

О.Д. Малько, С.Р. Артем'єв, Б.М. Цимбал, О.В. Рибалова

Національний університет цивільного захисту України, Харків

## ДВОРІВНЕВА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКУ АВАРІЇ НА ПОТЕНЦІЙНО-НЕБЕЗПЕЧНОМУ ОБ'ЄКТІ

Для прогнозування ризику аварії на потенційно-небезпечному об'єкті запропонована дворівнева математична модель з випадковими вхідними параметрами. В її основу пропонується покласти системно-структурний підхід, за якого технічну систему, тобто, потенційно-небезпечний об'єкт визначається як система, яка складається з різних підсистем. Зв'язок між вектором показників підсистеми і вектором її параметрів пропонується описувати з використанням багатофакторних лінійних регресійних математичних залежностей. Застосування математичної моделі надає можливість визначити основні якості техногенної складової, як складної системи і дозволяє отримувати кількісну оцінку цих якостей. Шляхом зміни параметрів підсистем та взаємозалежності векторів показників підсистем можна визначити передумови та ризик виникнення аварії на потенційно-небезпечному об'єкті. Прогнозування розвитку передумов аварії потенційно-небезпечного об'єкту може бути здійснено шляхом зміни величин коефіцієнтів регресії за часом. Числові значення показників при цьому можуть бути визначені шляхом комп'ютерного моделювання небезпечних процесів потенційно-небезпечного об'єкту, їх функціональних елементів, заснованого на застосуванні комп'ютерних інтерактивних систем інженерного аналізу. За результатами моделювання може запроваджуватись алгоритм управління ризиком аварії та безпекою потенційно-небезпечного об'єкту, який може включати виконання певних процедур, а також постійний моніторинг і контроль.

**Ключові слова:** техногенна безпека, потенційно-небезпечний об'єкт, дворівнева математична модель, багатофакторні лінійні математичні залежності, випадкові вхідні параметри, вектор показників підсистеми, ризик-орієнтований підхід.

### Вступ

Україна відноситься до країн з високим рівнем техногенного навантаження потенційно-небезпечними об'єктами (далі по тексті ПНО). Так, за даними Державної архівної служби України, на січень 2018 року в Державному реєстрі ПНО містились відомості про 21752 тис. об'єктів, до числа яких входять промислові підприємства, шахти, кар'єри, магістральні газо-, нафто- продуктопроводи, гідротехнічні споруди, вузлові залізничні станції, мости, тунелі, накопичувачі та полігони промислових відходів, гідротехнічні споруди, місця збереження боєприпасів та інших небезпечних речовин тощо [1]. Зазначені об'єкти є потужним джерелом радіаційної, хімічної, пожежної та вибухової небезпеки (загрози) для населення і території України. Крім того, серед загроз техногенного характеру велику небезпеку становлять аварії на транспорті та системах життєзабезпечення [2].

Аналіз динаміки розвитку техногенної небезпеки в Україні показує, що незважаючи на зменшення загальної кількості надзвичайних ситуацій (далі по тесту НС) за останнє десятиліття, зберігається високий рівень ризику їх виникнення, а ризики збитків від таких подій залишаються практично незмінними і досить високими для більшості регіонів України. Кількість постраждалих і загиблих від наслідків НС

зменшується не суттєво (рис. 1) [3, С. 244]. Середня величина ризику загинути або постраждати від НС протягом 2016 року ( $R_i^{2016}$ ) становила  $4,79 \cdot 10^{-5}$ , що значно перевищує його прийнятне значення –  $10^{-6}$ , яке за думкою фахівців є тим рівнем, до якого слід прагнути, визначаючи ступінь ризику, який обумовлений впливом небезпек [3–4, С. 19]. Слід відзначити, що із 149 НС, які зареєстровані у 2016 році, 56 є НС техногенного характеру і в порівнянні з 2015 роком їх кількість збільшилась на 11%. [3].

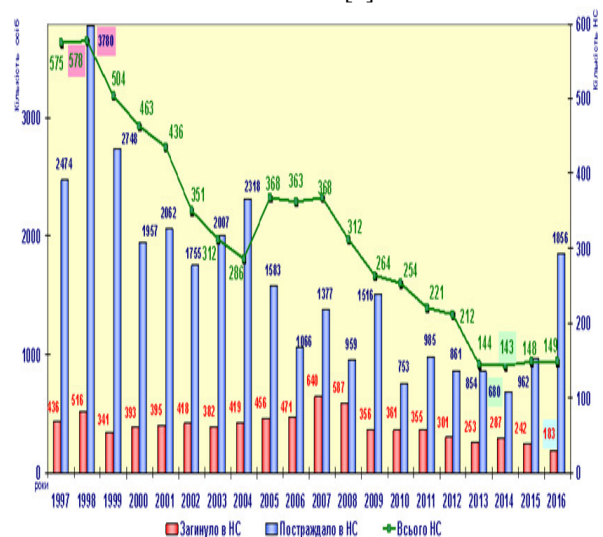


Рис. 1. Динаміка виникнення надзвичайних ситуацій на території України упродовж 1997–2016 років

Така ситуація суттєво впливає на економічне зростання країни. Вагомими подіями, які обумовлюють високу ступінь впливу техногенних загроз на економіку держави, є аварії. Так, за експертними оцінками, лише через аварію на Чорнобильській АЕС до 2015 р. Україна втратила близько 5 щорічних бюджетів [2]. Одним із загальновідомих шляхів запобігання таких аварій є прогнозування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Зважаючи на актуальність вирішення проблеми прогнозування аварій, її дослідженню присвячено чимало наукових праць [5–12].

Так, А.М. Марущак, Р.М. Кирилюк, Д.А. Окіпняк провели аналіз ризиків аварій на промислових об'єктах, розглянули моделі і методики їх оцінки [5]. У своїй публікації О.О. Труш та ін. запропонували метод прогнозування величини ризику виникнення НС техногенного характеру на основі побудови “дерева причин і небезпек” з використанням теорем додавання і перемноження ймовірностей [6]. Однак, в зазначених публікаціях автори не запропонували моделі математичного прогнозування ризику аварій ПНО, використання яких дозволило би застосовувати комп'ютерні методи обробки і аналізу інформації.

У роботі [7] запропоновано алгоритм побудови методики оцінки ризику виникнення аварії ПНО та у відповідності до нього проведено аналіз існуючої методологічної бази у сфері оцінки потенційної небезпеки об'єктів. За результатами аналізу виділено основну базу для створення ефективної методики оцінки ризику виникнення аварій.

У хімічній промисловості Європи для оцінки небезпеки широкого розповсюдження набув метод Hazard and Operability Study (HAZOP) [8–9]. Однак, при застосуванні цього табличного методу мова йде тільки про ідентифікацію загрози й оцінку наслідків. Сам ризик виникнення аварій при цьому не розраховується. В Сполучених Штатах Америки та Японії наряду з вищезазначеними застосовуються також і методи Fault Trees та МОРНА, які описані у [10–11]. Зазначені методи вигідно відрізняються тим, що крім ідентифікації небезпек і їхнього ранжирування дозволяють виявити певні неточності в інструкціях з безпеки, що сприяє їхньому подальшому вдосконаленню. Водночас недоліками зазначених методів є складність їхнього застосування для аналізу комбінацій подій.

Автори статті [12] деталізували задачу прогнозування виникнення техногенної надзвичайної ситуації в умовах стохастичної невизначеності початкової інформації, обґрунтували вимоги до показників невизначеності та вибрали розрахункову математичну модель техногенної складової надзвичайної ситуації. Разом з тим, математична модель техногенної складової надзвичайної ситуації в умовах стохастичної невизначеності початкової інформації є достатньо складною і для перевірки адекватності такої моделі, наприклад емпіричним методом, необхідні зусилля широкого кола фахівців, що зробити достатньо важко, а іноді, і неможливо.

Як свідчить наведений аналіз останніх досліджень і публікацій, на сьогоднішній день існує низка методичних підходів до аналізу та оцінки ризику аварій шляхом прогнозування. Однак, на нашу думку, заслуговує більше уваги дослідження можливостей використання багатofакторних лінійних регресійних математичних залежностей. Також, ризикорієнтований підхід (далі по тексту РОП) і його використання для дослідження ризику аварій на ПНО потребує подальшого обґрунтування.

Основні принципи РОП наступні [16]:

- рівень безпеки кожного громадянина, виробництва чи суспільства загалом має визначатися рівнем ризику;
- безпека – це прийнятний рівень ризику;
- ризик у кожному окремому випадку має враховувати всі джерела, фактори і обставини, що сприяють появі та розвитку небезпеки;
- ризик є добутком ймовірностей небажаної події та її наслідків;
- усі заходи щодо запобігання небезпеці мають визначатися за допомогою розрахунків, узгоджених з досвідом фахівців.

**Метою статті** є розробка моделі прогнозування ризику аварії на ПНО з використанням сучасних методів математичного моделювання.

Для досягнення поставленої мети визначені наступні завдання:

- обґрунтування підходу до побудови математичної моделі, яка б дозволяла описувати ПНО як технічну систему, що складається з різних підсистем;
- визначення зв'язків між вектором показників підсистем і векторами їх параметрів та їх опис;
- вибір методів зміни параметрів підсистем та взаємозалежності векторів показників підсистем, які дозволять передбачити передумови та ризик виникнення аварії на ПНО;
- побудова і використання алгоритму управління ризиком.

## Виклад основного матеріалу

РОП передбачає створення та аналіз на імовірному полі недопустимих зон ризику. Подальшим логічним продовженням цього підходу, на наш погляд, є проєкція зон недопустимого ризику на простір параметрів та показників технічної системи (далі по тексту ТС). Надалі можливо використання цієї проєкції для проведення періодичного виміру параметрів та показників ТС (в умовах постійного моні-

торингу). Це дозволяє здійснити розробку пропозицій щодо запобігання надзвичайної ситуації.

Математична модель, яка будується з врахуванням зазначених зауважень, має віддзеркалювати основні якості техногенної складової, як складної системи. Також, побудована модель повинна: дозволити отримувати кількісну оцінку якостей техногенної складової, а також відповідати визначеним вимогам [13]:

- достатньо повно описувати елементи системи та взаємозв'язки проміж ними;
- базуватися на вихідних даних, які є у наявності, або можуть бути отримані;
- урахувувати невизначеність параметрів системи та зв'язок між її елементами;
- дозволяти отримувати прогноз розвитку системи за часом;
- дозволяти отримувати інформацію, яка, безпосередньо, не існує;
- дозволяти оперативно обновляти інформацію у процесі досліджень;
- обов'язково представляти взаємозв'язки і взаємозалежності у формальному вигляді;
- дозволяти проведення розрахунків показників системи у масштабі реального часу;
- бути достатньо простою та адекватною;
- забезпечувати необхідну надійність тощо.

З метою досягнення відповідності наведеним вимогам, для прогнозування ризику НС, пропонується побудувати дворівневу математичну модель ПНО з випадковими вхідними параметрами [14]. На першому рівні математична модель будується на основі системно-структурного підходу, тобто ПНО визначається як складна система, яка складається з різних, навіть за природою, підсистем.

Кожна підсистема ПНО (на другому рівні моделі) буде характеризуватися вектором вхідних взаємопов'язаних параметрів, які мають випадкову основу

$$\bar{X} = \{X_{i_1}, X_{i_2}, \dots, X_{i_j}, \dots, X_{i_{n_i}}\}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (1)$$

де  $m$  – кількість підсистем, які моделюються у складі системи ТС;  $n_i$  – розмір вектору параметрів  $i$ -ї підсистеми ТС, а також вектором вихідних параметрів (вектором показників підсистеми ПНО):

$$\bar{Y}_i = \{Y_{i_1}, Y_{i_2}, \dots, Y_{i_{r_i}}\}, \quad (2)$$

де  $r_i$  – розмір вектору показників  $i$ -ї підсистеми.

Слід врахувати, що компоненти векторів параметрів та показників підсистеми ПНО заміряються у моменти часу  $t_1, t_2, \dots, t_k$ . Зв'язок між вектором показників підсистеми ПНО і вектором її параметрів пропонується, як варіант, описувати з використан-

ням багатofакторних лінійних регресійних математичних залежностей типу

$$\bar{Y}_i = \|A\| \bar{X}_i, \quad (3)$$

де  $\|A\|$  – матриця коефіцієнтів регресії  $i$ -ї підсистеми розміром  $r_i \times n_i$  [14].

Використання наведеної математичної моделі ПНО дозволяє, з одного боку, достатньо просто пов'язати випадкові компоненти вектору параметрів, а з іншого, оцінити кількісно (з допомогою коефіцієнтів регресії) реальний вплив кожної компоненти вектору параметрів на кожну компоненту вектору показників підсистеми.

Коефіцієнти регресії визначаються за допомогою статистичної обробки компонент векторів параметрів та показників підсистеми. Визначені коефіцієнти регресії віддзеркалюють вплив сукупності вхідних параметрів підсистем на компоненти вектору вихідних показників, незалежно від того, урахувані ці параметри в математичній моделі чи ні. Звідси появляється можливість за допомогою, наприклад, методів компонентного аналізу виділити цей вплив.

Систематизація, аналіз та обробка статистичної інформації при побудові математичної моделі ПНО, на наш погляд, дозволить у багатомірному просторі параметрів будь-якої підсистеми ПНО визначити допустиму область значень параметрів, в якій, з заданим рівнем імовірності виключається (або виявляється) виникнення аварії ПНО. Таким чином, у просторі взаємозалежних параметрів підсистеми ПНО створюється проекція недопустимої зони ризику.

Прогнозування розвитку передумов аварії ПНО може бути здійснено шляхом зміни величин коефіцієнтів регресії за часом. Ці коефіцієнти визначають тенденцію змін впливовості вхідних параметрів підсистеми ПНО на її вихідні показники та при прогнозуванні використовуються як можливі значення випадкових величин

$$A_{ij} = f[\bar{X}_i(t_1), \bar{X}_i(t_2), \bar{X}_i(t_k), \bar{Y}_i(t_1), \bar{Y}_i(t_2), \bar{Y}_i(t_k)] \quad i = \overline{1, m}, \quad (4)$$

де  $k$  – кількість разів оновлення інформації (векторів  $\bar{X}_i$  та  $\bar{Y}_i$ ).

Взаємозалежність векторів показників підсистем пропонується урахувувати на першому рівні математичної моделі шляхом використання методів багатofакторного прогнозу [13], який зводиться до побудови статистичних залежностей типу

$$\bar{Y}_g = f(\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \dots, \bar{Y}_i, \dots, \bar{Y}_m), \quad i \neq g, \quad g = \overline{1, m}. \quad (5)$$

Сумісне використання залежностей (3–5) дозволяє спроектувати допустиму область параметрів на допустиму область значень показників. Це дозволить з заданою імовірністю визначити ризик виник-

нення аварії на ПНО у межах системи. Багаторазове використання залежності (5) надасть можливість, здійснювати прогноз тенденцій змін взаємозалежності векторів показників підсистем у межах системи. Числові значення показників при цьому можуть бути визначені шляхом комп'ютерного моделювання небезпечних процесів ПНО їх функціональних елементів, заснованого на застосуванні комп'ютерних інтерактивних систем інженерного аналізу [15].

Визначення ризику виникнення аварії на ПНО за результатами моделювання дозволяє перейти до побудови і використання алгоритму управління ризиком, який може включати виконання шести процедур, а також постійний моніторинг і контроль. Процедури алгоритму управління ризиком включають [16]:

1. Планування управління ризиками – процес прийняття рішень щодо застосування методології РОП для попередження аварій і регулювання безпеки ПНО.

2. Ідентифікацію ризиків – визначення того, які ризики можуть вплинути на безпеку ПНО.

3. Якісну оцінку ризиків – процес якісного аналізу результатів ідентифікації, а також визначення подій, які роблять найбільший внесок у загальний ризик виникнення аварії на ПНО і потребують вживання заходів щодо його зниження.

4. Кількісну оцінку ризиків – визначення ймовірності виникнення ризиків аварій на ПНО і впливу їх наслідків; це допомагає приймати оптимальні рі-

шення й уникати невизначеності в процесі управління безпекою ПНО.

5. Планування реагування на ризики – розроблення методів і технологій зниження негативних наслідків ризиків аварій на ПНО.

6. Реалізацію прийнятого рішення – заключний етап усієї роботи з управління ризиками аварій на ПНО на основі попереднього планування.

## Висновки

Таким чином, розробка та застосування дворівневої математичної моделі з випадковими вхідними параметрами віддзеркалює основні якості ПНО як складної системи і дозволяє отримувати кількісну оцінку цих якостей.

Зв'язок між вектором показників підсистеми ПНО і вектором її параметрів встановлюється з використанням багатofакторних лінійних регресійних математичних залежностей.

Шляхом зміни параметрів підсистем та взаємозалежності векторів показників підсистем можна передбачити передумови і ризик виникнення аварій на ПНО.

Використання результатів моделювання небезпечних процесів та їх функціональних елементів дозволить здійснювати управління ризиком аварій на ПНО.

## Список літератури

1. Департамент страхового фонду документації Укрдержархіву від 2018 р. Державний реєстр ПНО [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://sfd.archives.gov.ua/page4.html>.
2. Качинський А.Б. Оцінка економічного ризику надзвичайних ситуацій в областях Західного регіону України / А.Б. Качинський, С.П. Іванюта // Регіональна економіка. – 2012. – № 2. – С. 62-67.
3. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2016 рік. – К.: ДСНС України, 2017. – 433 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dsns.gov.ua/files/2017/8/18/Analit%20dopovid/1%20stan.pdf>.
4. Хенли Дж. Надежность технических систем и оценка риска: пер. с англ. / Дж. Хенли, Х. Кумamoto. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
5. Оцінювання ризику аварій в системі безпеки промислових об'єктів / А.М. Марушак, Р.М. Кирилюк, Д.А. Окіпняк // Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету. – 2011. – Вип. 19. – С. 516-519.
6. Метод прогнозування величини ризику виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру / О.О. Труш, В.Д. Степаненко, М.Г. Сергієчко, Н.О. Олександров // Системи обробки інформації. – 2005. – № 7(47). – С. 157-160.
7. Шевченко Р.І. Аналіз методологічної бази з оцінки ризику виникнення аварії на потенційно небезпечних об'єктах / Р.І. Шевченко, Д.В. Тарадуда, В.В. Палюх // Збірник наукових праць НУЦЗУ. – 2012. – № 16. – С. 138-148.
8. A Guide to Hazard and Operability Studies / Chemical Industries Association. – London: Chemical Industry Safety and Health Council of the Chemical Industries Association, 1977. – 42 p.
9. Mock R. Risk Analysis Methods in Processing Industry. In: Risk Analysis: Opening the Process / R. Mock, J. Mahnen // Proceedings of the SRA-E 8th Conference October 11-14, 1998. – Paris, 1999. – Vol. 2. – ISPN, Fontenayaux-Roses, P. 1145-1156.
10. Nakagawa M. The New Methodology of Quantitative Process Hazard Analysis (MQPHA) / M. Nakagawa, T. Shirao, Y. Kawasaki // PSAM 5 – Proceedings of the 5th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management. – Vol. 1. – Tokyo: Universal Academy Press, Inc. – P. 307-313.
11. Powers G.J. Synthesis Strategy for Fault Trees in Chemical Processing / G.J. Powers, F.C. Tompkins // CEP Loss Prevention A. IChemE, 1973. – Vol. 8.

12. Щодо визначення критичної величини показника загрози виникнення надзвичайної ситуації в умовах випадковості інформації / А.М. Полєжаєв, С.О. Ковжого, О.Д. Малько, А.В. Писарєв // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – № 1(25). – С. 180-182.
13. Голубева Н.В. Основы математического моделирования систем и процессов / Н.В. Голубева. – Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2006. – 95 с.
14. Степанишин В.М. Побудова моделі кореляційного аналізу для дослідження багатофакторних процесів і явищ / В.М. Степанишин, Л.О. Тисовський // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. – 2012. – № 736. – С. 133-138.
15. Справочник по экономико-математическим моделям и методам. – Киев: Техника, 1982. – 208 с.
16. Морозов А.О. Наукові основи впровадження ризик-орієнтованого підходу в управлінні техногенно-екологічною безпекою (за матеріалами доповіді на засіданні Президії НАН України 17 червня 2015 р.) / А.О. Морозов // Вісник НАН України. – 2015. – № 8. – С. 24-31.

## References

1. Department strahovogo fondu dokumentaciyi Ukrderzhzharrhivu (2018), “*Derzhavnyj reyestr PNO*” [State Registry PNO], available at: [www.sfd.archives.gov.ua/page4.html](http://www.sfd.archives.gov.ua/page4.html).
2. Kachinskij, A.B. and Ivanyuta, S.P. (2012), “Ocinka ekonomichnogo riziku nadzvichajnih situacij v oblastyah Zahidnogo regionu Ukrainii” [Estimation of the economic risk of emergencies in the areas of western region of Ukraine], *Regionalna ekonomika*, No. 2, pp. 62-67.
3. DSNS Ukraini (2017), “*Analitichnij ogyhad stanu tehnogennoi ta prirodnoi bezpeki v Ukraini za 2016 rik*” [Analytical review of the state of man-made and Natural Safety in Ukraine for 2016], Kyiv, 433 p., available at: [www.dsns.gov.ua/files/2017/8/18/Analit%20dopovid/1%20stan.pdf](http://www.dsns.gov.ua/files/2017/8/18/Analit%20dopovid/1%20stan.pdf).
4. Henli, Dzh. and Kumamoto, H. (1984), “*Nadezhnost' tehniceskikh sistem i ocenka riska*” [Reliability of technical systems and risk assessment], Mashinostroyenie, Moscow, 528 p.
5. Marushak, A.M., Kyryljuk, R.M. and Okipnjak, D.A. (2011), “Ocinyuvannya riziku avarij v sistemi bezpeki promislovih ob'ektiv” [Assessment of the risk of accidents in the security system of industrial facilities], *State and regions*, pp. 516-519.
6. Trush, O.O., Stepanenko, V.D., Serghijechko, M.Gh. and Oleksandrov, N.O. (2005), “Metod prognozuvannya velichini riziku viniknennja nadzvichajnih situacij tehnogennoho harakteru” [Method of forecasting the magnitude of the risk of emergency situations of anthropogenic nature], *Information Processing Systems*, No. 7(47), pp. 157-160.
7. Shevchenko, R.I., Taraduda, D.V. and Paljuh, V.V. (2012), “Analiz metodologichnoi bazi z ocinki riziku viniknennja avarij na potencijno nebezpechnih obyektah” [Analysis of the methodological base to assess the risk of an accident at potentially hazardous facilities], *Zbirka naukovih prac' NUCZU*, No. 16, NUCZU, Kharkiv, pp. 138-148.
8. Chemical industries association (1977), *A Guide to Hazard and Operability Studies*, Chemical industry safety and health council of the Chemical industries association, 42 p.
9. Mock, R. and Van Mahnen, J. (1999), Risk Analysis Methods in Processing Industry, *Risk Analysis: Opening the Process. Proceedings of the SRA-E 8th Conference October 11-14, 1998*, Vol. 2, ISPN, Fontenay-aux-Roses, Paris, pp. 1145-1156.
10. Nakagawa, M. Shirao, T. and Kawasaki, Y. (2005), The New Methodology of Quantitative Process Hazard Analysis (MQPHA), *PSAM 5 – Proceedings of the 5th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management*, Vol. 1, Universal Academy Press, Inc., Tokyo, pp. 307-313.
11. Powers, G.J. and Tompkins, F.C. (1973), Synthesis Strategy for Fault Trees in Chemical Processing, *CEP Loss Prevention. A. IChemE*, Vol. 8.
12. Poliezhayev, A.M., Kovzhoha, S.O., Malko, O.D. and Pysariev, A.V. (2011), “Shchodo vyznachennia krytychnoi velychyny pokaznyka zahrozy vynykennia nadzvichajnoi sytuatsii v umovakh vypadkovosti informatsii” [Concerning the definition of the critical value of the indicator of the threat of an emergency situation in the event of a random information], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 1(25), pp. 180-182.
13. Golubeva, N.V. (2006), “*Osnovy matematicheskogo modelirovanija sistem i processov*” [Fundamentals of mathematical modeling of systems and processes], Омский госуниверситет путей сообщения, Омск, 95 p.
14. Stepanishin, V.M. and Tisovskij, L.O. (2012), “Pobudova modeli koreljacijnogo analizu dlja doslidzhennja bagatofaktornih procesiv i javishh” [Construction of a correlation analysis model for the investigation of multifactorial processes and phenomena], *Visnik Nacional'nogo universitetu “L'vivs'ka politehnika”*, No. 736, pp. 133-138.
15. (1982), “*Spravochnik po ekonomiko-matematicheskim modelyam i metodam*” [Handbook of economic and mathematical models and methods], Tehnika, Kyiv, 208 p.
16. Morozov, A.O. (2015), “Naukovoyi osnovi vprovadzhennja rizik-orientovanogo pidhodu v upravlinni tehnogenno-ekologichnoju bezpekoju (za materialami naukoivoi dopovidi na zasidanni Prezidiyi NAN Ukraini 17 chervnja 2015 r.)” [Scientific fundamentals of implementation of a risk-oriented approach in the management of technogenic and ecological safety (according to the materials of the scientific report at the session of the Presidium of the National Academy of Sciences of Ukraine, June 17, 2015)], *Visnik NAN Ukrainy*, No. 8, pp. 24-31.

Надійшла до редколегії 19.12.2018

Схвалена до друку 17.01.2019

**Відомості про авторів:****Малько Олександр Дмитрович**

кандидат військових доцент  
доцент Національного університету  
цивільного захисту України,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-4868-7887>

**Артем'єв Сергій Робленович**

кандидат технічних наук доцент  
завідувач кафедри Національного університету  
цивільного захисту України,  
Харків, Україна  
<http://orcid.org/0000-0002-9086-2856>

**Цимбал Богдан Михайлович**

кандидат технічних наук  
старший викладач  
Національного університету  
цивільного захисту України  
Харків, Україна, 61023  
<https://orcid.org/0000-0002-2317-3428>

**Рибалова Ольга Володимирівна**

кандидат технічних наук доцент  
доцент  
Національного університету  
цивільного захисту України  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-8798-4780>

**Information about the authors:****Oleksander Malko**

Candidate of Military Sciences Associate Professor  
Senior Lecturer of National University of Civil  
Defence of Ukraine,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-4868-7887>

**Sergey Artem'yev**

Candidate of Technical Sciences Associate Professor  
Head of Department of National University  
of Civil Defence of Ukraine,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-9086-2856>

**Bogdan Tsimbal**

Candidate of Technical Sciences  
Senior Instructor  
of National University  
of Civil Defence of Ukraine,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-2317-3428>

**Olga Rybalova**

Candidate of Technical Sciences Associate Professor  
Senior Lecturer  
of National University  
of Civil Defence of Ukraine,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-8798-4780>

### ДВУХУРОВНЕВАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКА АВАРИЙ НА ПОТЕНЦИАЛЬНО-ОПАСНОМ ОБЪЕКТЕ

А.Д. Малько, С.Р. Артемьев, Б.М. Цымбал, О.В. Рыбалова

*Для прогнозирования риска аварии на потенциально опасном объекте предложена двухуровневая математическая модель со случайными входными параметрами. В ее основу предлагается положить системно-структурный подход, то есть техническую систему предлагается определять как сложную систему, состоящую из различных подсистем. Связь между вектором показателей подсистемы и вектором ее параметров предлагается описывать с использованием многофакторных линейных регрессионных математических зависимостей.*

**Ключевые слова:** техногенная опасность, потенциально опасный объект, двухуровневая математическая модель, многофакторные линейные математические зависимости, случайные входные параметры, вектор показателей подсистемы, риск-ориентированный подход.

### A TWO-LEVEL MATHEMATICAL MODEL FOR PREDICTING THE RISK OF ACCIDENTS AT A POTENTIALLY HAZARDOUS FACILITY

A. Malko, S. Artemyev, B. Tsymbal, O. Rybalova

*To predict the risk of the accident at the potentially hazardous facility, the two-level mathematical model with random input parameters have been proposed. It is based on the system-structural approach, according to which the potentially dangerous object have been defined as the system consisting of different subsystems. The relationship between the vector of indicators of the subsystem and the vector of its parameters using multi-factor linear regression mathematical dependencies has been described. Application of the mathematical model provides the opportunity to determine basic qualities of the man-made component, as a complex system and allows to get the quantitative assessment of these qualities. By changing parameters of the subsystems and the interdependence of vectors of the subsystem indices preconditions and the risk of the accident on the potentially dangerous object has been determined. The prediction of the development of preconditions for the accident of the potentially dangerous object by changing values of time regression coefficients has been carried out. Numerical value of indicators has been determined by the computer simulation of dangerous processes of the potentially dangerous object and their functional elements in the application of the computer interactive systems of the engineering analysis. According to simulation results, the algorithm for managing the risk of the accident and the safety of a potentially dangerous object has been used, which includes performing certain procedures and the continuous monitoring.*

**Keywords:** complex system potentially dangerous object, computer simulation, engineering analysis, multi-factor linear mathematical dependencies, random input parameters, subsystem vector of indicators, risk-oriented approach.