УДК 614.8.084:351.865:323.28 **DOI: 10.33042/2522-1809-2024-4-185-197-203**

О.В. Азаренко[1], Ю.Ю. Гончаренко[2], М.М. Дівізінюк[3], Р.І. Шевченко[4], О.С. Шевченко[4]

[1]Науково-дослідний лабораторно-експериментальний центр «БРАНД ТРЕЙД», Харків, Україна
[2]Європейський університет, Київ, Україна
[3]Центр інформаційно-аналітичного та технічного забезпечення моніторингу об'єктів атомної енергетики НАН України, Київ, Україна
[4]Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СЦЕНАРНОГО УПРАВЛІННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ СТРАТЕГІЧНОГО ОБ'ЄКТА

У роботі спочатку розглядається модель оцінки ефективності сценарного управління як інструмента забезпечення безпеки стратегічного об'єкта. Потім надано опис алгоритму керування реалізації цієї математичної моделі. Далі зроблено висновок про структуру алгоритму та необхідність розробки основних процедур із його реалізації.

Ключові слова: *об'єкт критичної інфраструктури, сценарне управління, алгоритм, математична модель, надзвичайна ситуація.*

Постановка проблеми

Забезпечення безпеки об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ) та інших стратегічних об'єктів – одне з ключових завдань України як держави, що захищається від військової агресії [1, 2]. Для вирішення цієї задачі використовується математична модель сценарного управління як інструмент забезпечення безпеки стратегічного об'єкта [3]. Однак виникає проблема, що через нелінійність розглянутих процесів отримані теоретичні рішення вимагають оцінки керувальних впливів і, за необхідності, їх корекції для отримання запланованого результату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Універсальність математичних методів теорії управління [4] дозволяє досліджувати реальні та абстрактні об'єкти [5]. Початковою базою теорії управління були кібернетика [6] і теорія інформації [7]. Зараз для вирішення управлінських завдань застосовують методи теорії катастроф [8, 9] і управління ризиками [10–12], теорії автоматичного управління [13] і теорії управління персоналом [14]. Частина з них, як і методи сценарного управління, є нелінійним управлінням, тож ці процеси не можуть бути описані лінійними диференціальними утвореннями [15] і вимагають адаптивних або інтелектуальних систем управління [16], які коригують вплив залежно від зміни об'єкта управління або зміни зовнішніх факторів [17].

Мета та завдання статті

З огляду на вищевикладене, метою цієї статті є розробка алгоритму керування реалізації математичної моделі оцінки ефективності сценарного управління як інструмента забезпечення безпеки стратегічного об'єкта.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– розглянути математичну модель оцінки ефективності сценарного управління як інструмента забезпечення безпеки стратегічного об'єкта;

– розробити структуру алгоритму керування реалізації цієї математичної моделі;

– проаналізувати структуру алгоритму та надати рекомендації з необхідності розробки основних процедур з його реалізації.

Виклад основного матеріалу

Характеристика математичної моделі оцінки ефективності сценарного управління як інструмента забезпечення безпеки стратегічного об'єкта.

Вирішуючи завдання оцінки ефективності сценарного управління, необхідно зазначити, що це управління з використанням трьох складових: технічних засобів фізичного захисту, які зараз на озброєнні стратегічного об'єкта; персоналу служби фізичного захисту стратегічного об'єкта, що охороняється; поточного стану сценарію, що формується навколо стратегічного об'єкта, що охороняється. Сценарне управління має забезпечити вирішення довгострокового стратегічного завдання, яке прийнято називати безпекою об'єкта, що охороняється (протидії терористичним загрозам). Завданням стратегії є ефективне використання готівкових ресурсів

задля досягнення основної мети. Стратегія як спосіб дій стає особливо необхідною в ситуації, коли для прямого досягнення основної мети недостатньо готівкових ресурсів [18–20].

Для розробки математичної моделі оцінки ефективності сценарного управління забезпечення безпеки стратегічного об'єкта, що охороняється, були прийняті наступні припущення.

По-перше, вплив чи керування безпекою є нелінійним процесом, тобто не може бути описаний лінійними функціями стану або лінійними диференціальними рівняннями.

По-друге, аналізований процес є адаптивним, тобто змінюється залежно від зовнішніх умов, наприклад, при появі нових факторів, подій, зміні погодних умов та ін.

По-третє, вплив або управління безпекою є інтелектуальним, тобто вимагає використання штучного інтелекту у вигляді нейронних мереж, нечіткої логіки, машинного навчання та інших інновацій.

По-четверте, основна мета цього процесу – забезпечення безпеки об'єкта, що охороняється, а саме протидія терористичним загрозам.

По-п'яте, розподілена система (система фізичного захисту об'єкта, що охороняється) реалізується в певному обсязі (множині) *M*, що складається з сукупності трьох підмножин: першої – безлічі технічних засобів, що використовуються для захисту об'єкта, що охороняється; другої – людей, працівників служби фізичного захисту; і третьої – безлічі сценаріїв вторгнення на об'єкт, що охороняється.

По-шосте, задано простір управлінь U – гільбертовий простір, який є узагальненням евклідового простору. Він допускає нескінченну розмірність та є повним за метрикою. До кожного управління (впливу на ситуацію) $u \in U$ існує стан $y = y(u)$ розподіленої системи (системи фізичного захисту). Узагальнене розв'язання задачі на гільбертовому просторі V є таким, що функція $y(u)$ мінімізує функціонал вартості. Крім цього, при слабкій постановці, коли потрібно знайти елемент $\gamma \in V$, єдиним у V розв'язанням задачі є рішення, що задовольняє керувальному інтегральному рівнянню, тобто є оптимальний оператор *A*, за якого досягається оптимальний вплив на ситуацію при мінімальному функціоналі вартості.

При заданих припущеннях можливе використання математичного апарату теорії глобальної оптимізації Ліпшиця, що використовується у класичній теорії управління [21].

Розроблена на основі цих постулатів математична модель оцінки ефективності сценарного управління як інструмента безпеки стратегічного об'єкта [22] є системою (1). Вона поєднує три групи залежностей, у кожну з яких входять по дві залежності. Перша залежність описує ефективність керувального впливу в розподіленій системі, друга – визначає білінійну форму в кожному варіанті рішення задачі.

$$\left\{\begin{array}{l}
\left\|\overline{y^{!}}-\overline{y^{!!}}\right\|_V^2 \le \mu a\left(\overline{y^{!}}-\overline{y^{!!}},\overline{y^{!}}-\overline{y^{!!}}\right) \le \mu\left\|u^{!}-u^{!!}\right\|_{L_2(\gamma)}\left\|\overline{y^{!}}-\overline{y^{!!}}\right\|_{L_2(\gamma)} \\
a(u,v)=\int\limits_M\left(\sum\limits_{i,j=1}^{n} k_{ij}\dfrac{\partial u}{\partial x_j}\dfrac{\partial v}{\partial x_i}+quv\right)dx+\int\limits_\gamma \beta uv\,d\gamma \\
\left\|\overline{y^{!}}-\overline{y^{!!}}\right\|_V^2 \le \mu a\left(\overline{y^{!}}-\overline{y^{!!}},\overline{y^{!}}-\overline{y^{!!}}\right) \le \mu\left\|u^{!}-u^{!!}\right\|_{L_2(\Gamma)}\left\|\overline{y^{!}}-\overline{y^{!!}}\right\|_{L_2(\Gamma)} \\
a(\varphi,\psi)=\int\limits_M\left(\sum\limits_{i,j=1}^{n} k_{ij}\dfrac{\partial u}{\partial x_j}\dfrac{\partial v}{\partial x_i}+q\varphi\psi\right)dx+\int\limits_\gamma \beta\varphi\psi\,d\gamma \\
\left\|\overline{y^{!}}-\overline{y^{!!}}\right\|^2 \le \mu a\left(\overline{y^{!}}-\overline{y^{!!}},\overline{y^{!}}-\overline{y^{!!}}\right) \le \mu\left\|u^{!}-u^{!!}\right\| * \left\|\overline{y^{!}}-\overline{y^{!!}}\right\| \\
a(\varphi,\psi)=\int\limits_M\left(\sum\limits_{i,j=1}^{n} k_{ij}\dfrac{\partial \varphi}{\partial x_j}\dfrac{\partial \psi}{\partial x_i}+q\varphi\psi\right)dx+\int\limits_\gamma \dfrac{[\varphi][\psi]}{R_1+R_2}d\gamma+ \\
\qquad +\int\limits_\gamma \beta\left(v\varphi^{+}+\chi\varphi^{-}\right)\left(v\psi^{+}+\chi\psi^{-}\right)d\gamma
\end{array}\right\}, \qquad (1)$$

де $\|*\|_V$ – деяка форма;

$\mu = const$;

a – білінійна форма;

$u^!$ і $u^{!!}$ – значення керувального впливу $u = u(x)$;

$\overline{y^!}$ – попередній стан розподіленої системи, який визначається як рішення задачі з оцінки $\bar{y}(u^!)$;

$\overline{y^{!!}}$ – наступний стан розподіленої системи, який визначається як рішення задачі з оцінки $\bar{y}(u^{!!})$;

v – ортогональ нормалі до γ, направлена в M_i (M_1, M_2, $M_i \in R^n$), $v = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$, а $\chi = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$, причому $R_1, R_2, \beta, \delta \in L_2(\gamma)$, $R_1 + R_2 \geq R_0 > 0$ і $R_0 = const$;

γ – переріз області;

Γ – межі заданої області M;

$L_2(\Gamma)$ і $L_2(\gamma)$ – гільбертові простори;

β – довільна наявна функція та її значення, причому $0 \leq \beta = \beta(x) \leq \infty$;

$u \in U$ – одиничне управління (вплив на засоби фізичного захисту стратегічного об'єкта);

$y = y(u)$ – одиничний стан розподіленої системи (поточний стан засобів фізичного захисту стратегічного об'єкта), причому $y \in V$;

k_{ij} – нормувальні коефіцієнти;

q – проєкція елемента f на L, причому $0 < q_0 \leq q = q(x) \leq q_1 < \infty$;

f – функція співвідношень;

φ^+, ψ^+ – найбільші та φ^-, ψ^- – найменші значення аргументів;

$[\varphi]$ – округлення числа до найближчого цілого до нього.

Перша група описує оцінку ефективності управління технічними засобами фізичного захисту, що перебувають у цей момент на озброєнні стратегічного об'єкта, що розглядається як розподілене управління системою, яка описується задачею Діріхле. Друга група визначає оцінку ефективності управління персоналом служби фізичного захисту стратегічного об'єкта, що охороняється, яка розглядається як розподілене управління системою, що описується задачею Неймана, а третя – описує оцінку ефективності управління поточним станом сценарію, що формується навколо охоронюваного стратегічного об'єкта, яка розглядається як розподілене управління стратегічного об'єкта.

Описана теоретично математична модель дозволяє визначити умови, за яких реальний стан у розподіленій системі виходить за межі виконаного керувального впливу і виникає необхідність його коригування для отримання запланованого результату шляхом зміни стану в певному обсязі (множині) *M*, що складається з сукупності трьох підмножин: безлічі технічних засобів, що використовуються для захисту об'єкта, що охороняється; безлічі людей, співробітників служби фізичного захисту; безлічі сценаріїв вторгнення на об'єкт, що охороняється – тобто регулює необхідність зміни стратегії досягнення головної мети сценарного управління – ефективної протидії терористичним загрозам на стратегічному об'єкті, що охороняється.

Структура алгоритму керування реалізації розробленої математичної моделі.

Структурно він складається із дев'яти модулів, розташованих на семи ієрархічних рівнях, як показано на рис. 1. Послідовно розглянемо ці модулі.

На першому ієрархічному рівні розташовується модуль визначення параметрів систематизації даних забезпечення безпеки конгломерації ОКІ. Він забезпечує формування мінімального переліку даних, які у певні інтервали часу повинні збиратися на кожному об'єкті та оброблятися за певними методиками.

На другому рівні розташовується модуль конгломерації об'єктів, який складається з підмодулів. Кожному ОКІ відповідає свій підмодуль, кожному з яких присвоєно порядкові номери від *1* до *K*.

На третьому ієрархічному рівні розміщується модуль збирання даних за параметрами. Тут, як і на другому рівні, кожному ОКІ відповідає свій підмодуль збору даних за параметрами. Зі свого боку, кожен із них розділений на три складові. Перша – це технічні засоби, друга – персонал, третя – поточний стан об'єкта. Для технічних засобів це можуть бути дані про працездатність технічних засобів, графіки їх чергування та використання за прямим призначенням, боєкомплект, функціонування систем допуску на об'єкт та ін. Для персоналу це чисельність співробітників, їх кваліфікаційний рівень, стан їх фізичного та емоційно-психологічного здоров'я, графіки їх роботи та чергування, необхідність реабілітації та ін.

Третя частина даних стосується поточного стану об'єкта з позицій функціонування об'єкта за прямим призначенням та протидії різним терористичним загрозам. Це гідрометеорологічна обстановка: прогноз та фактичний стан погоди (ясно, хмарно, дощ, гроза, ураган та ін.). Оперативно-тактична обстановка, що характеризується обстрілами, нальотами, переміщенням військових формувань, проривом диверсійних груп та ін. Стан комунального забезпечення об'єкта, тобто наявність електроенергії, теплозабезпечення, водопостачання та каналізація, вивіз сміття та ін. Сюди також може входити забезпечення харчуванням, санітарно-гігієнічне забезпечення (наявність та функціонування душових, медпунктів, аптек та ін.).

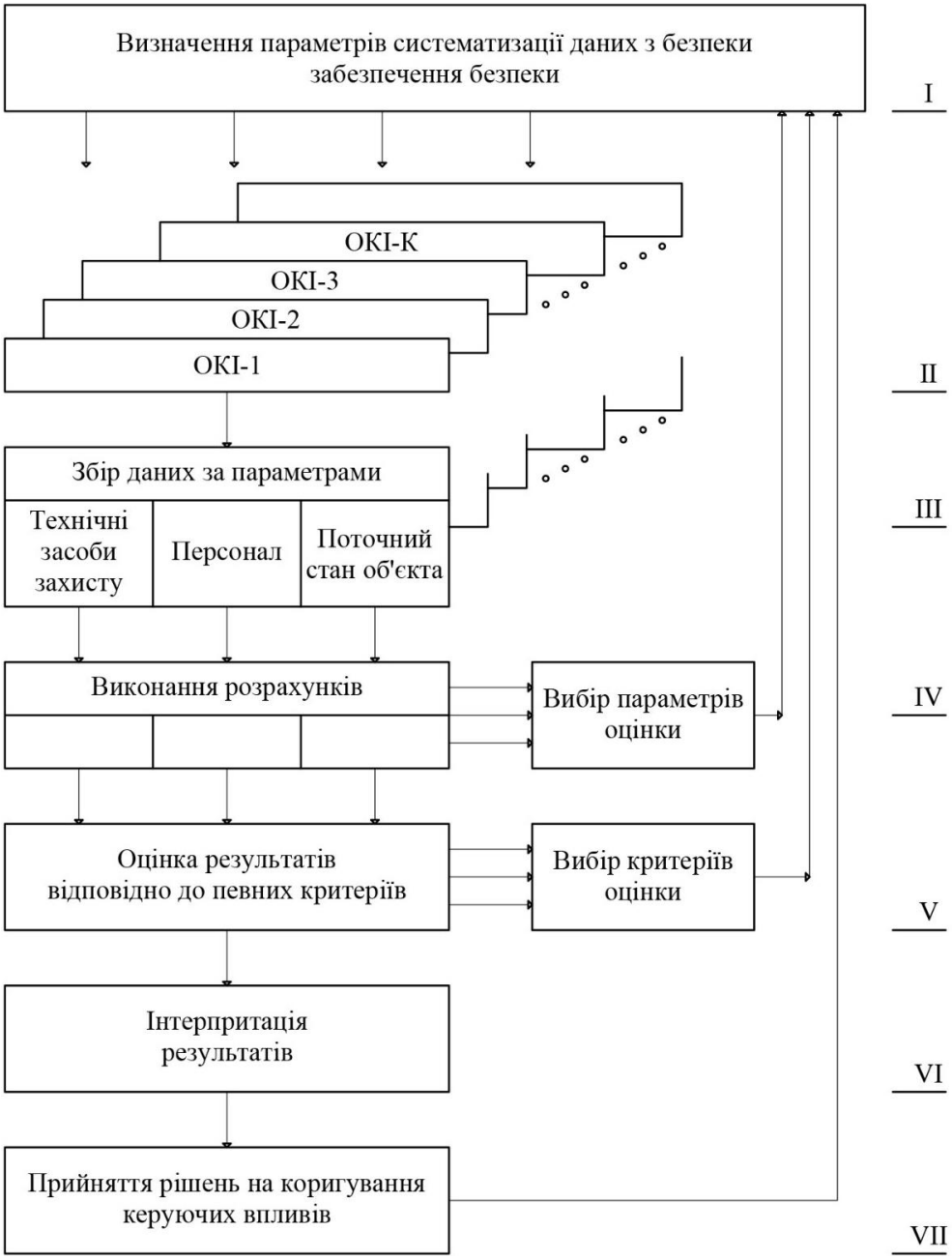

Рис. 1. Структурна схема алгоритму керування

На четвертому рівні перебувають два модулі. Перший – виконання розрахунків, другий – вибір параметрів оцінки. Перший модуль забезпечує проведення спеціальних розрахунків, що виконуються за відповідними методиками. Ці методики розробляються та впроваджуються відповідно до процедур, що забезпечують реалізацію цього алгоритму. Другий модуль забезпечує систематизацію даних та вибір нових параметрів для оцінки. Він також має на меті доповнення або відхилення дублювальних даних. Цей модуль пов’язаний прямим зв’язком з модулем проведення розрахунків і забезпечує зворотний зв’язок з модулем першого рівня – визначення параметрів систематизації даних забезпечення безпеки конгломерації ОКІ.

На п’ятому ієрархічному рівні розташовуються два модулі. Перший – оцінка результатів відповідно до певних критеріїв, другий – вибір критеріїв оцінки. Тут перший модуль забезпечує оцінку результатів, одержаних у результаті розрахунків. Оцінка проводиться відповідно до вибраних критеріїв оцінки. Це можуть бути можливість безвідмовної роботи системи безпеки, надійність функціонування об’єкта за прямим призначенням та ін. Другий блок забезпечує як систематизацію даних оцінок, так і підбір нових критеріїв з метою оцінки ефективності керувальних впливів. Цей модуль пов’язаний прямим зв’язком з модулем оцінки результатів відповідно до певних критеріїв і забезпечує зворотний зв’язок з модулем першого рівня – визначення параметрів системати-

зації даних забезпечення безпеки конгломерації ОКІ.

На шостому рівні розміщується модуль інтерпретації результатів. Цей модуль фактично забезпечує остаточну оцінку безпеки об'єкта. Наприклад, на конгломерацію ОКІ скоєно дві послідовні терористичні дії (два нальоти). Під час першого збиті всі повітряні цілі, а саме десять ракет та двадцять ударних БПЛА. Уламки, що впали, спричинили шість загорянь, два з яких переросли в пожежі (нафтобаза і автопарк на двох об'єктах). Усі об'єкти конгломерації продовжили працювати. У другому нальоті через годину конгломерацію атакували всього п'ять ударних БПЛА. Вони так само всі були збиті, але уламки одного з БПЛА, що впали, спричинили спалах у розподільчому трансформаторі електростанції. Відсутність резервного пожежного розрахунку не дала змогу своєчасно загасити палання трансформаторної олії. У результаті розподільчий трансформатор вигорів – вийшов із ладу. Порушилося електропостачання конгломерації, оскільки тепер електроживлення конгломерації здійснювалося за резервними електрокомунікаціями. Збої було ліквідовано через сім діб, після встановлення нового розподільчого трансформатора. З одного боку, всі ударні засоби, що атакують конгломерацію, збиті. З іншого – конгломерація продовжила роботу зі збоями протягом тижня у зв'язку з несвоєчасним початком гасіння спалаху. Інтерпретація цих результатів визначає подальше ухвалення рішень.

На сьомому ієрархічному рівні розташований модуль прийняття рішення на коригування керувальних впливів. Він забезпечує, з огляду на оцінку ефективності сценарного управління, коригування керувальних впливів, вкладених у реалізацію обраного варіанта сценарного управління.

Висновки

Отже, алгоритм керування реалізації математичної моделі оцінки ефективності сценарного управління як інструмента забезпечення безпеки стратегічного об'єкта є ієрархічною структурою з дев'яти блоків (або модулів), розташованих на семи ієрархічних рівнях, пов'язаних прямими і зворотними зв'язками. Він забезпечує оцінку ефективності вирішення приватних завдань із забезпечення безпеки стратегічного об'єкта, що охороняється, коригування керувальних впливів, спрямованих на реалізацію обраного варіанта сценарного управління.

Для коректного практичного використання цього алгоритму керування для оцінки ефективності вирішення приватних завдань із забезпечення безпеки стратегічного та об'єктів критичної інфраструктури, що охороняється, необхідно детально розробити процедури його застосування.

Література

1. Ключове завдання нашої держави / Промови та звернення / Доступ: https://www.president.gov.ua/news/speeches

2. Linhart, P., Richter, R. (2003): Ochrana kritické infrastruktury. Input: http.//www.mvcr.cz/casopisy/112/3_2003/linhart.html

3. Presidential Decision Directive 63 (1998), https://www.fas.org/irp/offdocs/pdd/pdd-63.htm

4. The National Strategy for the Physical Protection of Critical Infrastructures and Key Assets, http://www.whitehouse.gov/pcipb/physical.html

5. Указ Президента України №8/2017. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 29 грудня 2016 року «Про удосконалення заходів забезпечення захисту об'єктів критичної інфраструктури». Доступ: https://www.president.gov.ua/documents/82017-21058

6. Закон України «Про критичну інфраструктуру» {Із змінами, внесеними згідно із Законом № 2684-IX від 18.10.2022}. Доступ: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text

7. Дівізінюк М.М. Теоретичні засади парадигми «цивільний захист» / М.М. Дівізінюк, С.А. Єременко, О.А. Лєфтєров, А.В. Пруський, В.В. Стрілец, В.М. Стрілец, Р.І. Шевченко // Монографія. Київ.: ТОВ «АЗИМУТ-ПРІНТ». 2022. 335 с. (ISBN 978-617-8015-20-6).

8. Постанова КМУ від 04.03.2015 р. № 83 «Про затвердження переліку об'єктів державної власності, що мають стратегічне значення для економіки і безпеки держави». Доступ: https://document.vobu.ua/doc/7863

9. Papalou, A., Baros, K., (2019). Assessing Structural Damage after a Severe Wildfire: A Case Study Department of Civil Engineering, University of Peloponnese; 26334 Patras, Greece. Buildings, 9(7), 171 DOI: http://doi.org/10.3390/buildings9070171

10. Jakubowski, K., Paś, J., Duer, S., & Bugaj, J., (2021). Operational Analysis of Fire Alarm Systems with a Focused, Dispersed and Mixed Structure in Critical Infrastructure Buildings, Energies 14(23), 7893; DOI: http://doi.org/10.3390/en14237893

11. Aliş, B., Yazici, C., & Özkal, F.M., (2022). Investigation of Fire Effects on Reinforced Concrete Members via Finite Element Analysis ACS Omega 2022, 7(30), 26881–26893 DOI: http://doi.org/10.1021/acsomega.2c03414

12. Азаренко О.В., Гончаренко Ю.Ю., Дівізінюк М.М., Шевченко О.С., Шевченко Р.І. 1. Азаренко О.В., Гончаренко Ю.Ю., Дівізінюк М.М., Шевченко О.С., Шевченко Р.І. Характеристика об'єктів критичної інфраструктури держави (особливості ядерних та інших стратегічних об'єктів) // Комунальне господарство міст, 2023, том 1, випуск 175. С. 160-168 ISSN 2522-1809(Print); ISSN2522-1817 (Online) DOI 10.33042/2522-1809-2023-1-175-160-168

13. Азаренко О.В., Гончаренко Ю.Ю., Дівізінюк М.М., Шевченко О.С., Шевченко Р.І. Поняття загрози та ризику, їх загальні риси та принципіальні відмінності (стосовно ядерних та інших стратегічних об'єктів) // Комунальне господарство міст, 2023, том 3, випуск 177. С.153- 158 ISSN 2522-1809(Print); ISSN2522-1817 (Online) DOI 10.33042/2522-1809-2023-3-177-153-158

14. О.В. Азаренко, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дівізінюк, О.С. Шевченко, Р.І. Шевченко Методи дослідження загроз і ризиків // Комунальне господарство міст, 2023, том 4, випуск 178. С.269- 279 ISSN 2522-1809(Print); ISSN2522-1817 (Online) DOI https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-172-178

15. Азаренко О.В., Гончаренко Ю.Ю., Дівізінюк М.М., Шевченко О.С., Шевченко Р.І. Методи оцінки терористичних загроз стосовно стратегічних об'єктів держави //

Комунальне господарство міст, 2023, том 6, випуск 180. С. 187-195 ISSN 2522-1809(Print); ISSN2522-1817 (Online) DOI: https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-6-180-187-195

16. Ponomarenko S., Samberg A., Chumachenko S., Popel, V. (2017). A Model of Recreation Management of Abandoned Territories after Armed Conflicts. Proceedings of 24th TIEMS Annual Conference and General Assembly, Kyiv, Ukraine, 4-7 December 2017.

17. Samberg, A., Mikhno, O. (2015) R&D trends in the areas of critical infrastructure and civil protection. The International Scientific Conference on Modelling of Risks and Threats of Critical Infrastructures. The State Emergency Service of Ukraine, The Ukrainian Civil Protection Research Institute, 20-21 April 2015, Kiev, UKRAINE.

18. Robert A. Fowler, Andre Samberg, Martin J. Flood, and Tom J. Greaves. (2007) Topographic and Terrestrial Lidar. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. 252 p.

19. World nuclear industry status report, 2014. Режим доступу: http//www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf

20. Roadmap for Fukusima Daiichi restoration. World nuclear news. 18 april 2011.

21. No significant damage to fuel at unit 4. World nuclear news. 30 april 2011.

22. World nuclear industry status report, 2015. Режим доступу: http//www.worldnuclearreport.org/the_world_nuclear_industry_status_report_2015/html

References

1. Kliuchove zavdannia nashoi derzhavy / Promovy ta zvernennia / Dostup: https://www.president.gov.ua/news/speeches

2. Linhart, P., Richter, R. (2003): Ochrana kritické infrastruktury. http.//www.mvcr.cz/casopisy/112/3_2003/linhart.html

3. Presidential Decision Directive 63 (1998), https://www.fas.org/ irp/offdocs/pdd/pdd-63.htm

4. The National Strategy for the Physical Protection of Critical Infrastructures and Key Assets, http://www.whitehouse.gov/pcipb/physical.html

5. Ukaz Prezydenta Ukrainy №8/2017. Pro rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy vid 29 hrudnia 2016 roku «Pro udoskonalennia zakhodiv zabezpechennia zakhystu obiektiv krytychnoi infrastruktury». Dostup: https://www.president.gov.ua/documents/82017-21058

6. Zakon Ukrainy «Pro krytychnu infrastrukturu» {Iz zminamy, vnesenymy zghidno iz Zakonom № 2684-IX vid 18.10.2022}. Dostup: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text

7. Diviziniuk M.M. Teoretychny zasady paradyhmy «tsyvilnyi zakhyst» / M.M. Diviziniuk, S.A. Yeremenko, O.A. Lieftierov, A.V. Pruskyi, V.V. Strilets, V.M. Strilets, R.I. Shevchenko // Monohrafiia. Kyiv.: TOV «AZYMUT-PRINT». 2022. 335 s. (ISBN 978-617-8015-20-6).

8. Postanova KMU vid 04.03.2015 r. № 83 «Pro zatverdzhennia pereliku obiektiv derzhavnoi vlasnosti, shcho maiut stratehichne znachennia dlia ekonomiky i bezpeky derzhavy». Dostup: https://document.vobu.ua/doc/7863

9. Papalou, A., Baros, K., (2019). Assessing Structural Damage after a Severe Wildfire: A Case Study Department of Civil Engineering, University of Peloponnese; 26334 Patras, Greece. Buildings, 9(7), 171 DOI: http://doi.org/10.3390/buildings9070171

10. Jakubowski, K., Paś, J., Duer, S., & Bugaj, J., (2021). Operational Analysis of Fire Alarm Systems with a Focused, Dispersed and Mixed Structure in Critical Infrastructure Buildings, Energies 14(23), 7893; DOI: http://doi.org/10.3390/en14237893

11. Aliş, B., Yazici, C., & Özkal, F.M., (2022). Investigation of Fire Effects on Reinforced Concrete Members via Finite Ele-ment Analysis ACS Omega 2022, 7(30), 26881–26893 DOI: http://doi.org/10.1021/acsomega.2c03414

12. Azarenko O.V., Honcharenko Yu.Iu., Diviziniuk M.M., Shevchenko O.S., Shevchenko R.I. 1. Azarenko O.V., Honcha-renko Yu.Iu., Diviziniuk M.M., Shevchenko O.S., Shevchenko R.I. Kharakterystyka obiektiv krytychnoi infrastruktury derzhavy (osoblyvosti yadernykh ta inshykh stratehichnykh obiektiv) // Komunalne hospodarstvo mist, 2023, tom 1, vypusk 175. S.160-168 ISSN 2522-1809(Print); ISSN2522-1817 (Online) DOI 10.33042/2522-1809-2023-1-175-160-168

13. Azarenko O.V., Honcharenko Yu.Iu., Diviziniuk M.M., Shevchenko O.S., Shevchenko R.I. Poniattia zahrozy ta ryzyku, yikh zahalni rysy ta pryntsypialni vidminnosti (stosovno yadernykh ta inshykh stratehichnykh obiektiv) // Komunalne hospodarstvo mist, 2023, tom 3, vypusk 177. S.153- 158 ISSN 2522-1809(Print); ISSN2522-1817 (Online) DOI 10.33042/2522-1809-2023-3-177-153-158

14. O.V. Azarenko, Yu.Iu. Honcharenko, M.M. Diviziniuk , O.S. Shevchenko, R.I. Shevchenko Metody doslidzhennia zahroz i ryzykiv // Komunalne hospodarstvo mist, 2023, tom 4, vypusk 178. S.269- 279 ISSN 2522-1809(Print); ISSN2522-1817 (Online) DOI https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-172-178

15. Azarenko O.V., Honcharenko Yu.Iu., Diviziniuk M.M., Shevchenko O.S., Shevchenko R.I. Metody otsinky terorystychnykh zahroz stosovno stratehichnykh obiektiv derzhavy // Komunalne hospodarstvo mist, 2023, tom 6, vypusk 180. S. 187-195 ISSN 2522-1809(Print); ISSN2522-1817 (Online) DOI: https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-6-180-187-195

16. Ponomarenko S., Samberg A., Chumachenko S., Popel, V. (2017). A Model of Recreation Management of Abandoned Territories after Armed Conflicts. Proceedings of 24th TIEMS Annual Conference and General Assembly, Kyiv, Ukraine, 4-7 December 2017.

17. Samberg, A., Mikhno, O. (2015) R&D trends in the areas of critical infrastructure and civil protection. The International Scientific Conference on Modelling of Risks and Threats of Critical Infrastructures. The State Emergency Service of Ukraine, The Ukrainian Civil Protection Research Institute, 20-21 April 2015, Kiev, UKRAINE.

18. Robert A. Fowler, Andre Samberg, Martin J. Flood, and Tom J. Greaves. (2007) Topographic and Terrestrial Lidar. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. 252 p.

19. World nuclear industry status report, 2014. Режим доступу: http//www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf

20. Roadmap for Fukusima Daiichi restoration. World nuclear news. 18 april 2011.

21. No significant damage to fuel at unit 4. World nuclear news. 30 april 2011.

22. World nuclear industry status report, 2015. Режим доступу: http//www.worldnuclearreport.org/the_world_nuclear_industry_status_report_2015/html

Рецензент: д-р техн. наук, проф., заступник начальника з навчальної та наукової роботи О.М. Мирошник, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, Україна.

Автор: АЗАРЕНКО Олена Василівна
доктор фізико-математичних наук, професор, заступник керівника
Науково-дослідний лабораторно-експериментальний центр «БРАНД ТРЕЙД»
E-mail – azarenko_ev@ukr.net
ID ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2927-5545

Автор: ГОНЧАРЕНКО Юлія Юріївна
доктор технічних наук, доцент, професор кафедри кібербезпеки та захисту інформації
Європейський університет
E-mail – vup@e-u.in.ua
ID ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2045-0263

Автор: ДІВІЗІНЮК Михайло Михайлович
доктор фізико-математичних наук, професор, головний науковий співробітник
Центр інформаційно-аналітичного та технічного забезпечення моніторингу об'єктів атомної енергетики НАН України
E-mail – divizinyuk@ukr.net
ID ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5657-2302

Автор: ШЕВЧЕНКО Роман Іванович
доктор технічних наук, професор, начальник кафедри автоматичних систем безпеки та інформаційних технологій
Національний університет цивільного захисту України
E-mail – shevchenko605@i.ua
ID ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9634-6943

Автор: ШЕВЧЕНКО Ольга Станіславівна
кандидат технічних наук, провідний фахівець
Національний університет цивільного захисту України
E-mail – shevchenkoolga2008@gmail.com
ID ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2106-5009

CONTROL ALGORITHM FOR IMPLEMENTING A MATHEMATICAL MODEL FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF SCENARIO MANAGEMENT AS A TOOL FOR ENSURING THE SECURITY OF A STRATEGIC FACILITY

O. Azarenko[1], Yu. Honcharenko[2], M. Diviziniuk[3], R. Shevchenko[4], O. Shevchenko[4]
[1]Scientific Research Laboratory and Experimental Center "BRAND TRADE", Kharkiv, Ukraine
[2]European University, Kyiv, Ukraine
[3]Center for Information-Analytical and Technical Support of Nuclear Power Facilities Monitoring of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
[4]National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Ensuring the safety of critical infrastructure facilities and other strategic objects is one of the main tasks of Ukraine as a state defending itself against military aggression. To accomplish this task, the authors developed a mathematical model of scenario management as a tool to ensure a strategic object's security. However, the problem arises that, due to the nonlinearity of the processes under consideration, the theoretical solutions rely on assessing various controlling influences and, if necessary, their corrections to obtain the planned result. This article aims to develop a control algorithm for implementing a mathematical model to assess the effectiveness of scenario management as a tool for ensuring the security of a strategic object.

For this, it is necessary to complete the following tasks: to consider a mathematical model for assessing the effectiveness of scenario management as a tool for ensuring the safety of a strategic object; develop the structure of the control algorithm for the implementation of this mathematical model; analyse the structure of the algorithm and make recommendations about the need to create the basic procedures for its implementation.

A proposed control algorithm for implementing a mathematical model for assessing the effectiveness of scenario management as a tool for ensuring the security of a strategic object is a hierarchical structure of nine blocks (or modules) located at seven hierarchical levels, connected by direct and feedback links. It assesses the effectiveness of solving private tasks to ensure the security of a strategic object under protection, adjusting control influences aimed at implementing the selected scenario management option.

At the first hierarchical level is the module for determining the parameters of systematisation of critical infrastructure conglomeration security data. The second level includes the object conglomeration module, which consists of submodules. The third hierarchical level contains the module for collecting data by parameters. The fourth level has two modules. The first is for performing calculations, and the second is for selecting evaluation parameters. It also aims to supplement or reject duplicate data. The fifth hierarchical level also contains two modules. The first is evaluating results according to particular criteria, and the second is the selection of evaluation criteria. The sixth level is the results interpretation module. This module provides the final assessment of the facility's safety. The seventh hierarchical level is the module for making decisions on adjusting control actions.

For the correct, practical application of this control algorithm to assess the effectiveness of solving private tasks to ensure the security of strategic and critical infrastructure objects under protection, it is necessary to develop the procedures for its application in detail.

Keywords: *critical infrastructure object, scenario management, algorithm, mathematical model, emergency.*