






MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

 DOI 10.51582/interconf.19-20.02.2024.065

Варіант оцінки достовірності та ефективності використання математичної моделі при забезпеченні безпеки об'єкту критичної інфраструктури

Азаренко Олена Василівна¹ ,
Гвоздь Віктор Михайлович² ,
Гончаренко Юлія Юріївна³ ,
Дівізінюк Михайло Михайлович⁴ ,
Мирошник Олег Миколайович⁵ ,
Фаррахов Олександр Володимирович⁶ 

¹ доктор фізико-математичних наук, професор, заступник керівника;
Науково-дослідний лабораторно-експериментальний центр «БРАНД ТРЕЙД»; Україна

² кандидат технічних наук, професор, начальник інституту;
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України; Україна

³ доктор технічних наук, доцент, професор кафедри;
Європейський університет; Україна

⁴ доктор фізико-математичних наук, професор, головний науковий співробітник;
Центр інформаційно-аналітичного та технічного забезпечення моніторингу об'єктів
атомної енергетики Національної академії наук України; Україна

⁵ доктор технічних наук, професор, заступник начальника інституту
з навчальної та наукової роботи;
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України; Україна

⁶ кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник;
Центр інформаційно-аналітичного та технічного забезпечення моніторингу об'єктів
атомної енергетики Національної академії наук України; Україна

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

Анотація.

Пропонується варіант оцінки достовірності та ефективності використання математичної моделі щодо забезпечення безпеки об'єкту критичної інфраструктури, який включає три етапи. Перший – визначення величини статистичної ймовірності щодо забезпечення безпеки об'єкту, що охороняється, першої (засобів виявлення небезпеки) та другої (засобів знищення небезпеки) групами, яка є відношенням числа збитих повітряних ударних засобів до загального числа засобів, що беруть участь у терористичному впливі. Другий – визначення величини статистичної ймовірності щодо забезпечення безпеки об'єкту, що охороняється, третьою групою що відповідає за засоби ліквідації наслідків, у разі настання небезпеки, яка є відношенням нормативного проміжку часу реакції до наслідків небезпеки приведеного к фактичному часу. Третій – обчислення статистичної ймовірності щодо забезпечення безпеки об'єкту критичної інфраструктури, що охороняється, яка визначатиметься сумою двох перших статистичних ймовірностей. Зростання обчисленої статистичної ймовірності щодо забезпечення безпеки об'єкту критичної інфраструктури, що охороняється, говорить про збільшення ефективності оптимізаційних заходів на об'єкті, що охороняється, а зменшення, навпаки, про зниження їх ефективності.

Ключові слова:

*критична інфраструктура
терористичне вплив
управління безпекою
засоби безпеки
статистична ймовірність*

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

Вступ

Захист стратегічних об'єктів держави, об'єктів критичної інфраструктури від різних видів терористичного впливу – одна із актуальних проблем забезпечення державної безпеки України [1–3]. Одним із напрямків вирішення цієї проблеми є розробка математичних моделей забезпечення безпеки об'єктів критичної інфраструктури [4,5] та їх подальше впровадження у повсякденне життя, яким займаються служби фізичного захисту або служби безпеки стратегічних об'єктів та об'єктів критичної інфраструктури [6–9]. Тут виникає закономірне питання, а як зробити оцінку адекватності або достовірності розроблених моделей, якою є ефективність чи результативність від їх впровадження. Аналіз існуючих в Україні атомних (АЕС), теплових (ТЕС) та гідроелектричних станцій (ГЕС), побудованих за типовими для кожного виду схемами, показує, що вони мають безліч конструктивних особливостей [8,9]. Навіть всередині одного стратегічного об'єкту типові енергоблоки мають настільки великі специфічні відмінності, що вимагають створення спеціальних тренажерів для кожного енергоблоку для підготовки персоналу, який їх обслуговує [10].

Використання методів [11,12], що розробляються на основі принципів Пампура [13,14], дозволяє уніфікувати підходи щодо безпеки різних стратегічних об'єктів в умовах інтенсивного терористичного впливу, поділяючи засоби забезпечення безпеки на три групи. Перша – це засоби виявлення небезпеки. Друга – засоби запобігання (знищення) небезпеки. Третя – засоби ліквідації наслідків у разі настання небезпеки. Однак, всі ці три групи оперують інформацією або специфічними даними, які прийнято називати різнотипними [15–17]. У свою чергу це не дозволяє провести оцінку достовірності розроблених математичних моделей та оцінити ефект від їх впровадження у безпеку об'єктів критичної інфраструктури.

Мета даної роботи полягає у розробці одного з варіантів оцінки достовірності та ефективності застосування математичних моделей щодо забезпечення безпеки об'єктів критичної інфраструктури.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати дві задачі. По-перше, проаналізувати основні засади роботи з різнотипними емпіричними даними та визначити показники оцінки математичної моделі. По-друге, запропонувати варіант оцінки

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

достовірності та ефективності використання математичної моделі щодо забезпечення безпеки об'єкта критичної інфраструктури.

Основні принципи роботи з різнотипними емпіричними даними та вибір показника оцінки математичної моделі

Ні в кого не викликає сумніву той факт, що найпростіший, на перший погляд, об'єкт критичної інфраструктури є досить складним об'єктом. З позицій теоретичних досліджень головною властивістю складного об'єкту є його багатовимірність. Це означає, що для опису такого об'єкту використовується велика кількість змінних різної фізичної природи. Іншими словами, для опису безпеки або терористичної стійкості об'єкту, що охороняється, необхідно враховувати велику кількість факторів, що відображають географічні властивості місцевості, її кліматичні особливості, транспортне сполучення з об'єктом та його комунальне забезпечення, соціально-психологічний стан персоналу та його професійна підготовленість та безліч інших факторів. Всі ці властивості є різнотипними, тобто для їхнього опису використовуються різні метрологічні системи. Крім цього, опис низки факторів здійснюється з використанням не кількісних, а якісних оцінок.

Тому пропонується [15-17] для дослідження властивостей та внутрішніх зв'язків складного об'єкту використовувати засоби міркування за аналогією. Для цього вимірюються деякі вибрані властивості об'єктів, включаючи і виділену властивість. В результаті зібраних даних виходить емпірична таблиця. Результатом аналізу цієї таблиці можуть бути емпіричні закономірності, які можуть інтерпретуватись фахівцями відповідних галузей знань. Однак при складанні цих емпіричних баз різнотипних даних необхідно керуватись такими принципами (правилами).

По-перше, задавати легко інтерпретовані основні правила передбачення, що визначають формування моделі об'єктів та з'ясування причинно-наслідкових взаємозв'язків, всередині об'єкту.

По-друге, дозволяти обробляти різнотипні експериментальні дані, без приведення всіх видів ознак до однієї шкали, і мати інваріантність до можливих перетворень шкал ознак.

По-третє, використовувати клас основних функцій, що мають малу міру складності та високий рівень апріорної

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

невизначеності при функціональному розподілі.

По-четверте, надавати можливість використовувати найпростіші оптимізаційні процедури пошуку основного правила при вирішенні задачі.

По-п'яте, надавати технічно нескладні до реалізації правила при необхідності створення спеціалізованих пристроїв.

По-шосте, дозволяти працювати при відсутності даних в емпіричних таблицях.

Слід зазначити, що методи обробки різнотипних експериментальних даних під час вирішення завдань емпіричного передбачення, практично завжди відповідає вище сформульованим вимогам. Як правило, для того чи іншого методу хоча б одна з вимог порушується. Наприклад, розв'язки є досить складним для інтерпретації або використовується складна оптимізаційна процедура для пошуку вирішального правила та інше. Вирішення цих завдань доводиться здійснювати в умовах високої апріорної невизначеності, коли практично нічого не відомо про вид функцій розподілу ймовірностей у просторі ознак. Будь-яке «сильне» припущення, наприклад, нормальності розподілу чи незалежності ознак, ставить питання адекватності передбачуваного дійсному. Тому методи вирішення завдань мають бути універсальними, тобто орієнтованими на досить слабкі обмеження.

При вивченні складних об'єктів, у тому числі об'єктів критичної інфраструктури, виникають великі труднощі при завданні вихідної системи ознак для їх опису. Подібний вибір ґрунтується на знаннях, практичному досвіді і навіть інтуїції дослідника та проводиться шляхом постулювання потенційно корисних ознак.

Досвід рішення прикладних завдань показує, що у вихідну інформаційну систему включають велику кількість дублюючих ознак. Зменшення числа ознак вихідної інформаційної системи, як свідчать теоретичні дослідження [15–17], часто покращують якість рішення.

У зв'язку з вище викладеним, як показник оцінки математичної моделі щодо забезпечення безпеки об'єкту критичної інфраструктури виберемо статистичну ймовірність. З одного боку, цей показник задовольняє описаним шести принципам (правилам) і може характеризувати достовірність математичної моделі, що розглядається. З іншого боку, він

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

показує ефективність (результативність) оптимізаційних процедур, що забезпечують безпеку об'єкту, що охороняється.

Варіант оцінки достовірності та ефективності використання математичної моделі щодо забезпечення безпеки об'єкту критичної інфраструктури

У моделях із забезпечення безпеки, що використовують принцип Пампуро [13,14], всі засоби, що беруть участь у забезпеченні безпеки об'єкту, що охороняється (або конгломерації об'єктів) складаються з трьох груп. Перша – це засоби виявлення небезпеки. Друга – засоби запобігання (знищення) небезпеки. Третя – засоби ліквідації наслідків у разі настання небезпеки.

Понад півтора роки поточної війни показує, що головною небезпекою для стратегічних об'єктів, що охороняються, розташованих по всій Україні, є повітряні засоби ураження, насамперед ракети і безпілотні літальні апарати (БПЛА).

Виходячи з цього, до першої групи входять стаціонарні, мобільні та переносні радіотехнічні засоби виявлення повітряних цілей. Вони можуть реалізовувати електромагнітні (радіолокаційні), інфрачервоні (теплові), акустичні, оптоелектронні, оптичні та інші активні та пасивні методи виявлення. Це не лише сама технічно справна електронна система, а й розрахунок, що забезпечує її застосування за прямим призначенням. Цей розрахунок повинен мати кілька змін, щоб ця технічна система могла працювати досить тривалий час.

До другої групи входять різні стаціонарні, пересувні і переносні зенітні ракетні комплекси (ЗРК), призначені для знищення повітряних цілей. Це може бути великокаліберна та малокаліберна зенітна артилерія. Це можуть бути стаціонарні та мобільні позиції, оснащені зенітною стрілецькою зброєю (великокаліберними кулеметами). Це можуть бути засоби радіоелектронної боротьби (РЕБ) та маскування. Як і в першій групі, це не тільки технічно справні вогневі системи, а і їх розрахунки, які забезпечують їхнє застосування за прямим призначенням. Кожен розрахунок повинен мати кілька змін, щоб ця технічна система могла працювати досить тривалий час.

Третя група складається з трьох підгруп. Перша підгрупа – це пожежні та рятувальні розрахунки зі своїми технічними засобами. Це пожежні та спеціальні інженерні машини, а також спеціальна техніка, призначена для знешкодження боєприпасів,

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

що не розірвалися, та інших вибухових речовин. Ці розрахунки так само повинні бути в постійній готовності і мати здатність ліквідувати наслідки катастрофічних подій тривалий період часу. Друга підгрупа – це інженерна техніка, яка використовується для розбору завалів та вилучення (порятунку) людей з-під завалів. Як правило, це пересувні екскаватори, автокрани, мобільні підйомники та інше. Третя підгрупа – це автомобілі швидкої медичної допомоги з бригадами медиків. Вони призначені, як для надання першої медичної допомоги потерпілим на місці, так і для евакуації поранених до медичних закладів.

Статистичною ймовірністю події A називається межа, до якої прагне відносна частота цієї події при необмеженому збільшенні числа випробувань, тобто

$$P(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{m}{n} \quad (1)$$

де m – кількість випробувань, у яких з'явилась подія A ,
 n – загальна кількість проведених випробувань.

Наприклад, здійснюючи 100 пострілів, стрілок влучив у ціль 89 разів. Відносна частота влучення в ціль цього стрілка дорівнює 0,89. У приблизних розрахунках відносну частоту події A приймають за ймовірність події A , або статистичну ймовірність [18].

Результатом функціонування першої та другої груп із забезпечення безпеки об'єкту, що охороняється, є кількість знищених (збитих) атакуючих повітряних засобів. Відношення числа збитих повітряних ударних засобів до загального числа засобів, що беруть участь у терористичному впливі, буде величиною статистичної ймовірності щодо забезпечення безпеки об'єкту, що охороняється, першою і другою групою забезпечення безпеки. Наприклад, терористичний удар по об'єкту, що охороняється, наносився 20 ударними БПЛА. 15 із них було збито. Отже, величина статистичної ймовірності щодо забезпечення безпеки об'єкту, що охороняється, першою і другою групою дорівнюватиме 0,75. Якщо кількість збитих ударних БПЛА перевищить 15, то величина статистичної

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

ймовірності щодо забезпечення безпеки об'єкту, що охороняється, зростатиме. Це свідчить про підвищення ефективності (результативності) функціонування першої та другої груп, і навпаки.

Третя група безпеки оцінюється за часовими показниками. Існують часові нормативи. Перший з них визначає, що після надходження сигналу про пожежу в межах міста, перший пожежний розрахунок повинен прибути до місця займання протягом семи з половиною хвилини. Розгортання на фасаді повинно зайняти не більше трьох з половиною хвилин. Іншими словами, через 11 хвилин після надходження сигналу про пожежу має розпочатись його локалізація та ліквідація. Цей час вважається нормативним. Фактичний проміжок часу, який пройде з моменту займання до моменту, коли буде розпочато гасіння, перевищуватиме норматив. Це пояснюється рядом об'єктивних факторів, таких як своєчасне виявлення ознак загоряння внаслідок ударних ушкоджень, готовністю засобів зв'язку, часом передачі повідомлень та інш. З урахуванням того, що при гасінні пожежі його первісна категорія не збільшилась, величина статистичної ймовірності щодо забезпечення безпеки об'єкту, що охороняється, третьою групою може бути оцінена як відношення t_n – нормативного проміжку часу до t_ϕ – фактичного, тобто

$$P_3 = \frac{t_n}{t_\phi} \quad (2)$$

Зазначимо, що при збільшенні фактичного проміжку часу, з моменту займання до моменту, коли буде розпочато гасіння, величина статистичної ймовірності щодо забезпечення безпеки об'єкту, що охороняється, третьою групою буде зменшуватись, і навпаки. Наприклад, при нормативному часі в 11 хвилин, якщо фактичний час на початок гасіння складе 15 хвилин, то величина статистичної ймовірності складе 0,73. Якщо фактичний час збільшиться до 20 хвилин, то величина статистичної ймовірності складе 0,55.

Теоретично можливий варіант, коли фактичний час виявиться рівним нормативному, або меншим за його. Тоді величина

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

статистичної ймовірності приймається рівною одиниці.

Величина статистичної ймовірності щодо забезпечення безпеки об'єкту, що охороняється, визначатиметься сумою двох статистичних ймовірностей. Перша $P_{1,2}$ – яка досягаються вирішенням завдань першої та другої груп. Друга P_3 – яка досягається вирішенням завдань третьою групою із забезпечення безпеки, тобто

$$P_{OB} = P_{1,2} + P_3 \quad (3)$$

Використання такого варіанта оцінки розглянемо на наступному прикладі. На об'єкт, що охороняється, скоєно ударний вплив 20 ударних БПЛА. 12 знищено. Ліквідація загорянь почалась через 30 хвилин. Оцінка статистичної ймовірності щодо забезпечення безпеки цього об'єкту, що охороняється, визначатиметься як

$$P_{OB} = \left(\frac{12}{20}\right) + \left(\frac{11}{30}\right) = (0,6) + (0,366) = 0,6 + 0,366 - 0,6 \cdot 0,366 = 0,7464$$

Після виконаних оптимізаційних заходів, на об'єкт, що охороняється, скоєно повторний ударний вплив 10 ударних БПЛА. 7 збиті. Ліквідація загорянь почалась за 20 хвилин. Тепер оцінка статистичної ймовірності щодо забезпечення безпеки цього об'єкту, що охороняється, буде рівна

$$P_{OB} = \left(\frac{7}{10}\right) + \left(\frac{11}{20}\right) = (0,7) + (0,55) = 0,7 + 0,55 - 0,7 \cdot 0,55 = 0,865$$

Статистична ймовірність щодо забезпечення безпеки об'єкту, що охороняється, зросла на 0,1186. У свою чергу це дозволяє говорити про те, що виконання оптимізаційних заходів забезпечило зростання ефективності (результативності) безпеки об'єкту, що охороняється, на 11%.

Висновки

Таким чином, запропонований варіант оцінки достовірності та ефективності використання математичної моделі щодо

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

забезпечення безпеки об'єкту критичної інфраструктури включає три етапи. Перший – визначення величини статистичної ймовірності щодо забезпечення безпеки об'єкту, що охороняється, першою (засоби виявлення небезпеки) та другою (засоби знищення небезпеки) групами, яка є відношенням числа збитих повітряних ударних засобів до загального числа засобів, що беруть участь у терористичному впливі. Другий – визначення величини статистичної ймовірності щодо забезпечення безпеки об'єкту, що охороняється, третьою групою засобів ліквідації наслідків, у разі настання небезпеки, яка є відношенням нормативного проміжку часу реакції на наслідки до фактичного часу. Третій – обчислення статистичної ймовірності щодо забезпечення безпеки об'єкту критичної інфраструктури, що охороняється, яка визначатиметься сумою двох перших статистичних ймовірностей.

Зростання статистичної ймовірності, яка обчислюється щодо забезпечення безпеки об'єкту критичної інфраструктури, що охороняється, говорить про збільшення ефективності оптимізаційних заходів на об'єкті, що охороняється, а зменшення, навпаки, про зниження їх ефективності.

References:

- [1] Що таке об'єкти критичної інфраструктури (2024). <https://smarttender.biz/terminy/view/ob-yekti-kritichnoyi-infrastrukturi/>
- [2] Постанова КМУ від 04.03.2015р. № 83 «Про затвердження переліку об'єктів державної власності, що мають стратегічне значення для економіки і безпеки держави». (Редакція від 26.08.2021р.). <https://document.vobu.ua/doc/7863>
- [3] Дівізінюк М.М., Азаренко О.В., Гончаренко Ю.Ю., Дівізінюк М.М., Шевченко Р.І., Шевченко О.С. (2023). Характеристика об'єктів критичної інфраструктури держави (особливості ядерних та інших стратегічних об'єктів). *Комунальне господарство міст, том 1, випуск 175*. С.160 – 168
- [4] Азаренко О.В., Гвоздь В.М., Гончаренко Ю.Ю., Дівізінюк М.М., Мирошник О.М., Фаррахов О.В. (2023). Математична модель забезпечення найбільшої безпеки стратегічного об'єкту, що охороняється, при ліміті виділених коштів. *Title of an article. Scientific Collection «InterConf+», 38(175): with the Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference «International Scientific Discussion: Problems, Tasks and Prospects» (October 19–20, 2023; Brighton, United Kingdom) / comp. by LLC SPC «InterConf». Brighton: A.C.M. Webb Publishing Co Ltd. pp.417–435.* <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.10.2023.037>

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

- [5] Азаренко О.В., Гвоздь В.М., Гончаренко Ю.Ю., Дівізінюк М.М., Мирошник О.М., Фаррахов О.В. (2023). Математична модель оптимального управління безпекою конгломерації об'єктів критичної інфраструктури, що охороняються. *International Scientific Journal Grail Of Science* № 33 November, 2023 with the proceedings of the: II Correspondence International Scientific and Practical Conference Scientific Vector Of Various Sphere' Development: Reality And Future Trends held on November 10 th, 2023 by NGO European Scientific Platform (Vinnytsia, Ukraine) LLC International Centre Corporative Management (Vienna, Austria) Co Ltd., pp.135–149. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.10.11.2023.20>
- [6] Закон України «Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання». (Редакція від 16.10.2022р.). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2064-14#Text>
- [7] Конвенция о физической защите ядерного материала и ядерных установок. (2005). https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/nucmat_protection.shtml
- [8] Азаренко Е.В., Гончаренко Ю.Ю., Дивизинюк М.М., Ожиганова М.И. (2018). *Защита критической инфраструктуры государства от террористического воздействия. Монография.* Київ: ИГНС НАНУ.
- [9] Азаренко О.В., Гончаренко Ю.Ю., Дівізінюк М.М., Камишенцев Г.В., Лукашенко В.В. (2023). *Інформаційно-технічні методи забезпечення державної безпеки України. Частина 2. З використанням відеосистем зовнішнього спостереження. Монографія.* Київ. ДУ ІГНС НАН України.
- [10] Бегун В.В., Горбунов О.В., Каденко І.М. та ін. (2000). *Імовірнісний аналіз безпеки атомних станцій: навч. посібник.* Київ, фірма «Віпол».
- [11] Азаренко О.В., Гвоздь В.М., Гончаренко Ю.Ю., Дівізінюк М.М., Фаррахов О.В., Сівоха І.М. (2023). Метод побудови систем управління аналоговими об'єктами (метод Пампуро). *Ricerche scientifiche e metodi della loro realizzazione: esperienza mondiale e realtà domestiche: Raccolta di articoli scientifici «ЛОГОΣ» con gli atti della IV Conferenza scientifica e pratica internazionale, Bologna, 29 settembre, 2023.* Bologna-Vinnytsia: Associazione Italiana di Storia Urbana & Piattaforma scientifica europea. 95–99. <https://doi.org/10.36074/logos-29.09.2023.25>
- [12] Азаренко О.В., Гвоздь В.М., Гончаренко Ю.Ю., Дівізінюк М.М., Фаррахов О.В., Сівоха І.Г. (2023). Основні положення концепції максимальної безпеки ядерного об'єкту при мінімумі витрат. *Міжнародний науковий журнал «Грааль науки» № 32 (жовтень, 2023) : за матеріалами VI Міжнародної науково-практичної конференції «Globalization of scientific knowledge: international cooperation and integration of sciences», що проводилася 13 жовтня 2023 року ГО «Європейська наукова платформа» (Вінниця, Україна) та ТОВ «International Centre Corporative Management» (Відень, Австрія).* С.101–109. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.13.10.2023.018>
- [13] Пампуро В.І. (2012). *Оптимальне управління безпекою екологічно*

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

- небезпечних об'єктів. Монографія. Київ: Наукова думка.*
- [14] Пампуро В.І., Шестопапов В.М., Шибецький Ю.О. (2008). *Проблеми оптимального управління безпекою геологічного захоронення радіоактивних відходів. Монографія. Київ: Тов. «Альт-арт».*
- [15] Загоруйко Н.Г. (1979). *Эмпирическое предсказание. Монография. Новосибирск: Наука.*
- [16] Лбов Г.С. (1981). *Методы обработки разнотипных экспериментальных данны. Монография. Новосибирск: Наука.*
- [17] Миркин Б.Г. (1976). *Анализ качественных признаков. Монография. М.: Статистика.*
- [18] Теорія ймовірностей (2023).
https://uk.wikipedia.org/wiki/Теорія_ймовірностей