

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ЗАГРОЗ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В ЗОНІ ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ

*Рустам Мурасов, Тимур Куртсейтов, Сергій Чумаченко, Оксана Луньова,
Олексій Пиріков, Андрій Луньов, Світлана Чумаченко*

В роботі досліджується математична модель оцінювання загроз для потенційно небезпечних об'єктів критичної інфраструктури в зоні ведення бойових дій. З використанням теорії графів та теорії імовірності запропоновано підхід, що дозволяє отримати кількісні оцінки та провести аналіз можливих сценаріїв розвитку надзвичайної ситуації. Ця робота буде корисною при розробці різного класу математичних моделей для оцінювання еколого-техногенних загроз для об'єктів критичної інфраструктури в зоні ведення бойових дій.

Ключові слова: математична модель, потенційно небезпечні об'єкти, критична інфраструктури, оцінювання, еколого-техногенні загрози, топологія графа, складна система, імовірність катастроф.

The paper examines a mathematical model of threat assessment for potentially dangerous objects of critical infrastructure in the combat zone. Using the theory of graphs and the theory of probability, an approach is proposed that allows obtaining quantitative estimates and conducting an analysis of possible scenarios of the development of an emergency situation. This work will be useful in the development of different classes of ecological and man-made threat assessment mathematical models for critical infrastructure facilities in the war zone.

Keywords: mathematical model, potentially dangerous objects, critical infrastructure, assessment, ecological and man-made threats, graph topology, complex system, probability of disasters.

Вступ

Екологічна й техногенна безпека та збалансований розвиток усіх сфер життєдіяльності сучасного суспільства значною мірою залежать від безпеки потенційно небезпечних об'єктів критичної інфраструктури (ПНО КІ), ураження яких може призвести до кризових і надзвичайних ситуацій (НС) [1]. Багато з цих об'єктів є потенційно-небезпечними для навколишнього середовища через наявність складних технологічних процесів із використанням небезпечних хімічних речовин.

Актуальність проблеми оцінювання потенційних техногенних загроз обумовлена в першу чергу складною обстановкою на сході України, де значна кількість (ПНО КІ знаходиться в зоні впливу збройного конфлікту. Для складних технічних систем, до яких також відноситься критична інфраструктура (системи електроживлення та енергопостачання, водопостачання та водовідведення і т. ін.), актуальною проблемою є забезпечення об'єктивності, достовірності та адекватності прогнозування і попередження НС і можливих каскадних («доміно») ефектів, що можуть призвести до техногенних аварій і катастроф. Це може суттєво вплинути на функціонування, стійкість і живучість ПНО КІ, еколого-техногенну безпеку прилеглих територій і безпеку життєдіяльності населення [2, 14, 15] та особового складу ЗС України. Ймовірність виникнення загроз та можливі наслідки таких ситуацій, наявність умов і чинників їх виникнення визначаються як цілеспрямованими (диверсія, бойові дії, саботаж, кібератаки), так і стохастичними процесами, що за своєю сутністю характеризуються як воєнно-техногенні загрози для зони ведення бойових дій. У разі ураження ПНО КІ, які можуть бути раптовими та інтенсивними, це призведе до НС техногенного характеру.

Одним із перспективних напрямків дослідження в галузі оцінки воєнно-техногенних загроз і ризиків для ПНО КІ в зоні ведення бойових дій є аналіз кризових ситуацій та пов'язаних з ними каскадних («доміно») ефектів, що в подальшому внаслідок техногенної аварії можуть призвести до значних людських жертв серед населення та небойових втрат серед військовослужбовців.

Аналіз літератури і постановка проблеми

В ході аналізу наукових публікацій [3, 4, 5], що стосуються підходів до оцінювання загроз, було виявлено недостатній рівень застосування методів математичного і комп'ютерного моделювання для ПНО КІ. Здебільшого автори використовують системний підхід із використанням експертних оцінок, метод контрольних списків і метод «дерева подій».

На думку ряду експертів [6], наразі не існує загальноприйнятої моделі для оцінювання загроз для ПНО КІ, а є лише часткові рішення для конкретних випадків [2, 7, 8]. Тому метою цієї статті є розробка підходів до створення математичної моделі оцінювання загроз для ПНО КІ з використанням структурно-логічної моделі каскадних ефектів [9].

Викладення основного матеріалу.

Розглянемо моделювання комбінацій загроз із метою формування загальної оцінки можливих негативних наслідків і соціо-еколого-економічних збитків на прикладі ПНО КІ Авдіївського коксо-хімічного заводу (ПРАТ «АКХЗ»).

Узагальнена математична модель для оцінювання загроз і ризиків для ПНО КІ наведена на рис. 1.

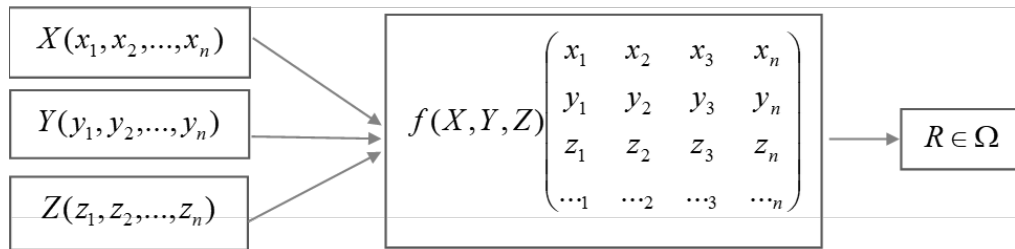


Рис. 1. Узагальнена математична модель оцінювання загроз для ПНО КІ

Символами X , Y , Z представлено вектори станів ПНО КІ (кількість векторів залежить від складу чинників, що впливають на ПНО КІ). Функція f дозволяє отримати прогностичні оцінки загроз для об'єктів КІ R , що поєднують між собою множини станів ПНО КІ. Розглянемо розробку математичної моделі на конкретному прикладі ПНО КІ, що розташовані поблизу лінії розмежування в зоні ведення бойових дій.

На рис. 2 представлено результат ідентифікації небезпек від накопичувачів ПРАТ «АКХЗ» [10], що можуть призвести до розвитку НС.

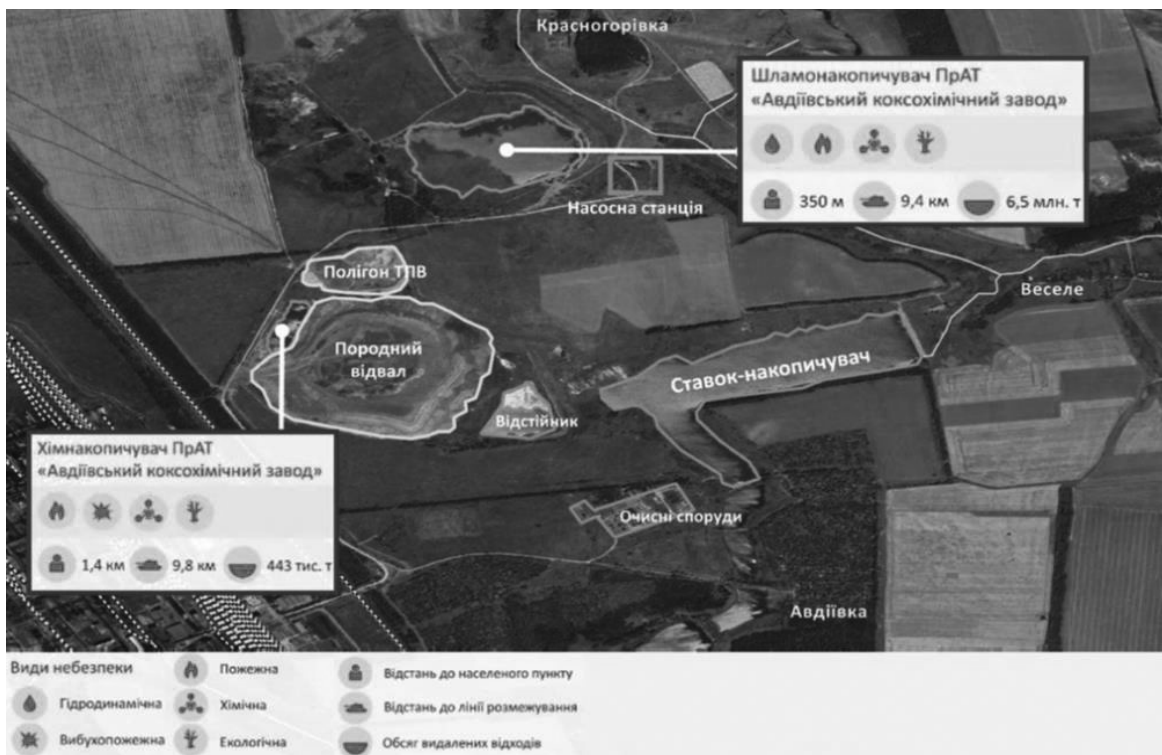


Рис. 2. Ідентифікація небезпек від накопичувачів ПРАТ «АКХЗ», що можуть призвести до розвитку НС унаслідок їх ураження. [10]

Математична модель загроз для ПНО КІ будується на основі фундаментальних положень сучасної теорії графів [13].

Для дослідження узагальноної моделі розвитку кризової ситуації внаслідок ураження ПНО КІ особливе місце має структуризація подій в складі орграфу, що відповідають його ізольованим, висячим та тупиковим вершинам.

Для отримання узагальноної математичної моделі будемо розглядати імовірні варіанти ураження ПНО КІ в зоні ведення бойових дій. Необхідно зазначити, що безпека ПНО КІ характеризується станом об'єкта (системи), але на практиці часто виділяють скінченне число можливих станів. Такий підхід призводить до використання структурно-логічних моделей систем, що складаються з неоднорідних (таких, що мають неідентичні множини станів) об'єктів. Алгоритм обчислення імовірнісних характеристик реалізації сценаріїв запропоновано в [11].

Побудова математичної моделі здійснюється шляхом виконання таких процедур:

1. Визначення подій в сценарії розвитку ситуації (складові елементи сценарію, що здійснюють потенційний вплив на реалізацію загрози).

Позначимо множину таких елементів

$$I = \{1, 2, \dots, n\}. \tag{1}$$

У таблиці 1 для обраного прикладу наведені події та їх послідовна нумерація.

Таблиця 1. Характеристики подій

№ подій	Опис відповідної події
1	Прорив дамби шламонакопичувача
2	Затоплення села Красногорівка
3	Загибель людей і сільських тварин
4	Забруднення значної території відходами із шламонакопичувача
5	Забруднення річок Кам'янка й Очеретувата та р. Кривий Торець
6	Забруднення басейну річки Сіверський Донець
7	Транскордонне забруднення басейну нижнього Дону
8	Затоплення села Веселе
9	Влучення снаряду в хімічний накопичувач
10	Руйнування гідро бар'єру
11	Вторинне забруднення ґрунтових вод
12	Вторинне забруднення шламонакопичувача хім. речовинами з хім. накопичувача
13	Виникнення пожежі на хім. накопичувачі
14	Виникнення пожежі на породному відвалі
15	Забруднення приземного шару повітря
16	Задимлення прилеглої території (залізничного полотна і полігону твердих побутових відходів (ТПВ))
17	Перекидання пожежі на прилеглу територію (залізницю і полігон ТБВ)

2. Визначення множини можливих станів подій $i \in I$, що впливають на рівень загрози.

Нехай для події $i \in I$ визначено m_i (задане скінчене число) різних станів, що впливають на реалізацію сценарію загрози. Тоді позначимо множину станів події $i \in I$:

$$S_i = \{s_i(1), s_i(2), \dots, s_i(m_i)\} \subset N. \tag{2}$$

Для кожної події $i \in I$ множина S_i містить індекси, що відповідають властивим для даної події станам безпеки або небезпеки.

3. Формування сценаріїв розвитку загрози (визначення ланок, що складаються з пар: «подія – перехід в заданий стан»), що призводять до реалізації загрози, представлено структурно-логічною моделлю розвитку кризової ситуації, що має складну структуру за різним варіантами розвитку сценарію на прикладі ПрАТ «АКХЗ» [9], на рис. 3.

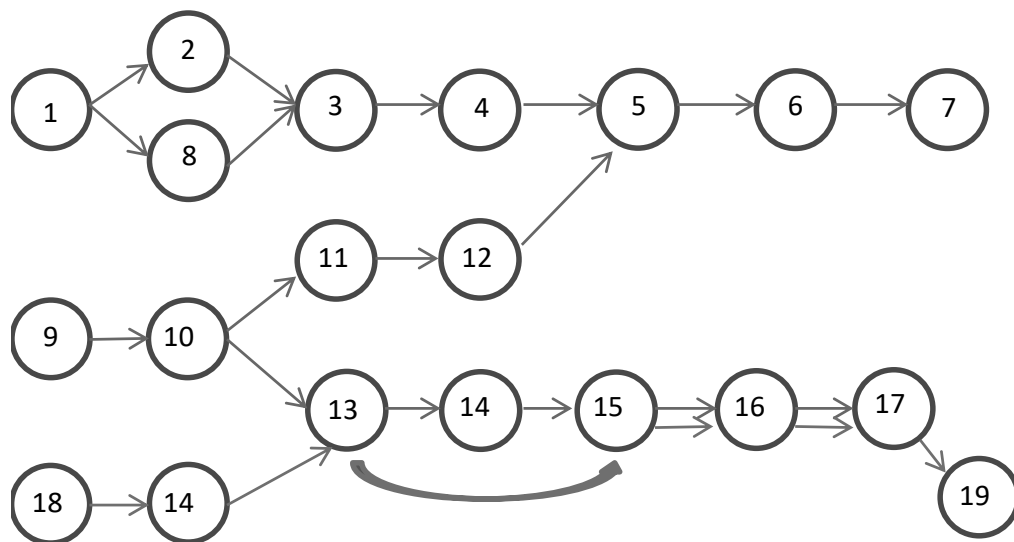


Рис. 3. Узагальнена структурно-логічна модель розвитку НС унаслідок ураження ПНО КІ Авдіївського коксо-хімічного заводу у вигляді оргграфу

4. Формування оргграфу сценаріїв загроз (структурно-логічна модель, що включає всі сценарії реалізації загрози) представлено на рис. 4.

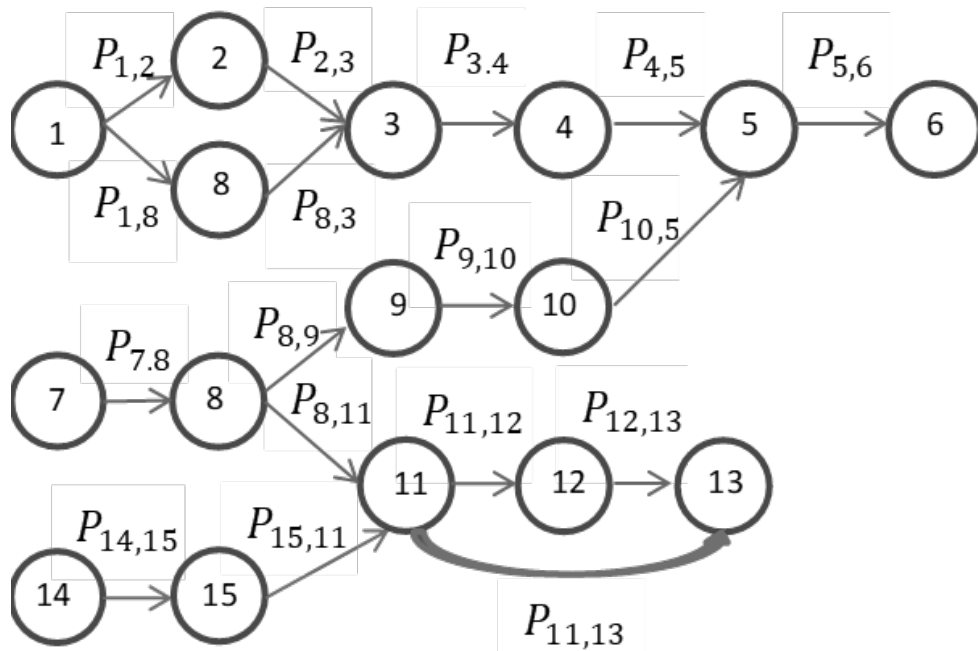


Рис. 4. Оргграф сценаріїв розвитку НС на ПНО КІ з визначенням імовірностей переходів подій

5. Оцінка ймовірностей станів подій та їх переходів.

Припустимо, що стан події $i \in I$ описується дискретною випадковою величиною x_i . Позначимо $p_i(s)$ – ймовірність перебування події $i \in I$ в стані $s \in S_i$, тобто, $p_i(s) = P\{x_i = s\}, s \in S_i$.

Через відсутність на сьогодні достатньої статистики для розрахунку ймовірнісних оцінок можливого розвитку НС відповідно до визначених сценаріїв застосовують методи експертних оцінок, що дозволяють визначити значення ймовірностей переходу від однієї до іншої події (відповідно ребрам орієнтовного графу на Рис.4).

Кожне ребро орієнтовного графу буде мати відповідне значення P_{ii} де $0 \leq P \leq 1$. Припустимо, що величини $x_i, i \in I$ стохастично незалежні, а ймовірності $p_i(s) = P\{x_i = s\}, s \in S_i$ задані на основі експертних оцінок через брак повної статистики. Тоді ймовірності переходів від однієї події до іншої представимо у вигляді значень, визначених експертами, і наведених у таблиці 2.

Таблиця 2. Характеристики подій

$P_{1,2}$	$P_{2,3}$	$P_{3,4}$	$P_{4,5}$	$P_{5,6}$
0,2	0,1	0,3	0,1	0,3
$P_{1,8}$	$P_{8,3}$	$P_{3,4}$	$P_{4,5}$	$P_{5,6}$
0,2	0,1	0,3	0,1	0,3
$P_{7,8}$	$P_{8,9}$	$P_{9,10}$	$P_{10,5}$	$P_{5,6}$
0,1	0,4	0,1	0,1	0,3
$P_{7,8}$	$P_{8,11}$	$P_{11,12}$	$P_{12,13}$	
0,1	0,3	0,4	0,2	
$P_{14,15}$	$P_{15,11}$	$P_{11,13}$		
0,3	0,5	0,2		

6. Оцінювання ймовірності реалізації сценаріїв загроз.

Відповідно, ймовірність реалізації сценаріїв загроз можливо обрахувати за допомогою теореми повної ймовірності [12]:

$$P_{\text{сценарію}} = 1 - \prod(1 - P_i), (i \in A_k), \quad (3)$$

$$\begin{cases} P_1 = 1 - \prod(1 - P_i), (i \in A_1) \\ P_2 = 1 - \prod(1 - P_i), (i \in A_2), \\ \dots \\ P_n = 1 - \prod(1 - P_i), (i \in A_n) \end{cases} \quad (4)$$

де P_i ($i=\overline{1, n}$) – визначена імовірність події критичної ситуації, A_k -це k-й сценарій розвитку ситуації, який включає у себе визначені події.

Таким чином маємо:

$$\begin{cases} P_1 = 1 - (1 - P_{1,2})(1 - P_{2,3})(1 - P_{3,4})(1 - P_{4,5})(1 - P_{5,6}); \\ P_2 = 1 - (1 - P_{1,2})(1 - P_{8,3})(1 - P_{3,4})(1 - P_{4,5})(1 - P_{5,6}); \\ P_3 = 1 - (1 - P_{7,8})(1 - P_{8,9})(1 - P_{9,10})(1 - P_{10,5})(1 - P_{5,6}); \\ P_4 = 1 - (1 - P_{7,8})(1 - P_{8,11})(1 - P_{9,10})(1 - P_{11,12})(1 - P_{12,13}); \\ P_5 = 1 - (1 - P_{14,15})(1 - P_{15,11})(1 - P_{11,13}). \end{cases} \quad (5)$$

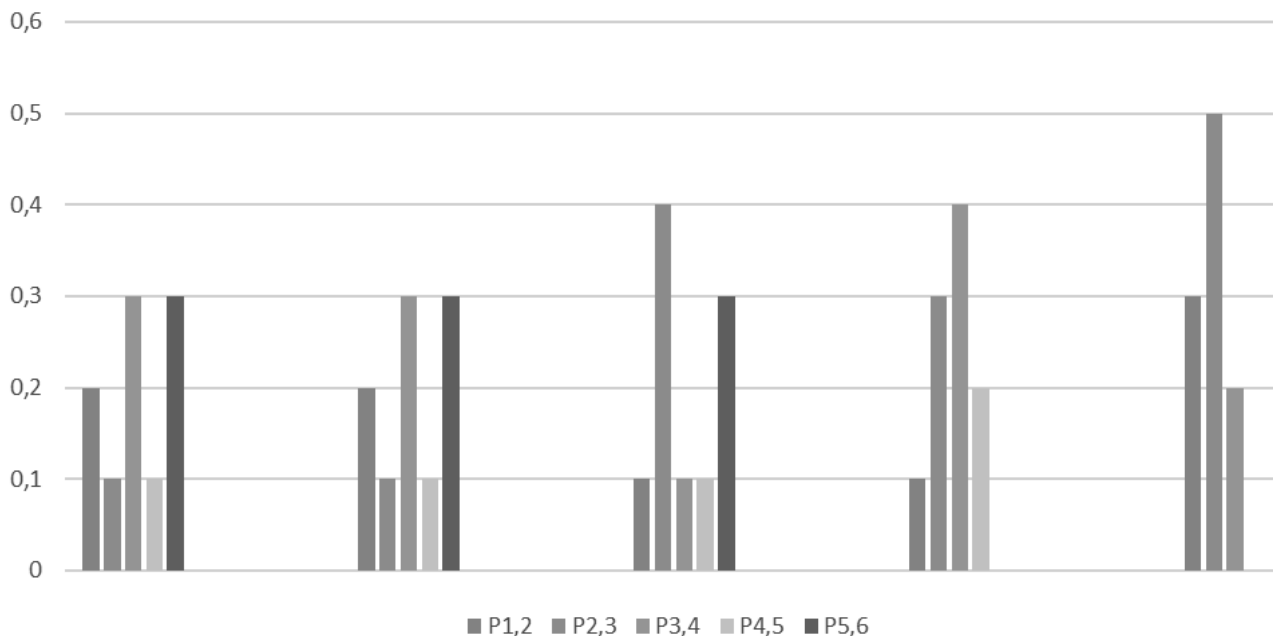


Рис. 5. Значення відповідних імовірностей вузлів орграфу за визначеними сценаріями

Відповідно даних із Таблиці 2 та Рис.5 рівняння набувають вигляду:

$$P_1 = 1 - (1 - 0.2) * (1 - 0.1)(1 - 0.3)(1 - 0.1)(1 - 0.3) = 0,68;$$

$$P_2 = 1 - (1 - 0.2)(1 - 0.1)(1 - 0.3)(1 - 0.1)(1 - 0.3) = 0,68;$$

$$P_3 = 1 - (1 - 0.4)(1 - 0.1)(1 - 0.1)(1 - 0.3) = 0,66;$$

$$P_4 = 1 - (1 - 0.1)(1 - 0.3)(1 - 0.4)(1 - 0.2) = 0,7;$$

$$P_5 = 1 - (1 - 0.3)(1 - 0.5)(1 - 0.2) = 0,72.$$

Шляхом оптимізації аналітичних обчислень у Wolfram Mathematica було розроблено комп'ютерну імітаційну модель для оцінювання загрози виникнення каскадних ефектів на ПНО КІ на прикладі орграфу сценаріїв загроз для Авдіївського коксохімічного заводу.

На основі використання положень теорії графів обчислені: матриця суміжності графа А:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

матриця інцидентності графа В:

$$B = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

матриці суміжності для зваженого графа S:

$$S = \begin{pmatrix} 0 & 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.76 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.88 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.89 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.85 & 0.44 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.85 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.7 & 0.7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.47 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.7 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

Матриці суміжності, інцидентності графа, матриці суміжності для зваженого графа є основними структурами даних, що використовуються для представлення графів у програмах комп'ютерних аналітичних обчислень.

Висновки

Розроблена в роботі імітаційна модель для оцінювання загрози виникнення каскадних ефектів для різних сценаріїв розвитку подій у зоні впливу ПНО КІ дозволяє отримати набір даних для системи підтримки прийняття рішень. Це дозволить здійснювати реагування на можливі ураження цих об'єктів з відповідними визначеними ймовірностями подій і переходу між ними.

Застосування такої імітаційної моделі для каскадних ефектів, розробленої у Wolfram Mathematica, дає можливість отримати ймовірнісні оцінки розвитку подій за визначеними сценаріями та, зрештою, дозволяє отримати ймовірність реалізації певного сценарію розвитку НС. Розроблена імітаційна модель дозволяє здійснити оцінювання загроз для ПНО КІ за величиною ймовірності настання подій і переходів між ними для реалізації раціонального вибору найбільш реальних варіантів оптимального розподілу сил і засобів цивільного захисту для попередження розвитку та ліквідації НС в умовах ведення БД.

Розроблена модель на сьогодні є актуальною для розробки процедур пошуку найбільш критичних ситуацій і виявлення вузлових подій, що породжують інші варіанти розвитку каскадних ефектів.

Отже, в статті була розроблена математична модель оцінювання загроз виникнення каскадних ефектів для ПНО КІ за допомогою фундаментальних положень теорії графів, яку було реалізовано у середовищі комп'ютерної математики «Wolfram Mathematica».

Це дозволить у подальшому чітко визначити та проранжувати можливі загрози і на базі цього сформулювати своєчасні управлінські рішення для попередження та нейтралізації цих загроз.

Модель оцінювання загроз і ризиків для ПНО КІ доцільно застосовувати у визначенні, аналізі та оцінюванні загроз для ПНО КІ, що дозволяє враховувати усі необхідні фактори військового та техногенного походження, досліджувати складні системи КІ і визначати напрямки щодо прогнозування, запобігання виникнення НС і розповсюдження аварій і катастроф на ПНО КІ та здійснення своєчасних заходів цивільного захисту і ліквідації наслідків НС.

Література

1. Іванюта С.П. Загрози критичній інфраструктурі та їх вплив на стан національної безпеки (моніторинг реалізації Стратегії національної безпеки). Аналітична записка. – К.: НІСД, 2017. 10 с.
2. Бірюков Д. С., Заславський В. А., Євгенко В. В., Франчук О. В. Моделювання та оцінка сценаріїв загроз для об'єктів критичної інфраструктури // Наукові записки НаУКМА. Том 99. Комп'ютерні науки, 2009. – с. 97-101
3. Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Хміль Г.А. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління. Монографія. – К.: Наукова думка, 2008. - 542 с.
4. Лисенко О.І., Чеканова І.В., Кутовий О.П., Нікітін В.А. Стратегії управління ризиками на об'єктах критичної інфраструктури в умовах невизначеності [Електронний ресурс] / О.І. Лисенко. – Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua/content/articles/files/infrastrukt-86de2.pdf>.
5. Чумаченко С.М. Оцінювання загроз об'єктам критичної інфраструктури / С. М. Чумаченко, В.В. Троцько // Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека– Вип. 1 (3). – К.: УкрНДІ ЦЗ, 2017. – С. 41-47
6. Уряднікова І.В., Чумаченко С.М., Кармазін С.В., Тесленко О.М. Застосування експертно-аналітичних методів для оцінювання ризиків надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури //Науковий вісник Академії муніципального управління. Серія: Техніка. Вип. 1, 2015. С. 206-2018
7. Чумаченко С. М., Кутовий О. П., Михайлова А. В. Застосування експертно-аналітичних методів для оцінювання загроз об'єктам критичної інфраструктури оборонно-промислового комплексу на сході України. Інженерія природокористування. 2020. №4(18). С. 114-123.
8. Фурсенко О.М., Чумаченко С.М., Кармазін С.В. Експертна оцінка загроз для об'єктів критичної інфраструктури газотранспортної системи України з використанням методу аналізу ієрархій // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист, Вип. 9, 2015. С. 68-77.
9. Чумаченко С.М., Мурасов Р.К., Мельник Я.В. Теоретико-методологічні основи інформаційного аналізу еколого-техногенних загроз для потенційно-небезпечних об'єктів критичної інфраструктури в умовах збройного конфлікту на Сході України // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони 118 № 1 (40)/2021, с. 117-122
10. Хвостосховища Донбасу. Звіт по проекту ОБСС. 2019. - 50 с. <https://www.osce.org/uk/projectcoordinator-in-ukraine/456847>
11. Модели и алгоритмы оптимизации надежности сложных систем / В. Л. Волкович, А. Ф. Волошин, В. А. Заславский, И. А. Ушаков ; Под ред. акад. В. С. Михалевича. – К. : Наукова думка, 1992. – 312 с.
12. Мурасов Р.К. Методика розрахунку імовірності успішної посадки літака // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. — 2012. — №3(9). С. 53-57.
13. Робін Уілсон. Введення в теорію графів. 2019. 240 с.
14. Lunova O.V., 2018, Modeliuvannia stsenariiv rozvytku tekhnosystem// Heotekhnichna mekhanika: mizhvid. zb. nauk. prats. Dnipro, 2018. Vyp. 143. S. 40-48 <https://doi.org/10.15407/geotm2018.143.040>.
15. Lunova O.V., 2020, Prohnozuvannia stupenia ekolohichnoi nebezpeky za intehralnym pokaznykom ekolohichnoho vplyvu Ekolohichni nauky: naukovo-praktychnyi zhurnal K.: DEA, Vypusk 2 (29) Tom 1, 2020, 24-31 s. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.2-29.1.4>

References

1. Ivanyuta S. (2017). Threats to critical infrastructure and their impact on the state of national security (monitoring of the implementation of the National Security Strategy). Analytical note. Kyiv: NISD. 10 p. (in Ukrainian).
2. Biryukov, D.S., Zaslavskiy, V.A., Yevhienko, V.V., Franchuk, O.V. (2009). Modeling and assessment of threat scenarios for critical infrastructure objects // Scientific notes of the Ukrainian Academy of Sciences. Volume 99. Computer Sciences. P. 97-101 (in Ukrainian).
3. Lysyuchenko, G.V., Zabolonov, Yu.L., Hmil, G.A. (2008). Natural, man-made and environmental risks: analysis, assessment, management. Monograph. Kyiv: Naukova dumka. 542 p. (in Ukrainian).
4. Lysenko, O.I., Chekanova, I.V., Kutovyi, O.P., Nikitin, V.A. Risk management strategies at critical infrastructure facilities under conditions of uncertainty [Electronic resource] Access mode: <http://www.niss.gov.ua/content/articles/files/infrastrukt-86de2.pdf> . (in Ukrainian).
5. Chumachenko, S.M., Trotsko, V.V. (2017). Assessment of threats to critical infrastructure facilities. Scientific bulletin: Civil defense and fire safety. Vol. thirteen. Kyiv: UkrNDI Center. P. 41-47 (in Ukrainian).
6. Uryadnikova, I.V., Chumachenko, S.M., Karmazin, S.V., Teslenko, O.M. (2015). Application of expert-analytical methods for assessing the risks of emergency situations at critical infrastructure objects // Scientific Bulletin of the Academy of Municipal Management. Series: Technology. Vol. 1, P. 206-2018 (in Ukrainian).
7. Chumachenko, S.M., Kutovyi, O.P., Mykhailova, A.V. Application of expert analytical methods to assess threats to critical infrastructure objects of the defense-industrial complex in the east of Ukraine. Nature management engineering. 2020. No. 4(18). P. 114-123. (in Ukrainian).
8. Fursenko, O.M., Chumachenko, S.M., Karmazyn, S.V. Expert assessment of threats to objects of critical infrastructure of the gas transportation system of Ukraine using the method of analysis of hierarchies. Technological and ecological safety and civil protection, Vol. 9, 2015. P. 68-77. (in Ukrainian).
9. Chumachenko, S.M., Murasov, R.K., Melnyk, Ya.V. Theoretical and methodological foundations of information analysis of ecological and man-made threats to potentially dangerous objects of critical infrastructure i the conditions of armed conflict in Eastern Ukraine. Modern information technologies in the sphere of security and defense. No. 1 (40), 2021, p. 117-122 (in Ukrainian).
10. Tailings repositories of Donbass. Report on the OSCE project. 2019. - 50 p. <https://www.osce.org/uk/projectcoordinator-in-ukraine/456847>
11. Models and algorithms for optimizing the reliability of complex systems / V. L. Volkovich, A. F. Voloshyn, V. A. Zaslavskiy, I. A. Ushakov; Ed. Acad. V. S. Mykhalevych. - K.: Naukova dumka, 1992. - 312 p. (in Russian).
12. Murasov, R.K. Methodology for calculating the probability of a successful landing of an aircraft. Science and technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine. 2012. No. 3(9). P. 53-57. (in Ukrainian).
13. Robin Wilson. (2019). Introduction to graph theory. 240 p.
14. Lunova, O.V., (2018). Modeliuvannia stsenariiv rozvytku tekhnosystem// Heotekhnichna mekhanika: mizhvid. zb. nauk. prats. Dnipro, 2018. Vyp. 143. S. 40-48 <https://doi.org/10.15407/geotm2018.143.040>. (in Ukrainian).
15. Lunova, O.V. (2020). Prohnozuvannia stupenia ekolohichnoi nebezpeky za intehralnym pokaznykom ekolohichnoho vplyvu Ekolohichni nauky: naukovo-praktychnyi zhurnal K.: DEA, Vypusk 2 (29) Tom 1, 2020, 24-31 s. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.2-29.1.4> (in Ukrainian).

Про авторів:

Мурасов Рустам Камілович,

кандидат технічних наук.

Кількість публікацій в українських виданнях – 25.

Кількість зарубіжних публікацій – 1.

<http://orcid.org/0000-0002-4700-6704>

Куртсеітов Тимур Ленурович,

доктор технічних наук, професор.

Кількість публікацій в українських виданнях – 80.

Кількість зарубіжних публікацій – 2.

<http://orcid.org/0000-0001-6478-6469>

Чумаченко Сергій Миколайович,

доктор технічних наук, старший науковий співробітник.

Кількість публікацій в українських виданнях – 350.

Кількість зарубіжних публікацій – 30.

<http://orcid.org/0000-0002-8894-4262>

Луньова Оксана Володимирівна,

доктор технічних наук, доцент.

Кількість публікацій в українських виданнях – 148.

Кількість зарубіжних публікацій – 7.

<https://orcid.org/0000-0002-2869-736X>

Пиріков Олексій Валерійович,

кандидат технічних наук, доцент,

кількість публікацій в українських виданнях - 78,

Кількість зарубіжних публікацій -15

<https://orcid.org/0000-0002-7077-3645>

Луньов Андрій Олександрович,

кандидат технічних наук, доцент,

кількість публікацій в українських виданнях - 37,

Кількість зарубіжних публікацій -3

<https://orcid.org/0000-0002-4719-6464>

Місце роботи авторів:

Національний університет оборони України

імені Івана Черняхівського,

Україна, 03049, м. Київ-49,

Повітрофлотський проспект 28.

Тел.: +380504117878

E-mail: rustamm@ukr.net kurttimur@ukr.net

Національний університет харчових технологій,

Україна, 01601, м. Київ-33,

вул. Володимирська 68.

Тел.: +380991769237

E-mail: s_chum@ukr.net

ДЗ «Державна екологічна академія
післядипломної освіти та управління».
03035, м. Київ, вул. Митрополита Василя Липківського,
35, корп. 2
Тел.: (044) 206-31-31
E-mail: lunovaov@ukr.ua

ГО «Фундація розвитку екологічних та енергетичних ринків»
Адреса робоча: 79019 Україна, м. Львів, вул. Липинського, 36
E-mail: 0506463222av@gmail.com

Інститут дослідження кіберпростору
Україна, 03110, місто Київ,
вул. Солом'янська, будинок 3
E-mail: lunovandrey@gmail.com

Прізвища та ініціали авторів і назва доповіді англійською мовою:

Murasov R., Kurtseitov T., Chumachenko S., Lunova O., Pyrykov O.,
Lunov A., Chumachenko S.
Threat assessment mathematical model for potentially
dangerous objects of critical infrastructure in the combat zone

Прізвища та ініціали авторів і назва доповіді українською мовою:

Мурасов Р.К., Куртсеїтов Т.Л., Чумаченко С.М., Луньова О.В.,
Пиріков О.В., Луньов А.О., Чумаченко С.М.
Математична модель оцінки загроз для об'єктів критичної
інфраструктури в зоні ведення бойових дій.

Контакти для редактора: Мурасов Рустам Камілович, докторант,
Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського,
e-mail: gustamm@ukr.net, тел.: +380504117878