)_{2kj} = \prod_i (P_{2kji}z + q_{2kji}), \quad i = \overline{1, n_{kj}}; k = \overline{1, f}, j = \overline{1, h_k}. \quad (9)$$

**Висновки.** Таким чином, при наявності системи моніторингу техногенної складової навколишнього середовища, банку даних моніторингу, можна створити математичну модель прогнозування виникнення аварії з врахуванням надійності технічної системи ПНО та багаторівневу систему (державо-регіон-район-потенційно небезпечний об'єкт) визначення ймовірності виникнення аварії певної категорії на ПНО в межах їх розташування на території держави.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2016 рік. К.: ДСНС України, 2017. – 433 с. Режим доступу: <http://www.dsns.gov.ua/files/2017/8/18/Analit%20dopovid/1%20stan.pdf>.
2. В.М. Попов Прогнозування наслідків можливої надзвичайної ситуації при формуванні програми розвитку територіальної системи техногенної безпеки / В.М. Попов, І.А. Чуб // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2015. – Вип. 22. – С. 99-105.
3. Н.А. Астафьев, О.А. Дмитриева. Анализ факторов для создания модели прогнозирования аварий при эксплуатации объектов повышенной опасности / Н.А. Астафьев, О.А. Дмитриева // VI Міжнародна конференція «Моделювання та комп'ютерна графіка» ДВНЗ "ДонНТУ", 2015 р. – С. 77-82.
4. Сидоренко В.Л. Методологічні основи проведення досліджень потенційно-небезпечних військових об'єктів / Сидоренко В.Л., Азаров С.І. // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2009. – Вип. 9. – С. 99-108.
5. Абрамов Ю.О. Моделювання процесу виникнення техногенної аварії на об'єктах підвищеної небезпеки нафтогазової промисловості /

Абрамов Ю.О., Тютюник В.В., Шевченко Р.І. // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2006. – Вип. 3. – С. 5-18.

6. Постанова від 30 листопада 2011 р. № 1232 Деякі питання розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1232-2011-п>.

7. Надежность и эффективность в технике. Справочник в десяти томах. Под ред. акад. АН СССР В.Ф. Уткина, д-ра техн. наук Ю.В. Крючкова. – Москва, Машиностроение, 1990.

8. Полежаєв А.М. Щодо обґрунтування потрібного рівня безпеки територіального елемента з урахуванням рівня його техногенного навантаження / А.М. Полежаєв, О.Д. Малько, С.А. Тузіков // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2013. – № 8(115). – С. 294-296.

9. Полежаєв А.М. До питання побудови моделі техногенної складової життєвого середовища людини / Полежаєв А.М., О.Д. Малько, С.О. Ковжого // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2005. – Вип. 7(47). – С. 143-145.

*Отримано редколегією 14.02.2018*

А.Д. Малько, Е.П. Шароватова, В.М. Цымбал, А.Ю. Бахарева

**О прогнозировании аварий на основе математических моделей надежности технических систем**

Определены условия перехода сложной технической системы в состояние аварии. Предложена модель надежности технической системы потенциально опасного объекта. Разработана многоуровневая система (государство-регион-район) прогнозирования возникновения и предупреждения аварии на потенциально опасном объекте.

**Ключевые слова:** авария, потенциально опасный объект, сложная техническая система, надежность технической системы.

A.D. Malko, E.P. Sharovatova, V.M. Tsymbal, A.Yu. Bakhareva

**The prediction of accidents on the basis of mathematical models of the reliability of technical systems**

Conditions of the transition of the complex technical system in the state of the accident have been determined. The model of the reliability of the technical system of the potentially dangerous object has been proposed. The multi-level system (state-region-district) to predict the occurrence and the prevention of the accident onto the potentially dangerous object has been designed.

**Keywords:** accident, complex technical system, potentially dangerous object, reliability of the technical system.