

КОМПЛЕКСНА МОДЕЛЬ СИСТЕМНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОБЛЕМ БЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Дана стаття присвячена розробці методологічних підходів до розв'язання недостатньо вивченої проблеми, а саме системному дослідженню аспектів забезпечення безпеки важливих об'єктів критичної інфраструктури. Згідно з Законом «Про основи національної безпеки України» об'єктами критичної інфраструктури є: транспорт та зв'язок; енергетика та енергозабезпечення; забезпечення житлово-комунальних господарств; промисловість та науково-технічна діяльність в військово-промисловому комплексі; технології подвійного призначення; інформаційні технології та захист інформації; використання надр; земельних на водних ресурсів; корисних копалин; захист екології тощо. Розроблено систему класифікацій методів прогностичного моделювання у вигляді трьохрівневої структури: за прийомами прогнозування та інформаційними підставами; за матеріальною основою інструменту здобуття кінцевого результату; за схемою класифікації призначених конкретних методів.

Розроблена комплексна модель системних досліджень проблем безпеки держави з позиції Збройних Сил України. Наведено математичний апарат аналізу та оцінки рівня національної (воєнної) безпеки у тому числі, воєнно-політичної, воєнно-економічної, воєнно-політичної моделей держави. Визначені особливості класів задач за напрямком, а саме добре та слабо структурованих задач. Запропоновано використання теорії ігор для скомпенсування статистичного вибору. Наведено основні методи прийняття рішень: методи теорії корисності (узагальненого критерію); сукупна очікувана корисність як обґрунтований метод дерев рішень; методи теорії перспектив; методи порогів незрівнянності; методи аналізу ієрархій, які спираються на багатокритеріальний опис проблеми; евристичні методи. Показано, що найбільш розвинутою теоретичною основою, що знаходить застосування при визначенні станів безпеки об'єктів критичної інфраструктури та безпеки в цілому, є експертні методи чи методи багатомірного аналізу з елементами таксономії. Проте ці підходи передбачають існування еталонних об'єктів чи уявленого експертами сценарію прояву впливу факторів на кінцевий результат. Зроблено важливий висновок, що в основі наукового протиріччя лежить необхідність створення достатньо досконалого механізму рішення задач об'єктивного обґрунтування рішень у воєнній сфері за умов суттєвої обмеженості в набутті упереджених даних для превентивного попередження конфліктів у воєнній сфері та відсутності закінченої наукової теорії визначення результату комплексного впливу різноманітних факторів.

Ключові слова: забезпечення безпеки; об'єкти критичної інфраструктури; національна та воєнна безпека; методи прийняття рішень.

Вступ, аналіз останніх досліджень та постановка задачі. Понятійний апарат теорії національної та воєнної безпеки держави в достатній мірі визначено в Законі "Про основи національної безпеки України" [1]. Крім того, в наукових дослідженнях [2-5] додатково представлено пояснення значення деяких термінів і визначень, зроблені пропозиції по окремим напрямкам національної безпеки, вивчені основи їх стратегії, надані теоретичні і практичні приклади по їх реалізації та по попередженню, прийняттю наукових, методичних та інструментальних заходів.

Дана стаття присвячена недостатньо вивченій проблемі - системному дослідженню проблем безпеки об'єктів критичної інфраструктури. При цьому, насамперед хотілося б розкрити сутність деяких, найбільш важливих визначень, а саме:

національна безпека - це захищеність життєво важливих інтересів людини і громадянина, суспільства і держави, за якої забезпечуються сталий розвиток суспільства, своєчасне виявлення, запобігання і нейтралізація реальних та потенційних загроз національним інтересам у сферах правоохоронної діяльності, боротьби з корупцією,

прикордонної діяльності та оборони, міграційної політики, охорони здоров'я, освіти та науки, **науково-технічної** та інноваційної політики (*тут і далі в тексті Закону курсивом виділені найбільш вагомні напрямки безпеки об'єктів критичної інфраструктури*), культурного розвитку населення, забезпечення свободи слова та інформаційної безпеки, соціальної політики та пенсійного забезпечення, **житлово-комунального господарства**, ринку фінансових послуг, захисту прав власності, фондових ринків і обігу цінних паперів, податково-бюджетної та митної політики, торгівлі та **підприємницької діяльності**, ринку банківських послуг, інвестиційної політики, ревізійної діяльності, монетарної та валютної політики, захисту інформації, ліцензування, **промисловості** та сільського господарства, **транспорту та зв'язку, інформаційних технологій, енергетики та енергозбереження**, функціонування природних монополій, використання надр, земельних та водних ресурсів, **корисних копалин, захисту екології** і навколишнього природного середовища та інших сферах державного управління при виникненні негативних тенденцій до створення потенційних або реальних загроз національним інтересам;

національні інтереси - життєво важливі матеріальні, інтелектуальні і духовні цінності Українського народу як носія суверенітету і єдиного джерела влади в Україні, визначальні потреби суспільства і держави, реалізація яких гарантує державний суверенітет України та її прогресивний розвиток;

загрози національній безпеці - наявні та потенційно можливі явища і чинники, що створюють небезпеку життєво важливим національним інтересам України;

Система забезпечення національної безпеки – це комплекс організаційних структур, засобів, скоординованих дій і заходів, що здійснюються з метою розроблення та реалізації стратегії національної безпеки, цілеспрямованих рішень щодо захисту життєво важливих інтересів людини, суспільства і держави від внутрішніх і зовнішніх загроз [2-7].

Система забезпечення національної безпеки це організована державою сукупність об'єктів: державних органів, громадських організацій, посадових осіб та окремих громадян, об'єднаних цілями та задачами щодо захисту національних інтересів, яка створюється з метою реалізації національних інтересів, інтересів особистості та суспільства з урахуванням та на основі взаємозалежності соціальних, економічних, політичних, воєнних, техногенних, інформаційних та інших факторів. На систему покладається проведення комплексу погоджених заходів щодо захисту національних інтересів у політичній, економічній, воєнній, інформаційній та інших сферах.

Система забезпечення воєнної безпеки держави є підсистемою більш загальної складної системи забезпечення національної безпеки держави, найважливішою її складовою частиною, головним інструментом реалізації державної політики забезпечення національних інтересів України в оборонній сфері, знаходиться на одному рівні ієрархії з іншими підсистемами і має з ними інформаційні і функціональні зв'язки [8, 9]. Сьогодні проблема забезпечення воєнної безпеки держави – це не тільки і не стільки питання удосконалення військової компоненти держави. Забезпечення воєнної безпеки України необхідно розглядати, насамперед, як похідну від рівня розвитку економічної, інформаційної, власне військової і науково-технологічної бази держави, системи політичних стосунків у суспільстві, ступеня демократичного розвитку держави, системи міжнародних відносин і сформованої структури "світового порядку", інтеграційних об'єднань різних держав та ін.

Система забезпечення воєнної безпеки стосується практично всіх галузей функціонування суспільства і держави, головними з яких є [4, 7, 9]:

✓ воєнна сфера (питання військової організації держави, системи оборонного планування, у т.ч. питання оперативної і бойової підготовки військ (сил));

✓ військово-політична сфера (питання регіональної і глобальної безпеки, миротворчої діяльності);

✓ військово-економічна сфера (питання економічного і ресурсного забезпечення військового будівництва, підтримки життєдіяльності військ (сил) нарівні, що забезпечує необхідний ступінь бойової готовності і боєздатності, питання формування оборонного

бюджету і розподіл та оптимізація бюджетних ресурсів);

✓ військово-соціальна сфера (питання морально-психологічної підготовки населення до вирішення оборонних завдань, морально-психологічні проблеми військових колективів, соціальні проблеми військових);

✓ військово-технічна сфера (питання розвитку фундаментальної науки в інтересах забезпечення оборони країни, пошукових і прикладних досліджень, базових військових технологій, питання створення, модернізації та утилізації зразків озброєння і військової техніки, підготовка спеціальних і науково-технічних кадрів);

✓ військово-технологічна сфера (питання розвитку базових військових технологій для вирішення оперативно-стратегічних і оперативно-тактичних завдань – систем розвідки та управління військами і зброєю, розвідувально-ударні комплекси тощо), створення принципово нових зразків озброєння і військової техніки і таке інше.

Виклад основних результатів. У сучасних умовах важливими аспектами забезпечення інтегрованого управління захистом важливих об'єктів критичної інфраструктури є випереджувальне виявлення загроз і ризиків на протязі життєвого циклу їх експлуатації в умовах мирного та воєнного часу. Це потребує здійснення переходу до прогностичних форм діяльності з використанням багатоваріантних моделей розвитку обстановки в державі та її регіонів, не просто констатації фактів (ознайомлення з первинною інформацією), а системного підходу до вирішення проблеми загалом на основі поєднання інтелектуальних здібностей персоналу інформаційно-аналітичних підрозділів (керівного складу) з функціональними можливостями сучасних інформаційно-телекомунікаційних систем та з використанням сучасних технічних засобів космічної, повітряної, наземної та інших видів розвідок.

Методи прогностичного моделювання. Орієнтація на передбачення (прогнозування), завчасне виявлення тенденцій розвитку ситуації обумовлює потребу застосування різних аналітичних методів опрацювання інформації: порівняльного, ситуаційного, SWOT-аналіз (метод стратегічного планування, заснований на аналізі сильних і слабких сторін, можливостей і загроз) і PEST – інструмент (політичні, економічні, соціальні та технологічні аспекти) та інших методів аналізу загроз і ризиків.

На рис. 1 наведено методи прогностичного моделювання схеми. При цьому, на *першому* (найвищому) *рівні* класифікації методи прогнозування поділяються за прийомами прогнозування на інформаційній підставі, тобто за способом одержання вхідних даних для прогнозування, які засновані або на використанні експертних оцінок, або на моделюванні, або на сполученні цих методів.

Другий рівень класифікації базується на матеріальній основі інструменту здобуття кінцевого результату.

Третій рівень наведеної схеми класифікації призначений для конкретизації методу.

У загальному випадку послідовність прогнозування включає такі основні операції:

1. Визначення об'єкта прогнозування за його фізичним змістом, призначенням, зв'язком з іншими об'єктами, призначенням і складом інформації, яка повинна бути отримана при прогнозуванні.

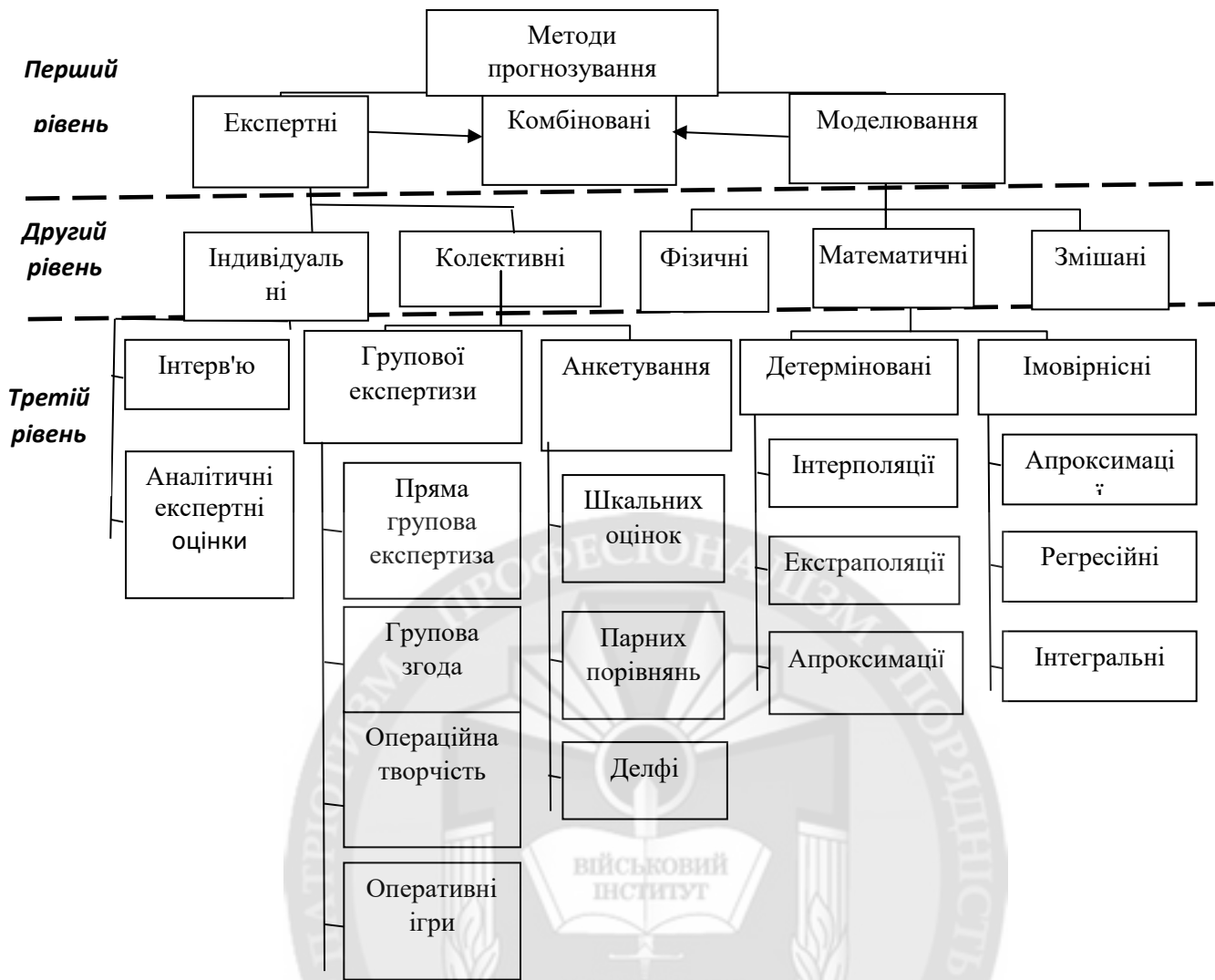


Рисунок 1. Методи прогностичного моделювання

2. Збирання й аналіз інформації, що належить до об'єкта прогнозування. Ця інформація може містити дані про подібні об'єкти у минулому і теперішньому. До необхідної інформації належать також закономірності поведінки подібних об'єктів в аналогічних умовах.

3. Побудова моделі об'єкта, що досліджується, на основі закономірностей, що виявлені. На вибір моделі прогнозування впливають мета і задачі прогнозування, а також інтервал прогнозування. На даному етапі визначальним фактором є обрана матеріальна основа інструменту отримання кінцевого результату, що виливається в застосування суб'єктивних експертних методів, заснованих на досвіді експертів, чи об'єктивних методів фізичного чи знакового (математичного) моделювання.

4. Визначення невідомих параметрів моделі процесу, що прогнозується. Безпосередньо прогнозування, тобто розроблення прогнозу щодо майбутнього стану об'єкта.

Отримані результати прогнозування, що отримані, піддаються логічному аналізу, за результатами якого можуть бути зроблені уточнення до процесу прогнозування. В основі прогнозування лежать три джерела інформації про майбутнє: 1. Оцінка перспектив розвитку, прогнозування стану об'єкта (процесу або явища) на основі досвіду, найчастіше за допомогою аналогії з достатньо добре відомими об'єктами (процесами або явищами) – застосовується в основному для забезпечення експертних методів;

2. Умовне прогнозування у майбутнє (екстраполяція тенденцій, закономірності розвитку яких у минулому і теперішньому достатньо добре відомі) – здебільшого застосовується в методах імітаційного моделювання;

3. Модель прогнозування стану того чи іншого об'єкта (процесу або явища), що побудована відповідно до очікуваних або бажаних змін ряду умов, перспективи розвитку яких достатньо добре відомі – здебільшого застосовується різними методами математичного моделювання.

Науково-методичний апарат оцінювання і прогнозування рівня воєнної безпеки.

Наукове обґрунтування стратегічних рішень у сфері воєнної безпеки і визначення пріоритетних напрямків формування воєнної політики здійснені з позиції системного підходу щодо їх внеску в загальну ефективність системи забезпечення національної безпеки, раніше застосували відомий апарат [9 - 11], а також викладені в [4, 5, 7].

Для моделювання і дослідження проблем воєнної безпеки держави використовується воєнно-політична модель держави у вигляді окремого модуля, комплексна модель системних досліджень (КМСД) [11]. Традиційні методи, що використовуються для вирішення таких завдань, базуються, як правило, на методах експертного оцінювання, проб і помилок, що вносить елементи суб'єктивізму і супроводжується досить великими похибками. Науково-методичний апарат оцінювання і прогнозування рівня воєнної безпеки базується на використанні методів дослідження операцій, аналізу ієрархій, векторної алгебри, експертного оцінювання і математичного моделювання. Приклад КМСД проблем воєнної безпеки держави представлено на рис. 2. Складовими даного науково-методичного апарату оцінювання і прогнозування рівня воєнної небезпеки для держави є:

1. Методика аналізу воєнно-політичної обстановки в регіоні.
2. Метод прогнозування динаміки воєнно-політичної обстановки з використанням експертно-значимих проміжних станів.
3. Методика визначення множини держав, що можуть скласти воєнну небезпеку для України.
4. Методика оцінювання рівня воєнної небезпеки для держави.
5. Методика оцінювання впливу дестабілізуючих чинників воєнно-політичної обстановки на рівень воєнної безпеки держави.

Основними проблемами практичного застосування даного науково-методичного апарату є визначення:

- ✓ періодичності проведення оцінок комплексного показника рівня воєнної небезпеки;
- ✓ числових значень порогів виникнення воєнної загрози;
- ✓ оптимальної структури експертів;
- ✓ припустимої величини неузгодженості думок експертів;
- ✓ кількість генерованих можливих сценаріїв розвитку воєнно-політичної обстановки.

Аналіз та оцінка рівня національної безпеки та її складових. Одним із перспективних методичних підходів щодо аналізу та оцінки рівня національної безпеки є методика багатовимірного порівняльного аналізу, яка ґрунтується на методах таксономії з елементами факторного аналізу і складається з наступних кроків (етапів):

1. Визначаються до розгляду об'єкти, які визначають стан національної безпеки;
2. Визначаються показники, які описують властивості цих об'єктів;
3. Формується матриця вхідних даних:

$$[X_{ij}], (i = \overline{1, \omega}, j = \overline{1, n}),$$

де i – номер об'єкта,

j – номер його властивості;

4. Матриця вхідних даних зводиться до стандартизованого вигляду:

$$\bar{X}_j = \frac{1}{\omega} \sum_i X_{ij},$$

$$S_j = \sqrt{\frac{1}{\omega - 1} \sum_i (X_{ij} - \bar{X}_j)^2},$$

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{S_j}.$$

5. Розраховується матриця відстаней (абсолютна середня різниця значень показників):

$$C_{rs} = \frac{1}{\omega} \sum_l |Z_{rl} - Z_{sl}|,$$

$$l = 1, \omega, r, s = 1, n;$$

Властивості матриці: $C_{rr} = 0, C_{rs} = C_{sr}, C_{rs} \leq C_{rv} + C_{vs}$.

6. Визначається критична відстань - найбільша відстань між показниками, що розташовані поблизу один до одного: $C = \max_i \min_j (\alpha_i, \alpha_j)$.

7. Визначається для кожного показника відстань, яка не перевищує критичну:

$$Q_j = (r, h) | \rho(\alpha_r, \alpha_h) \leq C, r, h = 1, n.$$

8. Знаходиться сума відстаней для кожного показника:

$$\omega = \sum \rho(\alpha_r, \alpha_h), (r, h) \in Q_j.$$

9. Знаходиться максимальна сума відстаней:

$$\omega_m = \max \omega_j;$$

10. Визначаються коефіцієнти ієрархії показників:

$$\lambda_j = \frac{\omega_j}{\omega_m}.$$

11. Здійснюється розподіл показників стимулятори (конструктори), збільшення яких призводить до зростання узагальненого показника - S ; стимулятори (деструктори), зростання яких призводить до зменшення узагальненого показника - D .

12. Здійснюється побудова еталонного об'єкта - точки з координатами

$$Z_{01}, Z_{02}, \dots, Z_{0n}, Z_{0F} = \begin{cases} \max Z_{RF}, & \text{якщо } F \in S; \\ \min Z_{RF}, & \text{якщо } F \in D. \end{cases}$$

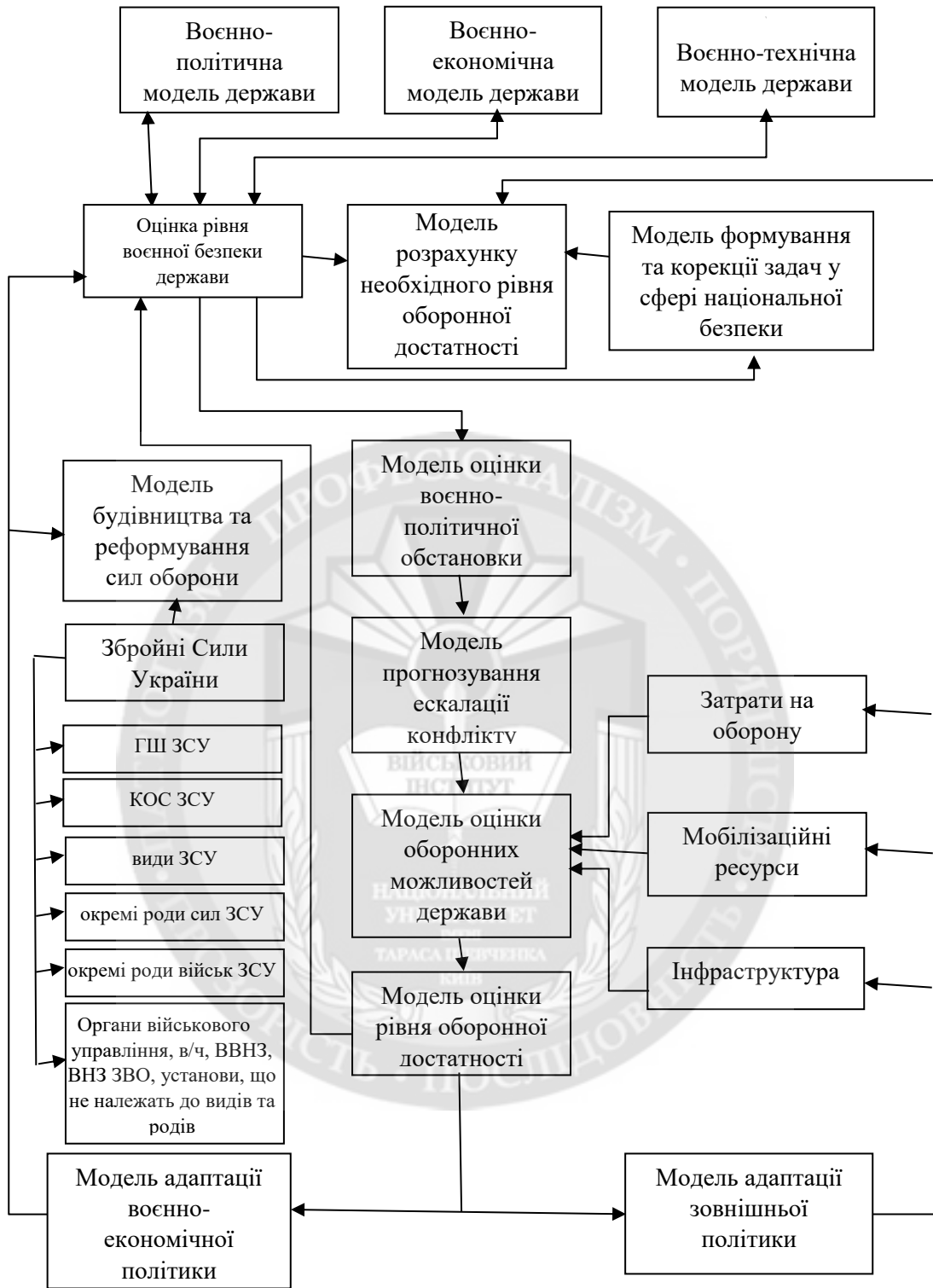


Рисунок 2 – Комплексна модель системних досліджень проблем воєнної безпеки держави

13. Розраховується відстань між еталонною точкою та точками-об'єктами:

$$C_{i0} = \sqrt{\sum (Z_{if} - Z_{of})^2}, f = \overline{1, n}, i = \overline{1, \omega};$$

14. Розраховується середньоквадратичне відхилення відстані:

$$S_0 = \sqrt{\frac{1}{\omega} \sum (C_{i0} - \bar{C}_0)^2}, \text{ при цьому } C_0 = \bar{C}_0 \mp S_0$$

15. Розраховуються відносні узагальнені показники об'єкту:

$$d_i^* = \frac{C_{i0}}{C_0}.$$

16. Розраховуються модифіковані узагальнені показники:

$$d_i = 1 - d_i^*.$$

Розгляд атрибутів інтегрованої задачі аналізу ризиків [13, 14] дозволяє визначити наступне:

вхідні дані, такі як показники рівня безпеки об'єктів інфраструктури, апіорі окреслені нечітко, їх зміст є скоріше лінгвістичним, ніж таким, що вкладається в чисельну оцінку;

характеристики об'єктів системи забезпечення безпеки держави, які є визначальними для формалізації процесу, не завжди можуть бути визначені точно та часто залежать від неконтрольованих параметрів;

механізми впливу ризиків в кінцевому рахунку на стан безпеки не завжди можуть бути визначені точно, часто невідомими є не тільки параметри функції впливу, а й структура такої функції; множинність часткових цілей, покликаних забезпечити інтегрований контроль стану об'єкта, ускладнює (чи навіть унеможлиблює) повну їх чітку формалізацію, більшість цілей рідко можуть бути оцінені чисельно, а надаються лише вербально; ускладнена формалізація координаційних зв'язків системи інтегрованого контролю.

При цьому, класи поставлених задач можливо поділити на:

1. **Добре структуровані задачі** характеризуються тим, що в них суттєві залежності виявлені настільки явно, що можуть бути описані кількісними залежностями [16]. Але це не означає відсутність труднощів в опису проблем та їх вирішенню. Однією з значних труднощів на даному рівні може бути, наприклад, масштабність та рівень деталізації проблем (процесів).

2. **Слабко структуровані задачі** містять в собі елементи якісного та кількісного характеру, перші мають тенденцію домінування. У зв'язку з цим їх формалізований опис може бути здійснений, як правило, тільки за допомогою "м'яких" формалізмів [10,14].

До даного класу проблем (ситуації) відносяться проблеми змішаного характеру. Наприклад, при ліквідації стихійних лих, техногенних катастрофах тощо. Аналітичні моделі можуть бути використані для визначення ступеня і характеру втрат. "М'які" (збалансовані) моделі використовуються при здійсненні вибору способів ліквідації наслідків цих подій. До цього класу проблем відносяться також проблеми екологічного, економічного, національного, політичного, медичного характеру.

Для розв'язання слабко структурованих задач зазвичай використовується методологія системного аналізу [10]. Оскільки будь-який аналіз складної системи неможливий без використання можливостей обчислювальної техніки, то говорячи про методи системного аналізу, мають на увазі види процедур, які засновані на використанні комп'ютерної техніки.

Потреба не просто вивчати явище чи факт, а встановлювати його зв'язок з іншими

чинниками, як у часі так і у просторі, вивчення причинно-наслідкових зв'язків, привела до появи спеціального терміну "системний підхід". Системний підхід – це деякий загальнометодологічний принцип. Його гносеологічний аспект – це теорія систем, апаратна реалізація – це системний аналіз [17]. Процедура прийняття рішень (ПР) включає наступні основні етапи та типові методи їх реалізації [18-20]:

1. Формулювання проблемної ситуації методами системного аналізу апріорної інформації, експертних оцінок та прогнозування ситуацій.

2. Визначення цілей методами побудови дерева цілей, експертних оцінок та соціологічного аналізу.

3. Визначення критеріїв досягнення цілей методами теорії корисності, статистичними та експертних оцінок.

4. Побудова моделі для обґрунтування рішень методами імітаційного моделювання, економетричних та оптимізаційних моделей, моделей масового обслуговування та задовольняння обмеженням, інших концептуальних та графічних моделей.

5. Пошук оптимального (припустимого) варіанта рішення методами оптимізації, імітаційного експерименту, задовольняння обмеженням тощо.

6. Узгодження рішення методами раціонального компромісу, теорії ігор, ділових ігор, правових норм.

7. Підготовка рішення до реалізації методами мережевого планування в часі та планування в просторі.

8. Затвердження рішення (урахування правових та моральних норм тощо, ділових якостей виконавців, наслідків від подібних рішень).

9. Управління ходом реалізації рішення методами мережевого управління, контролю виконання доручень.

10. Перевірка ефективності рішення методами соціологічного, виробничого та фінансового аналізу.

При цьому одним з важливих напрямів подальших наукових досліджень є розроблення державних механізмів моніторингу обстановки на об'єктах критичної інфраструктури, оцінювання загроз і ризиків у сфері безпеки та ефективності інтегрованого управління ними [13, 20].

При визначенні впливу загроз на стан безпеки об'єктів критичної інфраструктури постає проблема прийняття рішень. Найбільш розвинутою теоретичною основою прийняття рішень в умовах невизначеності та протидії є теорія ігор [21, 22].

Теорія ігор має досить значні досягнення, а саме, вона дозволяє:

✓ структурувати задачу, подати її в оглядовому вигляді, знайти області кількісних оцінок, упорядкувань, переваг та невизначеностей, виявити домінуючі стратегії, якщо вони існують;

✓ до кінця вирішити задачі, які описуються стохастичними моделями;

✓ виявити можливість досягнення згоди та дослідити поведінку систем, здатних до згоди (кооперації), тобто області взаємодії поблизу сідлової точки, точки рівноваги чи згоди Парето [21].

Та все ж попри зазначені досягнення для реальних ситуацій цього зовсім недостатньо. В цьому випадку запропоновано використовувати методи теорії ігор, а саме наступна структура:

1. Теорія ігор здійснює пошук рішень, оптимальне чи раціональне в середньому, в той час як конфлікти (навіть типові) ситуаційні та унікальні. Коли мова йде про загальні рекомендації, статистична постановка питання досить доречна [24]. У конкретних обставинах необхідне більш глибоке проникнення в суть конкретної задачі.

2. Теорія ігор виходить з принципу мінімуму середнього ризику, що зовсім неприйнятно для конфлікту.

В конфлікті кожна сторона готова ризикувати, виходячи з припущення „більший ризик – більший імовірний успіх”, тому у конфлікті діє принцип припустимого ризику [20].

3. Прогностичний аспект пізнання, що пов'язаний з передбаченням тих стратегій, які фактично будуть обиратися учасниками гри теорія ігор в сучасному стані не займається.

4. Питання, що пов'язані з передбаченням однією стороною тієї чи іншої стратегії, яку буде обирати інша сторона на основі яких-небудь міркувань (принципів оптимальності) не розглядаються, хоча це не виключає використання теорії ігор при формуванні прогнозів як складової більш загального апарату [21,25].

5. Априорне встановлення змісту можливих стратегій сторін практично недосяжне. Стратегії, що лежать на поверхні, в конфлікті представляють найменшу цінність – головна задача сторін виявити скриті можливості.

6. В реальних конфліктах найчастіше ніхто не грає за правилами, які приписуються теорією ігор [26].

В цілому теорія ігор орієнтована на скомпенсований статистичний вибір, взагалі ж у конфлікті поведінка далеко не найкраща і не універсальна, в екстремальних ситуаціях може бути навіть програшна.

Принципова відмінність векторних задач прийняття рішення полягає в тому, що для них існує багато різних принципів оптимальності, що приводять до вибору різних оптимальних рішень. Це висуває жорсткі вимоги до вибору принципу оптимальності. При розв'язанні задач багатокритеріальної оптимізації виникає ряд проблем, головними з яких є наступні:

- ✓ визначення області поступки;
- ✓ вибір схеми поступки й принципу оптимальності;
- ✓ нормалізація критеріїв;
- ✓ засоби урахування пріоритетів критеріїв.

Слід зазначити, що всі, крім першої, проблеми мають концептуальний характер, при вирішенні яких необхідно використовувати різні евристичні процедури, в яких важлива роль належить експертам.

Як уже відзначалося, у багатокритеріальних задачах ПР у складних системах між деякими критеріями існують протиріччя. Ці протиріччя є нестрогими, оскільки в протилежному випадку задача була б конфліктною, антагоністичною. Тому область припустимих рішень D_x ділиться на дві області: область згоди D_x та область поступки D_x^k . Очевидно, що оптимальне рішення належить тільки області поступки, тобто, $x_{opt} \in D_x^k$, тому що в області згоди рішення може (і повинне) бути поліпшене за всіма критеріями. В області поступки якість рішення не може бути поліпшене за одним критерієм без погіршення за іншим.

Одним із засобів визначення області поступки є виділення множини рішень, оптимальних по Парето [24]. Рішення x^* є оптимальним за Парето (парето-оптимальним), якщо не знайдеться жодного іншого рішення x^0 такого, щоб виконувалися співвідношення: $e_g(x^0) \leq e_g(x^*)$, для всіх $g = 1, \dots, k$ (якщо критерії потрібно мінімізувати) або $e_g(x^0) \geq e_g(x^*)$, для всіх $g = 1, \dots, k$ (якщо критерії потрібно максимізувати), причому хоча б одна нерівність суворі.

Вибір або побудова схеми поступки й принципу оптимальності розкриває зміст оптимізації, формалізує систему переваг особи, що приймає оптимальне рішення.

Аналіз літератури з проблеми багатокритеріального вибору [наприклад 23,27,28] показує, що найпоширенішими схемами поступки й принципами оптимальності є наступні.

1. Принцип виділення головного критерію: виділяється один критерій як головний, а інші перекладаються в систему обмежень. Тоді проводиться оптимізація головного критерію

з умовою, що інші критерії не перевищують заданих значень (тут і надалі вважаємо, що критерій необхідно мінімізувати).

2. Метод лексикографічного упорядкування критеріїв: оптимізація g -го критерію проводиться тільки після того, як отримані мінімальні значення всіх попередніх ($g - 1$) критеріїв.

Модифікацією цього методу є метод послідовних поступок, суть якого полягає в тому, що на кожному g -му кроці послідовній оптимізації задається поступка Δe_{g-1} , що характеризує припустиме відхилення критерію e_{g-1} від його заданого значення.

Ці методи припускають наявність домінуючої переваги одного критерію над іншим.

3. Принцип рівномірності:

Принцип рівності: $optE = \{e_1 = e_2 = \dots = e_k\}$.

Принцип квазірівності (критерії різняться не більше, ніж на розмір:

$$optE = \{E : [e_g - e_v] \leq a, g, v = 1, 2, \dots, k\}.$$

Принцип мінімаксу (гарантованого результату): $optE = \max \min e_g, \quad g = 1, \dots, k.$

Принцип домінуючого результату: $optE = \max \max e_g, \quad g = 1, \dots, k.$

Принцип гарантованого результату (для обережного ПР) і принцип домінуючого результату (для ПР, що веде до ризику) широко застосовуються, наприклад, при вирішенні економічних задач.

4. Принцип справедливої поступки базується на оцінці і порівнянні збільшення (зменшення) рівня локальних критеріїв.

В усіх відомих методах визначення числових значень вагових коефіцієнтів від оптимального ПР потрібно або задати точні числові оцінки, або порівняти важливість усіх локальних критеріїв між собою. Проте, здебільшого людині не під силу задати точну числову інформацію. Їй легше уявити інформацію в неформальному вигляді, на неформальному рівні. Таку інформацію можна одержати за допомогою лінгвістичних змінних на основі порядкових шкал. Всі відомі нині у теорії ПР методи розв'язання задач багатокритеріального вибору можуть бути згрупованими наступним чином, а саме:

1. Методи теорії корисності (узагальненого критерію). Теорія корисності, носить аксіоматичний характер. Автори роботи [29] показали, що, якщо переваги людей стосовно визначених ігор (лотерей) задовольняють ряду аксіом, то їх поведінка може розглядатися як максимізація очікуваної корисності.

2. Сукупна очікувана корисність як обґрунтований метод дерев рішень, суть якого полягає у поділі задачі на ряд підзадач, які, у свою чергу, розподіляються на інші підзадачі, і так далі. У результаті основна задача зображається у вигляді дерева рішень [30].

3. Методи теорії перспектив (ТП). Перспект це гра з імовірнісними виходами. У методах ТП враховуються 3 поведінкових ефекти:

✓ ефект визначеності – тенденція додавати більшу вагу детермінованим виходам;

✓ ефект відображення – до виміру переваг при переході від вигравів до втрат;

✓ ефект ізоляції – тенденція до спрощення вибору шляхом виключення загальних компонентів варіантів рішення.

4. Методи *ELECTRE* (методи порогів незрівняності). Французькою школою теорії ПР, очолюваною Б. Руа, був запропонований конструктивний підхід до вироблення рішень, у рамках якого методи, моделі й концепції розглядаються як допоміжні засоби практичного аналізу ситуації.

5. Метод аналізу ієрархій, який спирається на багатокритеріальний опис проблеми. У методі використовується дерево критеріїв, у якому загальні критерії поділяються на критерії окремого характеру. Для кожної групи критеріїв визначаються коефіцієнти важливості.

Альтернативи також порівнюються між собою за окремими критеріями з метою визначення кожної з них.

6. Евристичні методи. До евристичних методів належать такі методи.

Метод зваженої суми оцінок критеріїв. Кожній альтернативі дається числова (бальна) оцінка за кожним з критеріїв. Критеріям приписуються кількісні ваги, що характеризують їх порівняльну важливість. Ваги збільшуються на критеріальні оцінки, отримані числа підсумовуються – так визначається цінність альтернативи. Далі вибирається альтернатива з найбільшим показником цінності.

Метод компенсації. Даний метод використовується при попарному порівнянні альтернатив.

Перевагою всіх евристичних методів є простота й зручність, а основний недолік – відсутність наукового обґрунтування.

Таким чином, проведений аналіз показав, що розглянуті методи, носять аксіоматичний і евристичний характер, тобто не мають суворого наукового доказу.

Висновки та напрямки подальших досліджень

1. Комплексний вплив викликів та загроз на стан безпеки об'єктів критичної інфраструктури не належить до тих явищ, які підлягають простому уявленню та якими можна керувати на підставі життєвого досвіду.

Для визначення результуючого стану безпеки та передбачити для нього хоч який ефективний вплив, необхідно визначити істинні витoki та причини формування саме такого стану внаслідок дії різноманітних чинників, виявити закономірності їх впливу та можливі моделі оцінки всього комплексного впливу.

2. Об'єктом комплексного наукового аналізу у сформульованій задачі постають механізми впливу загроз в цілому з усіма їх базовими ознаками, елементами та принципами прояву і розвитку, предметом можна вважати загальні закономірності виникнення та впливу загроз.

3. Найбільш розвинутою теоретичною основою, що знаходить застосування при визначенні станів безпеки об'єктів критичної інфраструктури та безпеки в цілому, є експертні методи чи методи багатомірного аналізу з елементами таксономії. Проте ці підходи передбачають існування еталонних об'єктів чи уявленого експертами сценарію прояву впливу факторів на кінцевий результат.

3. Інформація про механізм комплексного впливу окремих загроз не може бути отримана суто експериментальним шляхом, будь-який експеримент з реальною системою небезпечний, може навіть привести до руйнування дорогої системи, можливо унікальної.

4. Системна модель служить не стільки для отримання точних кількісних характеристик, скільки для знаходження оцінок, які дозволяють спостерігати припустимі межі дій, можливості процесів, тенденції їх розвитку. Від моделей не слід очікувати конкретних вказівок, але завжди можна виявити області, де можливе отримання таких оцінок, які з високою імовірністю вказуватимуть на конкретні процеси та їх наслідки.

5. Зміст дослідження полягає в об'єктивному встановленні механізму впливу різноманітних чинників на стан безпеки об'єктів. Передбачається, що апіорі фізичний зміст даного механізму невідомий і не підлягає логічному трактуванню. Завданням дослідження є об'єктивне встановлення зазначеного механізму впливу на етапі становлення системи інтегрованого управління безпеки.

6. В основі наукового протиріччя лежить необхідність створення достатньо досконалого механізму рішення задач об'єктивного обґрунтування рішень у військовій сфері за умов суттєвої обмеженості в набутті упереджених даних для превентивного попередження конфліктів у військовій сфері та відсутності закінченої наукової теорії визначення результату комплексного впливу різноманітних факторів. Це і є основним напрямком подальших досліджень.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Закон України «Про національну безпеку України». Відомості Верховної Ради, 2018, №31, ст.241.
2. Косевцов В. О. Національна безпека України: теорія, реальність, прогноз / - К.: ЦМБСС, Сатсанга, 2000. – 80 с.
3. Богданович В. Ю. Воєнна безпека України: методологія дослідження та шляхи забезпечення / – К. : "Тираж", 2003. – 322 с.
4. Дузь-Крячченко О.П., Грицай П.М., Грищенко В.П., Кліменко В.С., Козинець І.П., Косевцов В.О., Нечхаєв С.М., Пунда Ю.В. Основи стратегії національної безпеки та оборони держави: підручник – 3-е вид. – К.: НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2015. – 620 с.
5. Горбулін В.П. Світова гібридна війна: український фронт: монографія / за заг.ред. В.П. Горбуліна. – К.: НІСД, 2017. – 496 с.
6. Національна безпека України у викликах новітньої історії / автор укладач В.І. Шпак, кер.авт.кол. С.І. Табачніков. – К.: ДП «Експрес-об`ява», 2019. – 468 с.
7. Ліпкан В.А. Національна безпека України : [навч. посіб.] / — [2-е вид.]. - К. : КНТ, 2009. — 576 с.
8. Богданович В. Ю., Маначинский А.Я. Методологические основы системных исследований проблем военной безопасности государства / – К. ;, 2001. – 172 с.
9. Методи моделювання процесів діяльності міністерства оборони України : [звіт про науково-дослідну роботу (проміжний, шифр “Афіна-2”) / наук. кер. В. Л. Шевченко]. – К. : НУОУ, 2010. – 90 с.
10. Ленков С.В., Дергильова О.В., Винярьский Я.Я. Системотехнічні прийоми формалізації слабо структурованих задач для рішення практичних задач сфери забезпечення національної безпеки держави // Вісник інженерної академії України. – 2011. – № 3-4. – С.89 – 93.
11. Саати Т. Принятие решений: Метод анализа иерархий / Т. Саати; пер. с англ. В. Г. Вогнадзе. – М. : Радио и связь, 1993. – 184 с.
12. Косевцов В. О., Бінько І. Ф., Матвієвський О. М. Методичний підхід до аналізу й оцінки рівня національної безпеки та її складових // Наука і оборона. – 1995. - № 1. – С. 74–77.
13. Горбулін В.П., Качинський О.Б. Системно-концептуальні засади стратегії національної безпеки України: монографія. – К.: ДП «НВЦ Євроатлантикформ», 2007. – 592 с.
14. Клир Д. Системология: Автоматизация решения системных задач / Д. Клир ; пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1990. – 544 с.
15. Щедрина О.І. Системний аналіз як інструмент прийняття управлінських рішень в бізнесі. Вісник КНЕУ – К: КНЕУ, 2020. №99. С170-184, DOI 10/3311| 99.15.
16. Рабочая книга по прогнозированию / Редкол. И. В. Бестужев-Лада (отв. ред.). – М.: Мысль, 1982. – 430 с.
17. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа / Н. Н. Моисеев. – М. : Наука, 1981. – 488 с.
18. Порнев А.Г., Румянцева З.П., Соломатин Н.А. Управление организацией. Учебник – 2-е изд. перераб.и доп. – М.: - 2000 – 669 с.
19. США: современные методы управления / под общ. ред. Б. З. Мильнера. – М. : Наука, 1971. – 334 с.
20. Колпаков В.М., Пономаренко С.О., Селюков О.В. Основи стратегії: монографія. – К.: Видавництво Людмила, 2021. – 474 с.
21. Авинаш Диссит, Барри Нейлтафф. Теория игр. Искусство математической экономики. – М.: Макс-пресс. 2011 – 464 с.

22. Хог Э. Прикладное оптимальное проектирование / Хог Э., Арора Я. – М. : Мир, 1983. – 478 с.
23. Кох Ричард. Принцип 80/2. Монография. Перевод с англ. – М. Эксмо, 2012, - 444 с.
24. Huntington S. P. The Lonely Superpower / Huntington S. P. // Foreign Affairs? March/April 1999? Vol. 78, # 2, pp. 35-49.
25. Воробьёв В. В. Основы теории игр. Бескоалиционные игры / В. В. Воробьёв. – М. : Наука, 1984. – 496 с.
26. Васин А.А., Морозов В.В. Теория игр и модели математической экономики. – М.: Макс-пресс. 2005 – 272 с.
27. Steuen R.T. Mulyple Criterial optimization: Theory, Computations and Application. – New York, John Wilay & Sons, Inc, 1986. – 420 p.
28. Соболев И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Дрофа, 2006. – 176 с.
29. О. Моргенштерн, Дж. Фон Нейман. Теория игр и экономическое поведение. – М.: Книга по требованию, 2013. – 708 с.
30. Р.Кінні, Х. Райф. Прийняття рішень при багатьох критеріях: переваги й заміщення. Х.: Знання, 2010. – 248 с.

REFERENCES:

1. Zakon Ukraine (2018), «Pro natsionalnu bezpeku Ukraine» [About the national security of Ukraine]. Vidomosti Verhovnoyi Radi, No.31, pp.241.
2. Kosevtsov, V. O. (2000), Natsionalna bezpeka UkraYini: teoriya, realnist, prognoz [National security of Ukraine: theory, reality, forecast] - K.: TsMBSS, Satsanga., – 80 p.
3. Bogdanovich, V. Yu. (2003), Voenna bezpeka UkraYini: metodologiya doslidzhennya ta shlyahi zabezpechennya [Military security of Ukraine: research methodology and ways of ensuring] – K. : "Tirazh", – 322 p.
4. Duz-Kryatchenko, O.P., Gritsay, P.M., Grischenko, V.P., KlImenko, V.S., Kozinets, I.P., Kosevtsov, V.O., NechhaEv, S.M., Punda, Yu.V. (2015), "Osnovi strategiyi natsionalnoyi bezpeki ta oboroni derzhavi: pIdruchnik" [Basics of the strategy of national security and defense of the state] – K.: NUOU Im. Ivana Chernyakhovskogo, – 620 p.
5. GorbullIn, V.P. (2017), SvItova gIbridna vIyna: ukraYinskiy front:monografiya [World hybrid war: Ukrainian front: monograph], za zag.red. V.P. GorbullIna. – K.: NISD, – 496 p.
6. Shpak, V.I., Tabachnikov, S.I. (2019), "Natsionalna bezpeka Ukraine u viklikah novitno v istorivi" [National security of Ukraine in the challenges of recent history] – K.: DP «Ekspress-ob`yava», – 468 p.
7. Lipkan, V.A. (2009), "Natsionalna bezpeka Ukraine" [National security of Ukraine] - K. : KNT, — 576 p.
8. Bogdanovich, V. Yu., Manachinskiy, A.Ya. (2001), "Metodologicheskie osnovy sistemnykh issledovaniy problem voennoy bezopasnosti gosudarstva" [Methodological basis of system studies of problems of military security of the state] – K.; – 172 p.
9. Shevchenko, V. L. (2010), "Metodi modelyuvannya protsesiv diyalnostI mInIsterstva oboroni Ukraine" [Methods of modeling the activity processes of the Ministry of Defense of Ukraine] – K. : NUOU, – 90 p.
10. Lenkov, S.V., Dergilova, O.V., Vynarskiy, Ya.Ya. (2011), "Sistemotekhnichni priyomi formalizatsiyi slabko strukturovanih zadach dlya rishennya praktichnih zadach sferi zabezpechennya natsionalnoyi bezpeki derzhavi" [System-technical methods of formalization of weakly structured problems for solving practical problems in the sphere of ensuring the national security of the state]. Visnik Inzhenernoyi akademiyi Ukraine, No. 3-4. – pp. 89 – 93.
11. Saati, T., Vognadze, V. G., (1993), "Prinyatie resheniy: Metod analiza ierarhiy" [Decision-making: Hierarchical analysis method] , M. : Radio i svyaz, 1993. – p.184.

12. Kosevtsov, V.O., Binko, I. F., Matvievskiy, O. M. (1995), "Metodichniy pidhid do analizu y otsinki rivnya natsionalnoyi bezpeki ta yiyi skladovih" [A methodical approach to the analysis and assessment of the level of national security and its components] Nauka i oborona. – No. 1. – pp. 74–77.
13. Gorbun, V.P., Kachinskiy, O.B. (2007), "Sistemno-kontseptualni zasady strategiyi natsionalnoyi bezpeki UkraYini: monografiya" [Systemic and conceptual principles of the national security strategy of Ukraine: monograph] – K.: DP «NVTs Evroatlantkiform», – 592 p.
14. Klir, D. (1990), "Sistemologiya: Avtomatizatsiya resheniya sistemnyih zadach" [Systemology: Automation of solving system problems], – M.: Radio i svyaz, – 544 p.
15. Schedrina, O.I. (2020), "Sistemniy analiz yak instrument priynyattya upravliniskih rishen v biznesi" [System analysis as a tool for making management decisions in business] Visnik KNEU – K: KNEU, No. 99. Pp.170-184, DOI 10/3311| 99.15.
16. Bestuzhev-Lada, I.V. (1982), "Rabochaya kniga po prognozirovaniyu" [Workbook on forecasting] – M.: Myisl, – 430 p.
17. Pornev, A.G., Rumyantseva, Z.P., Solomatin, N.A. (2000), "Upravlenie organizatsiy" [Management of organizations]. Uchebnik – 2-e izd. pererab.i dop. – M.: – 669 p.
18. Pornev, A.G., Rumyantseva, Z.P., Solomatin, N.A. (2000), "Upravlenie organizatsiy" [Management of organizations]. Uchebnik – 2-e izd. pererab.i dop. – M.: – 669 p.
19. Milnera, B. 3. (1971), "SShA: sovremennyye metody upravleniya" [USA: modern management methods]. – M. : Nauka, – 334 p.
20. Kolpakov, V.M., Ponomarenko, S.O., Selyukov, O.V. (2021), "Osnovi strategiyi": monografiya [Basics of strategy] – K.: Vidavnistvo Lyudmila, – 474 p.
21. Avinash Dissit, Barri Neyltaff. (2011), "Teoriya igr. Iskusstvo matematicheskoy ekonomiki" [Game theory. The art of mathematical economics]. – M.: Maks-press. – 464 p.
22. Hog, E. (1983), "Prikladnoe optimalnoe proektirovanie" [Applied optimal design], Arora Ya. – M. : Mir, – 478 p.
23. Koh, Richarz. (2012), "Printsip 80/2". [Principle 80/2.]. Monografiya. Perevod s ang. – M. Eksmo, - 444 p.
24. Huntington, S. P. (1999), "The Lonely Superpower" [The Lonely Superpower] March/April, Vol. 78, No. 2, pp. 35-49.
25. Vorobyov, V. V. (1984), "Osnovyi teorii igr. Beskoalitsionnyie igryi" [Basics of game theory. Non-coalition games]. – M. : Nauka, – 496 p.
26. Vasin, A.A., Morozov, V.V. (2005), "Teoriya igr i modeli matematicheskoy ekonomiki" [Game theory and models of mathematical economics]. – M.: Maks-press. – 272 p.
27. Steuen, R.T. (1986), "Multyple Criterial optimization: Theory, Computations and Application" [Multiple Criterion Optimization: Theory, Computations and Applications]. – New York, John Wilay & Sons, Ips, 420 p.
28. Sobol, I.M. (2006), "Vyibor optimalnyih parametrov v zadachah so mnogimi kriteriyami" [Selection of optimal parameters in problems with many criteria]. – M.: Drofa, 176 s.
29. Morgenshtern, O., Fon Neyman, Dzh. (2013), "Teoriya igr i ekonomicheskoe povedenie" [Game theory and economic behavior]. – M.: Kniga po trebovaniyu, – 708 p.
30. KInnI, R., Rayf, H. (2010), "Priynyattya rishen pri bagatoh kriteriyah: perevagi y zamIschennya" [Decision-making with multiple criteria: advantages and substitutions]. H.: Znannya, – 248 p.

A COMPLEX MODEL OF SYSTEM RESEARCH OF CRITICAL INFRASTRUCTURE FACILITIES SECURITY PROBLEMS

The development of methodological approaches to the solution of an understudied problem, namely to the systematic study of aspects of ensuring the safety of important critical infrastructure facilities is shown in the paper. According to the Law "On the Basics of National Security of Ukraine", the objects of critical infrastructure are: transport and communication; energy and energy supply; provision of housing and communal services; industry and scientific and technical activity in the military-industrial complex; dual purpose technologies; information technologies and information protection; use of subsoil; land on water resources; mineral resources; environmental protection, etc. A system of classifications of prognostic modeling methods has been developed in the form of a three-level structure: by forecasting methods and information bases; according to the material basis of the instrument for obtaining the final result; according to the classification scheme of the specified specific methods.

The complex model of system research of critical infrastructure facilities security problems from the position of the Armed Forces of Ukraine has been developed. The mathematical apparatus of analysis and assessment of the level of national (military) security, including military-political, military-economic, military-political models of the state, is presented. The specific features of problem classes by direction, namely well and weakly structured problems, are determined. The use of game theory to compensate for statistical selection is proposed. The main methods of decision-making are given: the methods of utility theory (generalized criterion); the cumulative expected utility as a valid method of decision trees; the methods of prospect theory; the methods of inequality thresholds; the methods of analyzing hierarchies, that are based on a multi-criteria description of the problem; the heuristic methods. It's shown that the most developed theoretical basis, that finds application in determining the security status of critical infrastructure objects and security in general, are expert methods or methods of multidimensional analysis with elements of taxonomy. However, these approaches assume the existence of reference objects or the scenario of the influence of factors on the final result imagined by experts. An important conclusion was made that the basis of the scientific contradiction is the need to create a sufficiently perfect mechanism for solving the problems of objectively justifying decisions in the military sphere under the conditions of significant limitations in the acquisition of biased data for the prevention of conflicts in the military sphere and the absence of finished scientific theory for determining the result of the complex impact of various factors

Keywords: ensuring security; objects of critical infrastructure; national and military security; decision-making methods.