

DOI 10.33099/2786-7714-2026-1-10-155-161

УДК 004.94:519.876.2:355.4

Базіло Сергій Михайлович (доктор філософії)

<https://orcid.org/0000-0002-1597-3724>

Міхін Олексій Олегович

<https://orcid.org/0009-0001-9150-8840>

Куцак Сергій Вікторович

<https://orcid.org/0000-0001-5238-8957>

Вапнічний В'ячеслав Анатолійович

<https://orcid.org/0009-0002-6649-8764>

Національний університет оборони України, Київ, Україна

Рукопис надійшов до редакції: 09.03.2026; Рукопис прийнято до друку після рецензування: 09.04.2026; Дата публікації: 17.06.2026

МЕТОД ПЕРМАНЕНТНОГО АНАЛІЗУ ВОЄННИХ ІГОР НА ОСНОВІ АДАПТИВНОГО ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ТА ДИНАМІЧНИХ ПАТЕРНІВ

У контексті трансформації сучасної війни, де кількісна перевага нівелюється технологічністю та швидкістю адаптації, перманентний аналіз воєнних ігор стає критичним інструментом випередження противника у когнітивному та операційному просторі, що підтверджує актуальність дослідження. Метою статті є розробка методу перманентного аналізу воєнних ігор, що базується на впровадженні адаптивного життєвого циклу та використанні динамічних патернів для забезпечення безперервного синтезу аналітичних даних у режимі реального часу. Основу дослідження складають методи системного аналізу, дослідження операцій, теорії управління та імітаційного моделювання. Були отримані наступні результати: розроблено структуру адаптивного життєвого циклу перманентного аналізу воєнних ігор, яка перетворює аналіз із завершального етапу воєнної гри на процес, що охоплює весь її життєвий цикл; розроблено алгоритмічне рішення для зіставлення фактичних результатів гри з базовою моделлю в реальному часі, що дозволяє автоматично фіксувати аномалії в діях гравців; запропоновано модель структурованого накопичення інформації, яка забезпечує аналітичну відтворюваність та цілісність результатів дослідження; Формалізовано систему динамічних патернів та зворотних зв'язків, яка дозволяє адаптувати аналітичну стратегію безпосередньо в ході гри при зміні оперативної обстановки. Запропонований авторами метод дозволяє підвищити аналітичну відтворюваність досліджень та забезпечити ефективне накопичення отриманого ігрового досвіду в базах знань. Результати дослідження можуть бути впроваджені у діяльність науково-дослідних установ та навчальних закладів для автоматизації обробки результатів різних типів воєнних ігор, а також під час подальших досліджень з питань аналітичного забезпечення воєнних ігор.

Ключові слова: воєнна гра; аналітичне забезпечення; системний аналіз; життєвий цикл; патерн.

Вступ

Аналітичний супровід є критичним компонентом сучасних воєнних ігор, оскільки саме він трансформує ігровий процес у перевірені стратегічні знання та рішення. Проте більшість підходів (особливо вітчизняних) розглядають аналіз як фінальний, ізольований етап воєнної гри (ВГ), що підтверджує досвід їх проведення в Національному університеті оборони України. Робота зосереджена на розробці інтелектуальних методів підтримки прийняття рішень та алгоритмізації процесів аналітичного супроводу воєнних ігор.

Невирішеною частиною загальної проблеми є відсутність рекурсивних алгоритмів, які б дозволяли аналітичній системі коректуватися та забезпечувати перманентність висновків протягом усього життєвого циклу воєнної гри. На даний час відсутні формалізовані механізми, які б інтегрували аналіз у життєвий цикл ВГ як безперервний процес.

Цей факт, на авторську думку, зумовлює суб'єктивізм аналітиків. **Метою роботи** є обґрунтування концепції перманентності та розробка методу аналізу воєнних ігор на основі адаптивного життєвого циклу для забезпечення безперервного синтезу знань.

Актуальність дослідження полягає у необхідності переходу від лінійного до перманентного аналізу ВГ, як безперервної дослідницької функції, що супроводжує ВГ на всіх її етапах в реальному часі. Такий підхід дасть змогу забезпечити безперервний синтез знань та оперативно адаптувати траєкторію аналітичного супроводу ВГ до динамічних змін обстановки.

Формування методологічного базису для аналізу складних стохастичних систем, до яких належать сучасні воєнні ігри, пройшло шлях від описових експертних методів [1] до складних інформаційних систем обробки даних [2].

В [3] вказується на критичну проблему “інформаційного шуму” та суб’єктивізму, які неминуче виникають при ретроспективному оцінюванні, проте питання алгоритмізації та фільтрації цього “шуму” в реальному часі залишаються на рівні теоретичних дискусій.

У [4, 5] акцентується увага на тому, що ключова цінність ВГ полягає не стільки у фіксації перемоги чи поразки сторін, скільки у глибокому розумінні динаміки прийняття рішень людиною та виявленні прихованих факторів впливу. Проте, на авторський погляд, у цих підходах переважає лінійна логіка, де аналітична фаза є відокремленою від ігрового процесу.

В [6] етап інтелектуалізації тісно пов’язаний із впровадженням стандартів системної інженерії, таких як ISO/IEC/IEEE 15288, що дозволило науковцям структурувати аналіз не як поодинокі події, а як складову частину загального життєвого циклу системи. У цьому контексті у [7] пропонується ітераційні моделі управління, які, втім, мають переважно тривалі цикли зворотного зв’язку, не пристосовані до миттєвої корекції аналітичного фокусу при виникненні непередбачуваних ігрових патернів. У звітах SAS-139 [8] та SAS-153 [9] ініціативи забезпечують збереження контексту для майбутніх досліджень та сприяють накопиченню стратегічного досвіду, але фокусуються на використанні ігрових даних після проведення ВГ. У [10] представлені спроби інтеграції аналітики реального часу в ігрові середовища. Однак, як свідчить аналіз [11, 12], існуючим інформаційно-аналітичним рішенням бракує єдиної рекурсивної архітектури. Більшість систем аналізують фактичний стан об’єкта постфактум, не маючи інструментів для автоматизованого порівняння з еталонними динамічними патернами [13]. Відсутність такого порівняння в режимі реального часу унеможливає виявлення аномалій у момент їх виникнення, що критично знижує цінність аналізу в умовах високої динаміки сучасних ігрових сценаріїв.

Праці [14–16] розглядають інструменти накопичення організаційного досвіду. Проте в контексті ВГ цей процес зазвичай розірваний у часі, тобто висновки однієї гри потрапляють у базу знань значно пізніше, ніж починається наступна ітерація планування.

Таким чином, на основі проведеного авторами аналізу можна констатувати відсутність формалізованого методу, який би об’єднав математичний апарат адаптивного управління із безперервним життєвим циклом аналізу ВГ. Наявні підходи залишаються фрагментарними, що унеможливає досягнення повної перманентності аналітичного супроводу ВГ. На вирішення вказаної проблеми і спрямоване представлено авторами дослідження.

Матеріали та методи

Представлені у статті дослідження належать до галузі інформаційних технологій, системного аналізу та моделювання складних систем. У ході дослідження застосовано низку наукових методів:

системний підхід дозволив розглядати воєнну гру як складну динамічну систему, а метод декомпозиції – виокремити елементарні аналітичні операції у вигляді функціональних блоків алгоритму [17];

метод математичного моделювання застосовано для формалізації відхилень ігрових даних від еталонної траєкторії [18]. Використання критерію середньоквадратичного відхилення дозволило перетворити якісні характеристики ігрового середовища у кількісний показник відхилення від еталонного патерна;

метод об’єктно-орієнтованого проектування використано при формуванні аналітичних патернів, що дозволило створити модель очікуваної поведінки системи для подальшого зіставлення з реальним ходом гри;

порівняльний аналіз застосовано для оцінювання ефективності розробленого методу відносно існуючих підходів.

Результати

Практична реалізація розробленого методу здійснювалася на основі даних воєнної гри “Козацька фортеця – 2025”, що проходила в Національному університеті оборони України. У ході гри порівняно ефективність ідентифікації аномальних станів ігрового середовища дискретним методом та за допомогою запропонованого авторами універсального алгоритму життєвого циклу комплексного перманентного аналізу воєнної гри (рис 1).

Перша фаза алгоритму має назву “Проектування та ініціалізація” є концептуальним фундаментом алгоритму, її мета – трансформувати зовнішній запит (проблему замовника, вищого штабу, керівництва) у чітку аналітичну архітектуру, визначити мету, інструментарій оцінювання та сформулювати робочі гіпотези.

Перший блок алгоритму “Ініціалізація вхідних даних та робочих гіпотез” являє собою етап трансформації зовнішнього запиту у набір параметрів, необхідних для запуску аналітичного циклу з огляду на принципи системної інженерії [7]. Сюди надходить інформація щодо проблеми (запиту) замовника на проведення ВГ, яка задає вектор дослідження та визначає зміст аналітичної роботи. Також до блоку надходить інформація про типові помилки, ефективні рішення та статистичні закономірності попередніх ітерацій воєнних ігор та дані про можливості інструментів моніторингу і моделювання, виділених для проведення ВГ. В цьому блоці фіксуються проблема замовника, мета та цілі дослідження, дослідницькі питання, часові обмеження та ситуаційні рамки. На основі первинних даних члени аналітичної групи висувають припущення про можливі результати та причинно-наслідкові зв’язки, які будуть перевірятися в наступних блоках алгоритму. Зовнішні вимоги на проведення ВГ інтегруються з накопиченим досвідом аналітичної системи для формування доказової бази та робочих гіпотез дослідження.

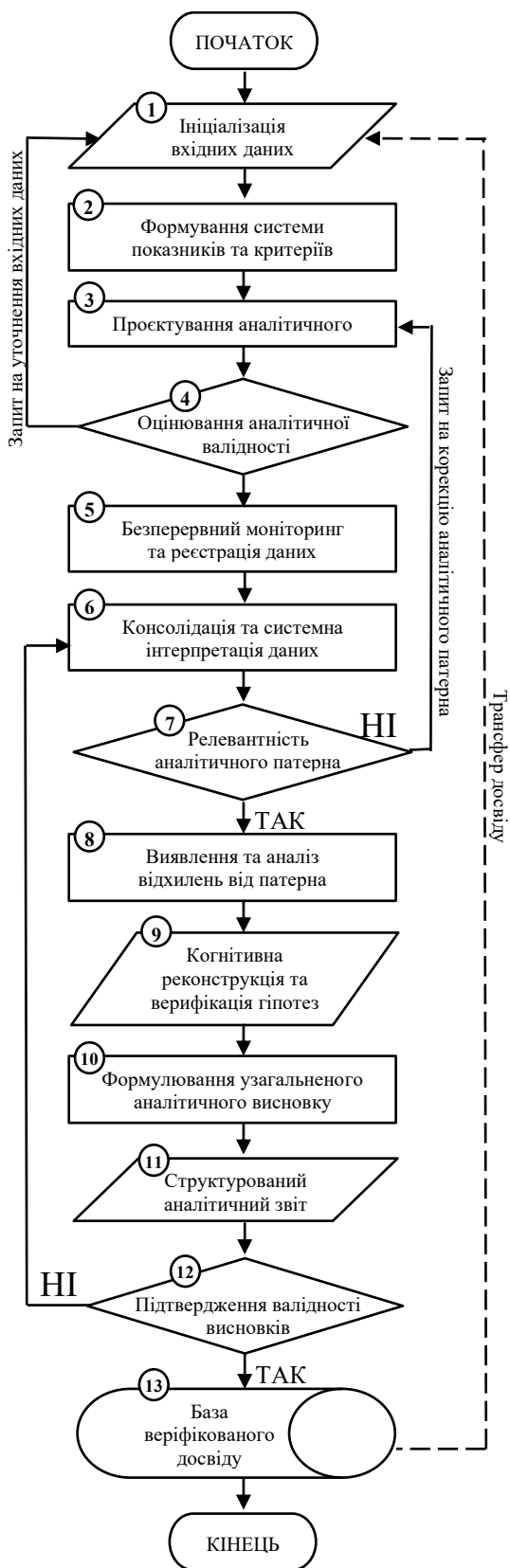


Рисунок 1 – Блок-схема універсального алгоритму життєвого циклу комплексного перманентного аналізу воєнної гри

Блок 2 має назву – “Формування системи показників та критеріїв ефективності”, в ньому визначається яким саме чином буде виміряне те, що потрібно дослідити, а саме конкретні ключові показники, за допомогою яких буде обчислено те

чи інше абстрактне поняття (стійкість, ефективність та ін.) та критерії до них. Тобто досягнення мети дослідження (М) можна представити, як функцію від вектору показників (P_i), $i=1 \dots n$:

$$M = f(P_1, P_2, \dots, P_n) \quad (1)$$

При чому кожен показник P_i має бути релевантним, вимірювальним та чутливим до змін у сценарії гри та до появи ігрових ввідних.

Далі визначаються ключові показники ефективності, які оцінюють ступінь реалізації мети ВГ. У складній системі, такої як воєнна гра, це інтегральний показник ($P_{заг}$), що формується через згортку декількох показників:

$$P_{заг} = \sum_{k=1}^m V_k \cdot E_k, \quad (2)$$

де V_k – коефіцієнт пріоритетності показника;
 E_k – нормалізований індикатор: від 0 до 1;
 m – кількість критеріїв, визначених для поточної мети.

В подальшому визначаються показники, що вимірюють продуктивність учасників гри, систем або підрозділів в межах ВГ. Вони повинні бути контрольованими, вимірювати кількісні параметри роботи та допомагати зрозуміти причини низької ефективності. В межах життєвого циклу перманентного аналізу ВГ вони розраховуються як відношення фактичного результату до нормативного стандарту:

$$P_{вик} = \frac{R_{факт}}{R_{норм}}, \quad (3)$$

де $R_{факт}$ – фактичне значення, зафіксоване під час ходу учасника гри;
 $R_{норм}$ – нормативне значення, як частина аналітичного патерна.

Якщо $P_{вик} \geq 1$, виконання відповідає або перевищує норматив, у випадку $P_{вик} < 1$, спостерігається пониження продуктивності.

Прикладами таких показників можуть бути: швидкість прийняття рішення, точність вогневого ураження, час розгортання в бойовий порядок та ін.

Отже у блоці 2 формується система метрик, яка гарантує, що аналіз буде базуватися не на суб’єктивних оцінках аналітиків, а на порівнюванні фактів із доктринальними очікуваннями.

Блок 3 “Проектування аналітичного патерна” відповідає за створення нормативної моделі сценарію. На цьому етапі створюється патерн того, як мають розвиватися ігрові події згідно з доктринами, настановами, планами, директивами. В подальшому представники аналітичної групи визначають як ключові показники можуть змінюватися у часі або залежно від ігрових подій, тобто визначаються допустимі межі відхилень, у межах яких дії гравців вважатимуться такими, що відповідають створеному патерну.

Аналітичний патерн ($P_{\text{норм}}$) представимо як множину цільових функцій для кожного показника P :

$$P_{\text{норм}} = \{f_1(t, s), f_2(t, s), \dots, f_n(t, s)\} \quad (4)$$

де f_i – нормативна функція зміни i -го показника;
 t – ігровий час (динаміка);
 s – стан операційного середовища (контекст).

Для кожного показника встановлюється еталонне значення (E_e), яке аналітики очікують побачити в ідеальній ситуації:

$$E_e = \int_{\text{поч}}^{\text{кін}} f_i(t, s) dt. \quad (5)$$

За результатами процедур в блоці 3 отримуємо модель аналітичного патерна, яка готова до перевірки на валідність у наступному блоці алгоритму.

Наступним кроком в алгоритмі є перевірка, чи здатна спроектована аналітична конструкція дати відповідь на запит (проблему) замовника. Для такої перевірки використовується блок 4 – “Оцінювання аналітичної валідності”. В ньому визначається чи дозволяє обраний набір показників верифікувати робочі гіпотези, чи існують засоби, здатні надати додаткові дані для наповнення аналітичної моделі та відсікаються помилкові архітектури аналізу ще до початку активної фази воєнної гри, що дає змогу економити ресурси.

$$V = \begin{cases} 1, \text{ якщо } \{K\} \cap \{D\} \supseteq \{H\} \\ 0, \text{ в іншому випадку } \end{cases}, \quad (6)$$

де $\{K\}$ – множина показників з блоку 2;
 $\{D\}$ – доступні дані моніторингу;
 $\{H\}$ – множина гіпотез, що потребують верифікації з блоку 1.

Якщо перетин множини показників та доступних даних задовольняє верифікації гіпотез, аналітична система вважається валідною ($V = 1$).

Вихід “ТАК” свідчить про те, що архітектура аналітичного дослідження побудована коректно. Вихід “НІ” активує процедуру “Запит на уточнення вхідних даних”, тобто якщо бачимо, що не зможемо виміряти те, що спроектували, ми не йдемо далі. Алгоритм повертає нас у блоку 1, де уточнюється мета дослідження або змінюється набір робочих гіпотез або залучаються додаткові ресурси для моніторингу даних.

Друга фаза алгоритму “Моніторинг та обробка даних” описує перехід від теоретичного проектування до практичного збору даних у режимі реального часу ВГ. Завданням блоку 5 “Безперервний моніторинг та реєстрація даних” є фіксація кожного ігрового ходу (кроку), що дає змогу перетворити суб’єктивний досвід учасників гри у об’єктивний масив даних, придатний для подальшого аналізу. До блоку надходить інформація щодо переліку змінних, які необхідно

фіксувати для розрахунку ключових показників ефективності. В цьому блоці алгоритму: відбувається фіксація кожної ігрової дії в єдиній часовій шкалі; створюється масив необробленої інформації, що надходить від датчиків, симуляторів або членів аналітичної команди; формуються журнали подій, які унеможливають викривлення результатів аналізу.

З блоку 5 до блоку 6 надходить повний масив необроблених даних, який фіксує кожен крок дослідження (ВГ).

У блоці 6 відбувається перетворення масиву необроблених даних у структурований фактичний патерн, використовуючи методологію інтелектуального аналізу процесів [5]. На першому кроці цього блоку відбувається усунення часових розбіжностей між різними джерелами збору даних та видалення непотрібної інформації. Одиночні ігрові події об’єднуються у логічні групи і проходять процес перетворення фізичних чи технічних параметрів ігрових подій на мову аналітичних показників, які були визначені в блоці 2. З цього блоку фактичний аналітичний патерн, в якому кожен крок дослідження вже має оцінку надходить на вхід блоку 7.

В даному блоці фактичний хід подій порівнюється із закладеними в блоці 3 очікуваннями, щоб визначити, чи залишається обрана аналітична модель актуальною. Серед функцій блоку можна виділити наступні: виявлення ситуацій, коли реальні події кардинально виходять за межі сценарію; перевірка, чи не стала базова модель застарілою через динамічну зміну ігрових обставин; ініціація перегляду патерна через зворотний зв’язок. Вихід з блоку “ТАК” свідчить про те, що ігрові події розвиваються в межах допустимих логічних рамок патерна, в цьому випадку система переходить до блоку 8. Вихід “НІ” активує “Запит на корекцію аналітичного патерна. Тобто, якщо порівнюється ігрова реальність із неактуальною моделлю, отримуються хибні висновки. Алгоритм повертає процес у блок 3, де базова модель оновлюється з урахуванням нових реалій, після чого аналіз продовжується. Математичний критерій релевантності аналітичного патерна має вигляд:

$$G = \begin{cases} 1, Z_{\text{факт}} \in W_{\text{норм}} \\ 0, Z_{\text{факт}} \notin W_{\text{норм}} \end{cases}, \quad (7)$$

де G – релевантність аналітичного патерна;
 $Z_{\text{факт}}$ – фактичний стан системи;
 $W_{\text{норм}}$ – допустима область значень стану системи.

Патерн вважається релевантним ($G = 1$), якщо фактичний стан системи $Z_{\text{факт}}$ належить до допустимої області значень W , визначеної у патерні.

Цей блок універсального алгоритму запобігає аналізу ігрових подій через призму застарілих або неадекватних моделей. Механізм адаптивної корекції забезпечує синхронізацію аналітичного

патерна з оперативною (ігровою) обстановкою [18]. Далі відбувається перехід до третьої фази універсального алгоритму – “Диференційний аналіз та синтез”, в якій з’ясовуються причинно-наслідкові зв’язки та формуються доказова база майбутніх аналітичних висновків.

В блоці 8 визначається відмінності між тим, що було заплановано, і тим, що було зафіксовано під час ВГ [13]. Обчислюється різниця між значеннями ключових показників ефективності еталонного та фактичного аналітичних патернів. Виявлені відхилення класифікуються на позитивні (успіх перевищив очікування), негативні (зниження ефективності) та аномальні (непередбачені результати). Далі аналітики відслідковують момент в ігровому часі, коли фактична траєкторія почала розходитися з еталонною.

Для кожного показника, визначеного у блоці 2, розраховується функція відхилення:

$$C_k(t) = P_{\text{факт}}(k, t) - P_{\text{норм}}(k, t), \quad (8)$$

де $P_{\text{норм}}$ – еталонна базова модель;

$P_{\text{факт}}$ – верифікований ігровий (аналітичний) патерн.

Загальне системне відхилення визначається:

$$Q_{\text{сис}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{Pi})^2}, \quad (9)$$

де Q_{Pi} – допустиме відхилення i -го показника.

За результатами процедур в блоці 8 ігрові аналітики зосереджуються саме на тих ігрових моментах, де система поведилася не так, як очікувалося, тобто виявляють критичні точки успіху або невдачі досліджуваної системи.

Наступним блоком алгоритму є блок 9, в якому відбувається перевірка початкових гіпотез, висунутих у блоці 1. Члени аналітичної команди відтворюють логіку прийняття рішень учасниками на основі зафіксованих кроків, щоб зрозуміти мотивацію та умови кожної дії, підтверджують або спростовують робочі гіпотези, висунуті на початку життєвого циклу перманентного аналізу та встановлюють залежності між показниками виконання та досягнутим результатом. Через механізм верифікації гіпотез на базі фактичних відхилень забезпечується трансформація операційних даних у аналітичні висновки, що мінімізує вплив суб’єктивного фактору на фінальні результати аналізу.

На наступному етапі, в блоці 10 відбувається перехід від окремих фрагментів ВГ до формування цілісної картини. Тут цифри та підтвержені гіпотези з блоку 9 перетворюються на відповіді для замовника. Ігрові гіпотези об’єднуються у комплексний аналітичний висновок. Відбувається пошук повторюваних помилок або факторів успіху, які не були очевидні на етапі окремих гіпотез. Саме в цьому блоці аналітики розуміють чи досягнута

мета дослідження (воєнної гри) і яка відповідь на головне питання замовника.

Запропонований авторами життєвий цикл комплексного перманентного аналізу воєнної гри завершується створенням структурованого аналітичного звіту (блок 11), який має бути зрозумілим для особи, що приймає рішення і містити стислу відповідь на головну проблему замовника, графіки відхилень від патерна та статистичні підтвердження гіпотез, перелік виявлених проблемних питань, висновків та рекомендації. При цьому звіт не є просто папером. Це має бути інформаційний пакет, який передається замовнику та одночасно слугує входом для останньої, найважливішої фази алгоритму – “Контур валідності та бази досвіду”.

В блоці 12 алгоритм виконує “фінальну перевірку на міцність”. Якщо звіт виглядає сумнівним, дані з цього блоку повертаються на переробку в блок 6. Якщо висновки реалістичні, алгоритм переходить до своєї 4 фази (Імплементация та трансфер досвіду), вони записуються до бази верифікованого досвіду (блок 13) та передаються для використання в майбутніх воєнних іграх [14-16].

Обговорення

На відміну від класичних методик де аналітична фаза ВГ є ізольованим фінальним етапом, запропонований авторами метод інтегрує аналіз безпосередньо в ігровий процес. Перевагою розробленого методу є впровадження рекурсивних алгоритмів корекції (блоки 7 та 12), ще дозволяє аналітичній системі самостійно адаптуватися до непередбачуваних ігрових патернів у режимі реального часу. Якщо фактичний стан системи виходить за межі допустимої області значень еталонного патерна, алгоритм ініціює запит на його корекцію (блок 7), що забезпечує актуальність висновків при різкій зміні оперативної (ігрової) обстановки.

Апробація запропонованого авторами методу під час ВГ “Козацька фортеця – 2025” підтвердила її переваги над методом аналізу воєнної гри після її завершення. На рис. 2 наведено порівняльну динаміку показника досягнення мети ВГ при використанні післяігрового аналізу та розробленого методу перманентного аналізу. Як видно з графіка, своєчасна ініціалізація блоку 7 дає змогу сформувати зону відвернутих втрат ефективності, що є прямим наслідком скорочення періоду реакції на ігрове відхилення.

Запропонований метод, на думку авторів, вирішує проблему розірваності процесу накопичення ігрового досвіду. Завдяки контуру валідності висновки потрапляють до бази знань безпосередньо в ході гри, а не після тривалого періоду підготовки паперових звітів.

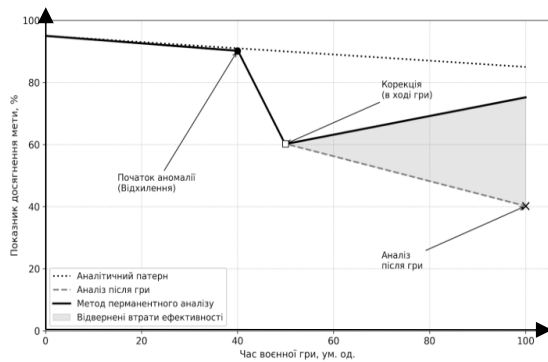


Рисунок 2 – Порівняльна динаміка показника досягнення мети при застосуванні різних методів аналізу воєнної гри

Слід зауважити, що ефективність методу суттєво залежить від якості початкової ініціалізації вхідних даних та точності формування системи показників. Подальші дослідження доцільно спрямувати на автоматизацію процесу формування функцій зміни показників із залученням методів штучного інтелекту для прогнозування складних стохастичних сценаріїв воєнних ігор.

Висновки

Практична значущість отриманих результатів підтверджується успішною їх апробацією в ході ВГ “Козацька фортеця – 2025”, де використання запропонованого алгоритму дало змогу скоротити період виявлення ігрових невідповідностей на 35–40 відсотків. Застосування інтегрального показника невідповідності замість суб’єктивного спостереження забезпечило автоматизацію моніторингу об’єктивних даних контролю, що дало змогу аналітичній системі ідентифікувати аномалії в режимі реального часу. Це забезпечило зростання обсягу знань, який на середині ігрового циклу перевищив 50 відсотків, створюючи умови для оперативного коригування планів безпосередньо в ході гри.

Список використаних джерел

[1.] J. Curry and T. Price, *The Matrix Games Handbook: Better Decisions through Communication and Argumentation*. Raleigh, NC, USA: Lulu Press, 2021.
 [2.] P. Sabin, *Simulating War: Studying Conflict through Simulation Games*. London, U.K.: Bloomsbury Academic, 2014.

[3.] E. M. Bartels, *Building Better Games: Why Game Design Matters for Strategic Wargaming*. Santa Monica, CA, USA: RAND Corporation, 2020, <https://doi.org/10.7249/RR4285-1>.
 [4.] M. B. Caffrey, *On Wargaming: A Public Service*. Newport, RI, USA: Naval War College Press, 2019.
 [5.] W. van der Aalst, *Process Mining: Data Science in Action*. Berlin, Germany: Springer, 2016, <https://doi.org/10.1007/978-3-662-49851-4>.
 [6.] *Systems and Software Engineering – System Life Cycle Processes*, ISO/IEC/IEEE Std 15288:2023, 2023.
 [7.] B. S. Blanchard and W. J. Fabrycky, *Systems Engineering and Analysis*, 5th ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson, 2011.
 [8.] NATO Science and Technology Organization, *Curated Wargaming Databases (SAS-139): Final Report STO-TR-SAS-139*. Brussels, Belgium: NATO STO, 2021.
 [9.] NATO Science and Technology Organization, *Wargaming Exploitation and Analysis (SAS-153): Technical Activity Report*. Brussels, Belgium: NATO STO, 2023.
 [10.] J. Purdue and K. McCown, "Integrating real-time analytics into wargaming environments," *Journal of Defense Modeling and Simulation*, 2022, <https://doi.org/10.1177/15485129211054321>.
 [11.] A. W. Reddie et al., "Next-generation wargaming for the 21st century," *Science*, vol. 362, no. 6421, pp. 1362–1364, 2018, <https://doi.org/10.1126/science.aav8648>.
 [12.] Ю. С. Яковлев, "Методологія інтелектуалізації інформаційно-аналітичних систем спеціального призначення," *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 2, с. 45–56, 2021, <https://doi.org/10.32620/reks.2021.2.04>.
 [13.] J. Banks, J. S. Carson, B. L. Nelson, and D. M. Nicol, *Discrete-Event System Simulation*. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson, 2010.
 [14.] N. J. Milton and P. Lambe, *The Knowledge Manager's Handbook: A Step-by-Step Guide to Implementing Knowledge Management in Your Organization*. London, U.K.: Kogan Page, 2020.
 [15.] T. H. Davenport and D. D. D'Augelli, *Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know*. Boston, MA, USA: Harvard Business School Press, 1998.
 [16.] R. O. Weber and D. W. Aha, "Intelligent lessons learned systems," *Expert Systems with Applications*, vol. 24, no. 1, pp. 17–34, 2003, [https://doi.org/10.1016/S0957-4174\(02\)00133-9](https://doi.org/10.1016/S0957-4174(02)00133-9).
 [17.] M. Dumas, M. La Rosa, J. Mendling, and H. A. Reijers, *Fundamentals of Business Process Management*. Berlin, Germany: Springer, 2018, <https://doi.org/10.1007/978-3-662-56509-4>.
 [18.] K. J. Åström and B. Wittenmark, *Adaptive Control*. Mineola, NY, USA: Dover Publications, 2008.

Serhii Bazilo (PhD)

<https://orcid.org/0000-0002-1597-3724>

Oleksii Mikhin

<https://orcid.org/0009-0001-9150-8840>

Serhii Kutsak

<https://orcid.org/0000-0001-5238-8957>

Viacheslav Vapnichnyi

<https://orcid.org/0009-0002-6649-8764>

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

A METHOD FOR PERMANENT WARGAME ANALYSIS BASED ON AN ADAPTIVE LIFE CYCLE AND DYNAMIC PATTERNS

In the context of the transformation of modern warfare, where quantitative superiority is offset by technological advancement and the speed of adaptation, permanent wargame analysis becomes a critical tool for outpacing the adversary in the cognitive and operational domains, which confirms the relevance of the study. The aim of the article is to develop a method for permanent wargame analysis based on the implementation of an adaptive life cycle and the use of dynamic patterns to ensure the continuous synthesis of analytical data in real time. The study is based on the methods of systems analysis, operations research, control theory, and simulation modeling. The following results were obtained: an adaptive life cycle framework for permanent wargame analysis was developed, which transforms the analysis from the final stage of a wargame into a process spanning its entire life cycle; an algorithmic solution was developed for comparing the actual game results with the baseline model in real time, allowing for the automatic detection of anomalies in players' actions; a model for structured information accumulation was proposed, ensuring the analytical reproducibility and integrity of the research results; a system of dynamic patterns and feedback loops was formalized, allowing the analytical strategy to be adapted directly during the game in response to changes in the operational environment. The method proposed by the authors improves the analytical reproducibility of research and ensures the effective accumulation of the acquired gaming experience in knowledge bases. The research results can be implemented in the activities of research institutions and educational establishments to automate the processing of results for various types of wargames, as well as in further research on the analytical support of wargaming.

Keywords: wargame; analytical support; systems analysis; life cycle; pattern.

References

- [1.] J. Curry and T. Price, *The Matrix Games Handbook: Better Decisions through Communication and Argumentation*. Raleigh, NC, USA: Lulu Press, 2021.
- [2.] P. Sabin, *Simulating War: Studying Conflict through Simulation Games*. London, U.K.: Bloomsbury Academic, 2014.
- [3.] E. M. Bartels, *Building Better Games: Why Game Design Matters for Strategic Wargaming*. Santa Monica, CA, USA: RAND Corporation, 2020, <https://doi.org/10.7249/RAA285-1>.
- [4.] M. B. Caffrey, *On Wargaming: A Public Service*. Newport, RI, USA: Naval War College Press, 2019.
- [5.] W. van der Aalst, *Process Mining: Data Science in Action*. Berlin, Germany: Springer, 2016, <https://doi.org/10.1007/978-3-662-49851-4>.
- [6.] *Systems and Software Engineering – System Life Cycle Processes, ISO/IEC/IEEE Std 15288:2023*, 2023.
- [7.] B. S. Blanchard and W. J. Fabrycky, *Systems Engineering and Analysis*, 5th ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson, 2011.
- [8.] NATO Science and Technology Organization, *Curated Wargaming Databases (SAS-139): Final Report STO-TR-SAS-139*. Brussels, Belgium: NATO STO, 2021.
- [9.] NATO Science and Technology Organization, *Wargaming Exploitation and Analysis (SAS-153): Technical Activity Report*. Brussels, Belgium: NATO STO, 2023.
- [10.] J. Purdue and K. McCown, "Integrating real-time analytics into wargaming environments," *Journal of Defense Modeling and Simulation*, 2022, <https://doi.org/10.1177/15485129211054321>.
- [11.] A. W. Reddie et al., "Next-generation wargaming for the 21st century," *Science*, vol. 362, no. 6421, pp. 1362–1364, 2018, <https://doi.org/10.1126/science.aav8648>.
- [12.] Yu. S. Yakovliev, "Methodology of intellectualization of information and analytical systems for special purposes," *Radioelektronni i kompiuterni systemy*, no. 2, pp. 45–56, 2021, <https://doi.org/10.32620/reks.2021.2.04>. (in Ukrainian)
- [13.] J. Banks, J. S. Carson, B. L. Nelson, and D. M. Nicol, *Discrete-Event System Simulation*. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson, 2010.
- [14.] N. J. Milton and P. Lambe, *The Knowledge Manager's Handbook: A Step-by-Step Guide to Implementing Knowledge Management in Your Organization*. London, U.K.: Kogan Page, 2020.
- [15.] T. H. Davenport and D. D. D'Augelli, *Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know*. Boston, MA, USA: Harvard Business School Press, 1998.
- [16.] R. O. Weber and D. W. Aha, "Intelligent lessons learned systems," *Expert Systems with Applications*, vol. 24, no. 1, pp. 17–34, 2003, [https://doi.org/10.1016/S0957-4174\(02\)00133-9](https://doi.org/10.1016/S0957-4174(02)00133-9).
- [17.] M. Dumas, M. La Rosa, J. Mendling, and H. A. Reijers, *Fundamentals of Business Process Management*. Berlin, Germany: Springer, 2018, <https://doi.org/10.1007/978-3-662-56509-4>.
- [18.] K. J. Åström and B. Wittenmark, *Adaptive Control*. Mineola, NY, USA: Dover Publications, 2008.