

# Метод оцінювання ризиків для об'єктів критичної інфраструктури в умовах бойових дій з урахуванням їх деструктивно-кумулятивного потенціалу

## The method of risk assessment for critical infrastructure in the conditions of hostilities, taking into account their destructive and cumulative potential

Рустам Мурасов \* A

Rustam Murasov \* A

\*Corresponding author: кан. техн. наук, докторант, e-mail: rustamm@ukr.net ORCID: 0000-0003-0800-2062

\*Corresponding author: candidate of technology Sciences, doctoral student, e-mail: rustamm@ukr.net ORCID: 0000-0003-0800-2062

<sup>A</sup> Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

<sup>A</sup> National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine

Received: February 10, 2023 | Revised: February 18, 2023 | Accepted: February 28, 2023

DOI: 10.33445/sds.2023.13.1.13

**Мета роботи:** оцінювання ризиків для об'єктів критичної інфраструктури в умовах бойових дій шляхом введення їх деструктивно-кумулятивного потенціалу.

**Метод:** основними методами досліджень є теорія графів, теорія імовірності, імітаційне моделювання.

**Результати дослідження:** метод оцінювання ризиків для об'єктів критичної інфраструктури в умовах бойових дій з урахуванням їх деструктивно-кумулятивного потенціалу.

**Цінність дослідження:** є метод оцінювання ризиків для об'єктів критичної інфраструктури в умовах бойових дій..

**Тип статті:** описовий та розрахунково-аналітичний.

**Purpose:** is assessment of risks for critical infrastructure in the conditions of hostilities by introducing their destructive and cumulative potential.

**Method:** the main research methods are graph theory, probability theory, simulation.

**The results of the study:** is method of risk assessment for critical infrastructure in combat conditions, taking into account their destructive and cumulative potential.

**Value:** is the method of assessing the risks for critical infrastructure in the conditions of hostilities.

**Papertype:** descriptive and calculation-analytical.

**Ключові слова:** критична інфраструктура, ризик, надзвичайна ситуація.

**Key words:** critical infrastructure, risk, emergency.

### 1. Вступ

Актуальність проблеми оцінювання ризиків критичної інфраструктури в ході бойових дій обумовлена цілеспрямованими ракетно-дроновими ударами російської федерації по об'єктах критичної інфраструктури України. Ці удари вже набули системний і масовий характер рис.1. Розгалуженість критичної інфраструктури та обмежена кількість засобів захисту та відновлення вимагають більш обґрунтованого їх розподілу та застосування. В зв'язку з чим виникає наукове завдання щодо оцінювання ризиків критичної інфраструктури в умовах ведення бойових дій та ракетно-дронових ударів.

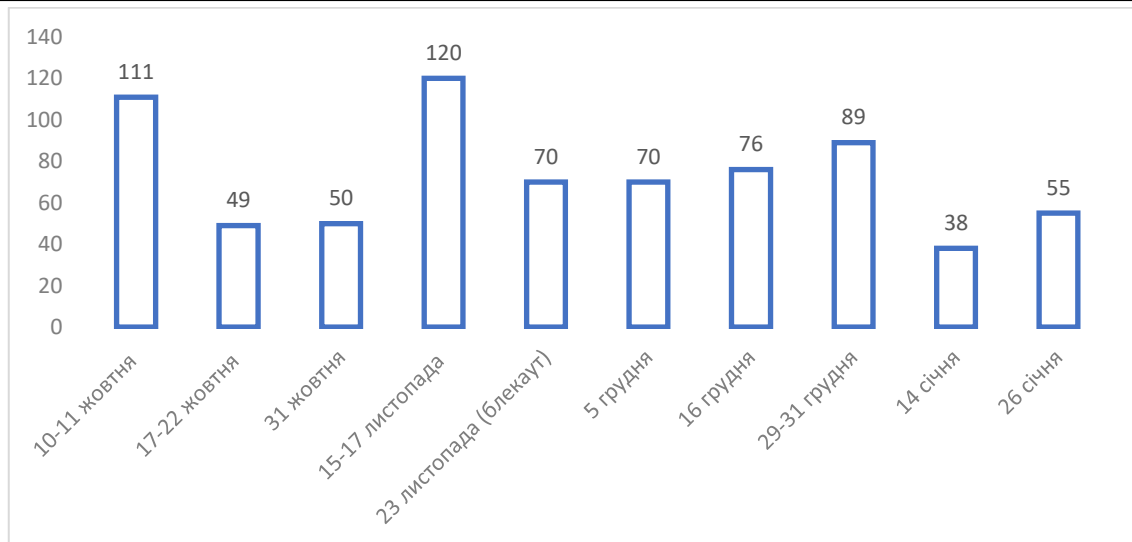


Рисунок 1 – Хронологія ракетно-дронових ударів з жовтня 2022 по січень 2023 рр.

## 2. Теоретичні основи дослідження

Для складних технічних систем, до яких також відноситься критична інфраструктури (системи електроживлення та енергопостачання, водопостачання та водовідведення т.ін.), актуальною проблемою є забезпечення об'єктивності, достовірності та адекватності прогнозування і попередження надзвичайних ситуацій (НС) і можливих каскадних ефектів, що можуть призвести до техногенних аварій і катастроф або суттєво вплинути на їх функціонування, живучість, еколого-техногенну безпеку. Імовірність виникнення та наслідки таких ситуацій, умов і чинників визначаються як цілеспрямованими (диверсія, бойові дії, саботаж) так і стохастичними процесами, що за своєю сутністю характеризуються як загрози.

В багатьох роботах провідних вчених [1, 2] розглядаються питання імовірнісного характеру – імовірності виникнення та розвитку техногенних катастроф. Але крім імовірності подій необхідно визначити ризик, який є похідною катастрофи. При великому обсязі наукових досліджень, на жаль відсутнє єдине визначення поняття ризику. В різних сферах він має своє специфічне визначення. В єдиному є згода, що це є імовірнісна величина. Вона має комплексний склад, який потребує оптимального врахування необхідних складових процесів, що беруть участь у формуванні ризику. Для отримання оцінки ризику -  $R$  необхідно врахувати збитки, які будуть завдані внаслідок руйнування (пошкодження) об'єктів критичної інфраструктури. Використовується модель, яка пов'язує в собі імовірність виникнення катастрофи (несприятливої події)  $P_i$  ( $i=\overline{1, n}$ ) та імовірність нанесених збитків  $W_i$  ( $i=\overline{1, n}$ ) внаслідок цих подій:

$$R = \sum_i P_i W_i \quad (1)$$

Оцінка ризику [3, 4] має передбачати різні розвитку сценаріїв  $P$  та імовірність потенційних збитків  $W$ . Відповідно кількості сценаріїв  $i=\overline{1, n}$ .

Крім того, в дану формулу буде вірним включити різні імовірнісні величини, які мають місце у формуванні ризику. Наприклад пора року – яка має суттєвий вплив на виникнення пожеж, період сильних злив і ураганів. Тривалі низькі температури, які мають вагомий вплив на систему критичної інфраструктури.

$$R = \iiint_{i_{min}}^{i_{max}} P(I)F(x)F(y)F(z)dx dy dz \quad (2)$$

### 3. Постановка проблеми

Нажаль наведена методика має лише загальний характер визначення ризиків і не дає повного розуміння оцінки потенційних збитків.

Введемо поняття Деструктивно-кумулятивного потенціалу (ДКП)  $D$  під яким будемо розуміти інтегральну характеристику кореляційних процесів спрямованих на розвиток катастрофічних процесів системи критичної інфраструктури, в глобальних масштабах з великими (понад 1000 чол.) людськими втратами та подальшою ланцюговою реакцією поширення еколого-техногенних катастроф, які також мають прямий вплив на соціальні та економічні сфери.

### 4. Результати

Деструктивно-кумулятивний потенціал потенційно-небезпечного об'єкту критичної інфраструктури реалізується через утворення площ вторинного ураження техногенними аномаліями і розвиток локальних небезпечних екзогенних геологічних процесів.

Крім того, всі об'єкти критичної інфраструктури мають різну фізичну природу, характер нанесення збитків, тому для унормування їх природи необхідно звести показники значення небезпеки до єдиного виміру, чим і буде ДКП. Необхідність нормалізації потенціалів викликано тим, що різні набори даних можуть бути представлені в різних масштабах і змінюватися в різних діапазонах. Наприклад, період катастрофи, який змінюється від 1 до 100 днів, і витрати на ліквідацію, змінюється від кількох тисяч до кількох мільйонів. У цьому випадку можливе порушення балансу між впливом вхідних даних, представлених у різних масштабах, на вихідний результат.

Оптимальним варіантом нормування є здійснення операції логарифмування. Це дозволить запобігти великому розходженню результатів оцінювання ризиків для об'єктів критичної інфраструктури Рис.1.

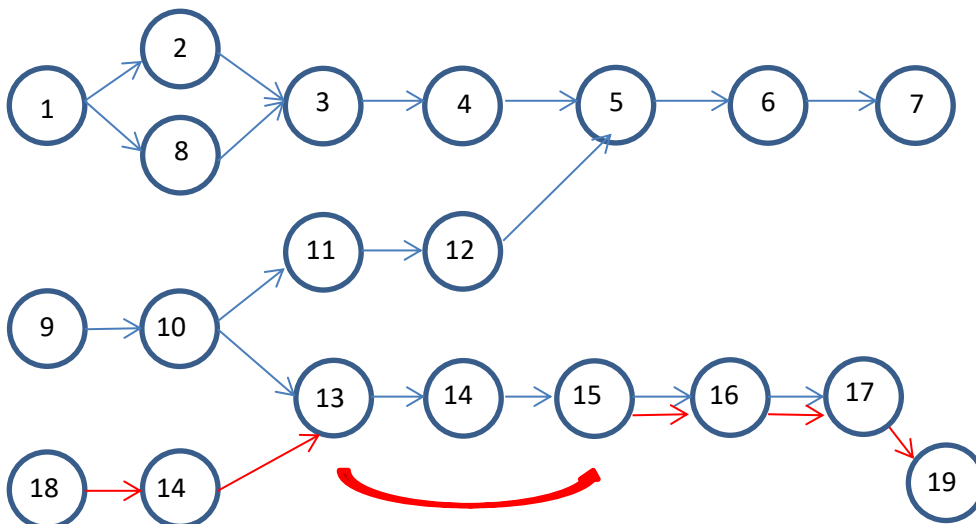
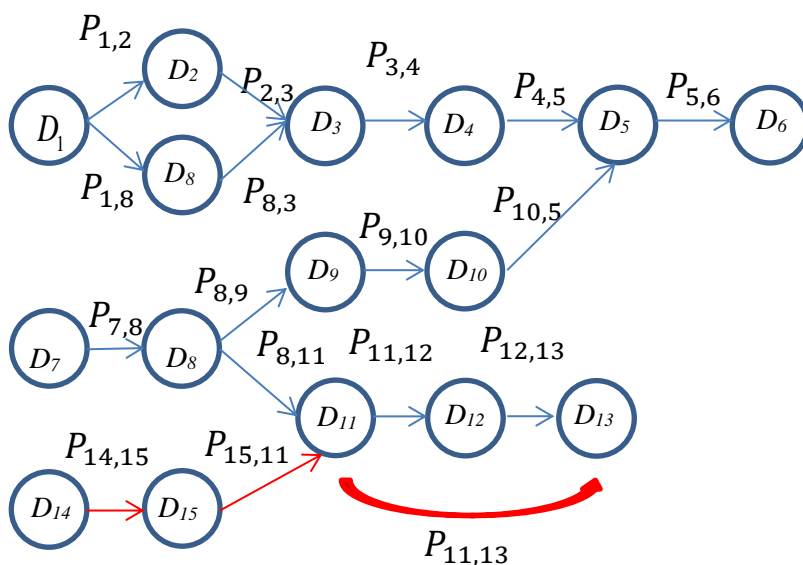


Рисунок 1 – Узагальнена модель структури розвитку катастрофи в наслідок атаки на об'єкти критичної інфраструктури Авдіївського коксо-хімічного заводу у вигляді орграфу.

Таблиця 1. Характеристики вершин орграфу

№	Опис 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 тв. побут. відходів)
17	Перекидання пожежі на прилеглу територію (залізницю і полігон тв. побут. відходів)
18	Влучення снаряду в породний відвал
19	Перекидання пожежі на територію міста

Рисунок 2 – Схема орграфу розвитку катастроф з урахуванням імовірностей виникнення катастроф  $P$  і деструктивно-кумулятивних потенціалів  $D$ .

На Рис.2 показана модель розвитку катастроф потенційно-небезпечних об'єктів критичної інфраструктури в зоні проведення бойових дій у вигляді орграфу [7] з урахуванням імовірностей виникнення і розвитку катастроф і деструктивно-кумулятивних потенціалів збитків  $D$  потенційно-небезпечних об'єктів [5, 6].

Також можливо за потреби ввести ступень уразливості об'єкту  $Z$  в наслідок події  $P$ . Ступень уразливості визначають окремо для кожного потенційно-небезпечного об'єкту за

допомогою емпіричних залежностей збитків у соціальній, екологічній, економічній або біосфері залежно від інтенсивності даних процесів, отриманих за результатами моделювання або статистичної обробки.

Рівняння обчислення ризику набуває наступного виду:

$$R_n = \sum_{i=1}^k P_i D_{i+1}. \quad (3)$$

Ризики окремих розв'язків сценаріїв будуть мати наступні формули:

$$R_1 = P_{1,2} \times D_2 + P_{2,3} \times D_3 + P_{3,4} \times D_4 + P_{4,5} \times D_5 + P_{5,6} \times D_6;$$

$$R_{1,2} = P_{1,8} \times D_8 + P_{2,3} \times D_3 + P_{3,4} \times D_4 + P_{4,5} \times D_5 + P_{5,6} \times D_6;$$

$$R_7 = P_{7,8} \times D_8 + P_{8,9} \times D_9 + P_{9,10} \times D_{10} + P_{10,5} \times D_5 + P_{5,6} \times D_6;$$

$$R_{7,2} = P_{7,8} \times D_8 + P_{8,9} \times D_9 + P_{15,11} \times D_{11} + P_{11,12} \times D_{12} + P_{12,13} \times D_{13};$$

$$R_{14} = P_{14,15} \times D_{15} + P_{15,11} \times D_{11} + P_{11,13} \times D_{13}.$$

**Таблиця 2 – Значення імовірностей переходу оргграфа на рис. 2**

<b>P<sub>1,2</sub></b>	<b>P<sub>2,3</sub></b>	<b>P<sub>3,4</sub></b>	<b>P<sub>4,5</sub></b>	<b>P<sub>5,6</sub></b>
0,2	0,1	0,3	0,1	0,3
<b>P<sub>1,8</sub></b>	<b>P<sub>8,3</sub></b>	<b>P<sub>3,4</sub></b>	<b>P<sub>4,5</sub></b>	<b>P<sub>5,6</sub></b>
0,2	0,1	0,3	0,1	0,3
<b>P<sub>7,8</sub></b>	<b>P<sub>8,9</sub></b>	<b>P<sub>9,10</sub></b>	<b>P<sub>10,5</sub></b>	<b>P<sub>5,6</sub></b>
0,1	0,4	0,1	0,1	0,3
<b>P<sub>7,8</sub></b>	<b>P<sub>8,11</sub></b>	<b>P<sub>11,12</sub></b>	<b>P<sub>12,13</sub></b>	
0,1	0,3	0,4	0,2	
<b>P<sub>14,15</sub></b>	<b>P<sub>15,11</sub></b>	<b>P<sub>11,13</sub></b>		
0,3	0,5	0,2		

Відповідно до Методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру [8] були розраховані значення збитків при катастрофі об'єктів критичної інфраструктури.

**Таблиця 3 – Значення деструктивно-кумулятивних потенціалів збитків D потенційно-небезпечних об'єктів на рис. 2.**

Потенціал збитків об'єкту	Значення млн.грн
<b>D1</b>	<b>10</b>
<b>D2</b>	<b>50</b>
<b>D3</b>	<b>100</b>
<b>D4</b>	<b>500</b>
<b>D5</b>	<b>100</b>
<b>D6</b>	<b>100</b>
<b>D7</b>	<b>100</b>
<b>D8</b>	<b>500</b>
<b>D9</b>	<b>5</b>
<b>D10</b>	<b>10</b>

Потенціал збитків об'єкту	Значення млн.грн
<b>D11</b>	<b>100</b>
<b>D12</b>	<b>1</b>
<b>D13</b>	<b>1</b>
<b>D14</b>	<b>1</b>
<b>D15</b>	<b>5</b>
<b>D16</b>	<b>1</b>
<b>D17</b>	<b>6</b>
<b>D18</b>	<b>1</b>
<b>D19</b>	<b>10</b>



Рисунок 3 – Гістограма значень деструктивно-кумулятивних потенціалів збитків *D*

Таким чином отримуємо:

$$R_1 = 0,2 \times 50 + 0,1 \times 50 + 0,3 \times 500 + 0,3 \times 100 + 0,3 \times 100 = 225 \text{ млн.грн};$$

$$R_{1,2} = 0,2 \times 500 + 0,1 \times 100 + 0,3 \times 500 + 0,3 \times 100 + 0,3 \times 100 = 320 \text{ млн.грн};$$

$$R_7 = 0,1 \times 500 + 0,4 \times 5 + 0,1 \times 10 + 0,1 \times 100 + 0,3 \times 100 = 93 \text{ млн. грн};$$

$$R_{7,2} = 0,1 \times 500 + 0,4 \times 5 + 0,5 \times 100 + 0,4 \times 1 + 0,2 \times 1 = 102,6 \text{ млн. грн};$$

$$R_{14} = 0,3 \times 5 + 0,5 \times 100 + 0,2 \times 1 = 51,7 \text{ млн. грн.}$$

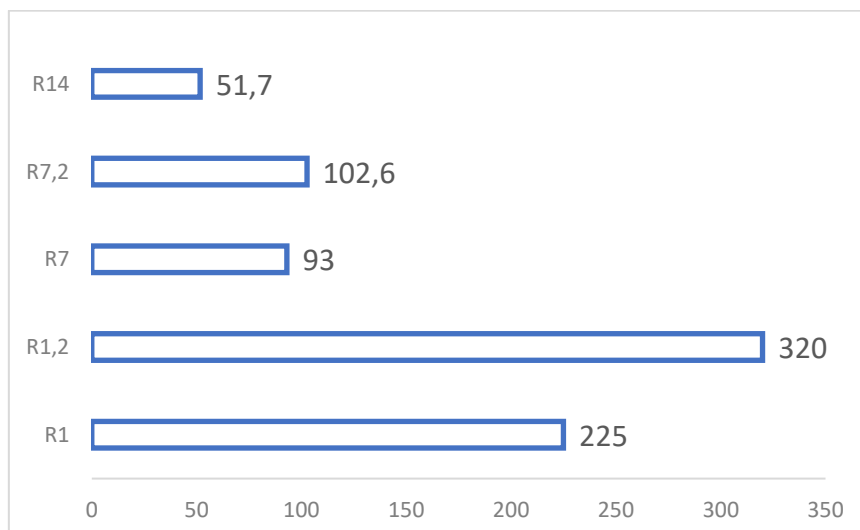


Рисунок 3 – Діаграма значень ризиків за ситуаціями у млн.грн

Для вирішення проблеми об'єктивності та адекватності отримання результатів розрахунків щодо оцінки ризиків об'єктів критичної інфраструктури з урахуванням потенціалів збитків запропоновано застосування деструктивно-кумулятивних потенціалів збитків у методі оцінювання ризиків для об'єктів критичної інфраструктури внаслідок бойових дій рис 4.

За результатами розрахунків найбільш небезпечними у розрахованих збитках є сценарії  $R_1, R_{1,2}$ .

Ключовими об'єктами є : 1, 3, 7, 9, 14.

У даному випадку

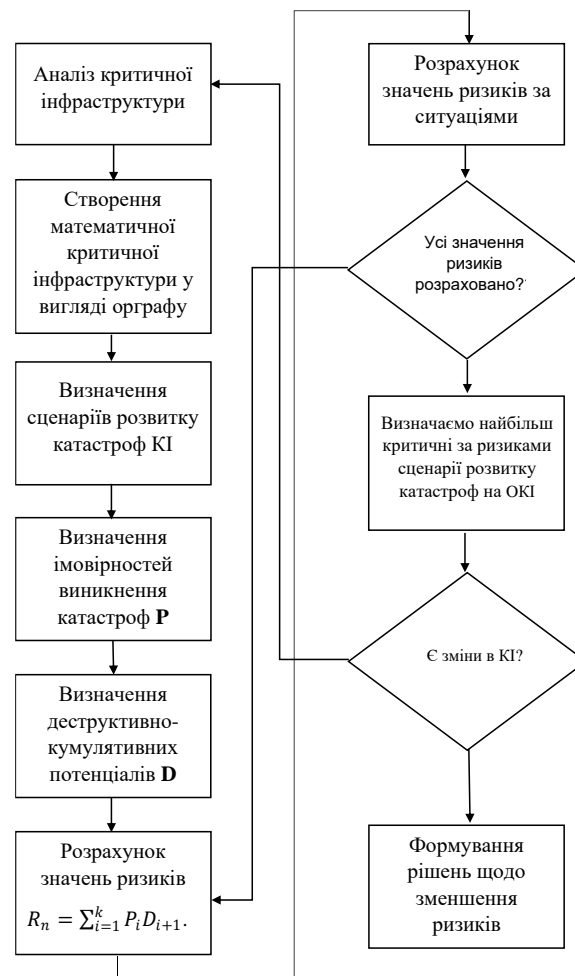


Рисунок 4 – Схема методу оцінювання ризиків для об'єктів критичної інфраструктури внаслідок бойових дій з урахуванням деструктивно-кумулятивного потенціалу

За допомогою запропонованого методу обчислені деструктивно-кумулятивні потенціали збитків, визначено найбільш критичні за ризиками (Рис.3) сценарії розвитку катастроф на об'єктах критичної інфраструктури, що дозволить оптимально застосовувати наявні сили і засоби для охорони, оборони та відновлення критичної інфраструктури [9], розробляти імітаційні моделі критичної інфраструктури для оцінювання ризиків та моделювати сценарії розвитку катастроф [10]. Також за допомогою запропонованих деструктивно-кумулятивних потенціалів можливо визначати найбільш небезпечні та ключові об'єкти критичної інфраструктури від руйнування яких очікується найбільша небезпека, що дозволить завчасно мінімізувати деструктивні наслідки.

## 6. Висновки

Таким чином, в даній статті було запропоновано ввести деструктивно-кумулятивний потенціал для розрахунків оцінювання ризиків об'єктів критичної інфраструктури в умовах бойових дій. Це дає можливість точно оцінювати негативний вплив від катастроф об'єктів критичної інфраструктури, розраховувати повну послідовність деструктивних подій з оцінюванням наслідків, по отриманим сценаріям катастроф можливо здійснювати вибір найбільш деструктивних. Здійснювати пошук ключових об'єктів в "ланцюгах" взаємопов'язаних деструктивних подій з метою припинення масштабних катастроф.

Запропонований у статті метод оцінювання ризиків для об'єктів критичної інфраструктури в умовах бойових дій з урахуванням їх деструктивно-кумулятивного потенціалу доцільно застосовувати при імітаційному або математичному моделюванні катастроф критичної інфраструктури, аналізі вразливостей критичної інфраструктури, та при виборі об'єктів для захисту в умовах обмеження сил і засобів оборони.

## 7. Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

## 8. Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

### Список використаних джерел

### References

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., Євгійко В. В., Франчук О. В. (2009). Моделювання та оцінка сценаріїв загроз для об'єктів критичної інфраструктури. *Наукові записки НаУКМА*. Том 99. Комп'ютерні науки, с. 97-101.
3. Лисиченко Г.В., Забулонов Ю. Л., Хміль Г. А. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління: Монографія. Київ: Наукова думка, 2008. – 542 с.
4. 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. 206-218
5. Чумаченко С. М., Мурасов Р. К., Мельник Я.
1. Ivanyuta S.P. Threats to critical infrastructure and their impact on the state of national security (monitoring the implementation of the National Security Strategy). Policy Note. Kyiv: NISS, 2017. 10 p.
2. Biryukov D.S., Zaslavsky V.A., Yevgienko V.V., Franchuk O.V. (2009). Modeling and evaluation of threat scenarios for critical infrastructure objects. *Scientific Notes of NaUKMA*. Vol. 99. Computer Science, pp. 97-101
3. Lisichenko, G.V., Zabulonov, Y.L., Khmil G.A. Natural, man-made and environmental risks: analysis, assessment, management: Monograph. Kyiv: Naukova Dumka, 2008. 542 p.
4. Governmentnikova, I.V., Chumachenko, S.M., Karmazin, S.V., Teslenko, O.M. (2015). Application of expert and analytical methods for assessing emergency risks at critical infrastructure facilities. *Scientific Bulletin of the Academy of Municipal Administration. Series: Technique*. Issue. 1, 2015. P. 206-2018
5. Chumachenko, S.M., Murasov, R.K., Melnyk

- 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. № 1 (40). 2021, С. 117-122.
6. Хвостосховища Донбасу. Звіт по проекту ОБСЄ. 2019. 50 с. URL : <https://www.osce.org/uk/projectcoordinator-in-ukraine/456847>
7. Робін Уілсон. Введення в теорію графів. 2019. 240 с.
8. Про затвердження Методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру: Постанова Кабінету міністрів України від 15 лютого 2002 р. N 175. URL : , <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/175-2002-%D0%BF/print>.
9. Куртсеітов, Т., Мурасов, Р., & Мельник, Я. (2022). Обчислення надійності системи критичної інфраструктури шляхом декомпозиції її як складної системи. *Journal of Scientific Papers "Social Development and Security"*, 12(5), 84-92. <https://doi.org/10.33445/sds.2022.12.5.8>
10. Мурасов Р.К., Куртсеітов Т.Л., Мельник Я.В. Імовірнісний метод прогнозування надзвичайних подій на потенційно-небезпечних об'єктах критичної інфраструктури. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони, № 2(44), 2022 р., С.60-64-122.
- Y.V. (2021). Theoretical and methodological foundations of information analysis of ecological and technogenic threats for potentially dangerous critical infrastructure objects in the conditions of armed conflict in the East of Ukraine. *Modern information technologies in the field of security and defense*. No 1 (40). p. 117-122.
6. Tailings storage facilities of Donbass. Report on the OSCE project. 2019. 50 p. Available from : <https://www.osce.org/uk/projectcoordinator-in-ukraine/456847>
7. Robin Wilson. Introduction to graph theory. 2019. 240 pp.
8. On approval of the Methodology for assessing losses from the consequences of anthropogenic and natural emergencies: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of February 15, 2002 No. 175, Available from : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/175-2002-%D0%BF/print>.
9. Kurtseitov, T., Murasov, R., & Melnyk, Y. (2022). Calculating the reliability of a critical infrastructure system by decomposing it as a complex system. *Journal of Scientific Papers "Social Development and Security"*, 12(5), 84-92. <https://doi.org/10.33445/sds.2022.12.5.8>
10. Murasov R.K., Kurtseitov T.L., Melnyk Y.V. (2022). Probabilistic method of forecasting emergency events at potentially dangerous critical infrastructure facilities. *Modern information technologies in the field of security and defense*, No 2(44), P.60-64-122.