

DOI: 10.35681/1560-9189.2024.26.2.317417

УДК 004.5

А. В. Бойченко

Інститут проблем реєстрації інформації НАН України
вул. М. Шпака, 2, 03113 Київ, Україна

Використання візуальної аналітики для підтримки прийняття рішень у військовій сфері

Розглянуто особливості задачі візуалізації інформації і візуальної аналітики у військових системах підтримки прийняття рішень. Сформовано вимоги до інструментів візуалізації інформації та візуальної аналітики для військових систем підтримки прийняття управлінських рішень. Наведено приклади візуалізації даних бойової обстановки.

Ключові слова: аналітична діяльність, системи підтримки прийняття управлінських рішень, візуалізація інформації, візуальної аналітики.

Вступ

Актуальність відображення даних бойової обстановки важко переоцінити в контексті збройної агресії з боку РФ в Україні.

Візуальна інформація і отримані з неї знання відіграють важливу роль в усвідомленні військової ситуації. Це усвідомлення допомагає планувати та контролювати військові операції, розглядаючи конкретні виклики та сценарії.

Візуалізація інформації — це використання інтерактивного візуального представлення абстрактних нефізичних даних для розширення пізнання. Вона включає в себе графічне відображення числових і нечислових даних, таких як текст і географічну інформацію. Візуалізація даних полегшує розуміння складних інформаційних зв'язків і допомагає виявляти закономірності [1].

Візуальна аналітика — це більше, ніж просто візуалізація. Це швидше інтегральний підхід до прийняття рішень, що поєднує візуалізацію, людський фактор і аналіз даних. Завдання полягає в тому, щоби визначити найкращий автоматизований алгоритм для поточного завдання аналізу, окреслити його межі, які не можуть бути автоматизовані далі, а потім розробити тісно інтегроване рішення з належним чином інтегрованими найкращими автоматизованими алгоритмами аналізу з відповідними методами візуалізації і взаємодії. Візуальна аналітика поєднує автоматизовані методи аналізу з інтерактивною візуалізацією для кращого розуміння і ефективного прийняття рішень на основі великих і складних наборів даних. Візуальна

аналітика відрізняється від візуалізації інформації, надаючи вищий пріоритет аналізу даних від початку та протягом усіх ітерацій циклу визначення сенсу [2].

Військові системи підтримки прийняття управлінських рішень (ВСППУР) є особливим типом систем підтримки прийняття управлінських рішень, які втілюють оперативний процес і дозволяють сформуванню загальної оперативної картини для різних категорій військового персоналу.

Метою статті є огляд особливостей візуалізації інформації і візуальної аналітики та формування вимог до засобів їхньої реалізації у військових системах підтримки прийняття управлінських рішень.

Аналіз досліджень і публікацій

На сьогодні візуалізація широко використовується для підтримки завдань у процесі підтримки прийняття рішень і прогнозування аналітики. Основне використання — для очищення даних, дослідницького аналізу та діагностики. Наприклад, діаграми розсіювання та стовпчасті діаграми використовуються для ілюстрації зв'язків між кількома змінними, виявлення трендів і патернів у даних і при проведенні кореляційного аналізу [6].

Роботи [3–8] присвячено дослідженню питань функціональності інструментів візуалізації інформації і візуальної аналітики (ІВІВА) та їхньої інтеграції у ВСППУР, особливо зосереджуючись на аспектах геопросторово-часової візуалізації.

Дослідження [7] зосереджено на розробці методології використання геопросторової інформації для підтримки ситуаційної обізнаності та планування у системах військового призначення, метою якого є підтримка військ успішно атакувати цілі з меншою кількістю платформ і боєприпасів, швидше та з меншим ризиком вражаючи цілі, що у стратегічному плані дозволить більш оперативно керувати силами та засобами.

Нещодавно було запропоновано широкі системи візуальної аналітики для вибору функцій, поступового навчання та різноманітних завдань прогнозування для підтримки зростаючого використання складних моделей, оптимізації для конкретного агента та комплексного порівняння моделей і дослідження результатів [8].

Стаття [9] присвячена огляду сучасного стану дослідницького візуального аналізу — *exploratory visual analysis (EVA)*, приділяючи особливу увагу аналізу існуючих моделей процесу візуального аналізу та його застосування у різних сферах, зокрема у військовій справі.

У дослідженнях [10, 11] запропоновано методи візуалізації результатів сценарного аналізу, що дозволить різним групам користувачів зрозуміти яким чином ситуація розвивається у часі і просторі. Представлено метод візуалізації сценарію атаки з можливістю його адаптації під вимоги різних груп користувачів.

Особливості ВСППУР

Використання військового процесу прийняття рішень у ЗС України регулюється Методичними рекомендаціями з планування та організації бою за стандартами НАТО (штаб бригади (батальйону) та їм рівних) ВП 7(5)-00(11)03.01 [13]. Ця військова публікація затверджена Командувачем СВ ЗСУ країни у жовтні 2020 року для підготовки підрозділів у Навчальному центрі підготовки підрозділів

МЦМБ і не є керівним документом, який зобов'язує командирів застосовувати ВППР у бойовій діяльності.

ВСППУР включає сім етапів.

1. Отримання розпорядження (бойового завдання) від вищого командування.
2. Аналіз бойового завдання.
3. Розробка планів.
4. Аналіз планів.
5. Порівняння планів.
6. Вибір і затвердження плану.
7. Підготовка розпорядження та доведення його до виконавців.

На кожному з етапів використання сучасної системи підтримки прийняття рішень, до складу якої доцільно інтегрувати засоби ІВІВА, дозволить підвищити рівень оперативності і обґрунтованості управлінських рішень.

Слід виділити ряд особливостей ВСППУР:

- надвисокий рівень відповідальності;
- забезпечення підтримки військового процесу прийняття рішень;
- робота в режимі реального часу;
- інтеграція з різними джерелами даних;
- підвищена захищеність і живучість.

Формування вимог до ІВІВА

На основі аналізу особливостей прийняття рішень у військовій сфері та напрямків розвитку сучасних засобів візуалізації інформації і візуальної аналітики можна зробити висновок, що ІВІВА ВСППУР мають задовольняти таким вимогам, а саме:

- підтримка стандартів;
- багатоваріантність форм візуалізації
- підтримка колективної роботи;
- охоплення всіх рівнів управління;
- візуалізація сценаріїв розвитку подій ;
- інтеграція даних з різних джерел;
- адаптивність вводу-виводу;
- інтерактивність;
- візуалізація геопросторових даних.

Розглянемо суть та особливості реалізації даних вимог.

Підтримка стандартів у ВСППУР включає, в першу чергу, використання військової термінології у текстовій складовій ІВІВА, використання військової символіки (наприклад APP6D) при відображенні картографічної інформації, можливість формувати документи за стандартами військової сфери (табелі донесень, робоча карта командира і т.п.). Звичайно слід враховувати і стандарти безпеки, включаючи різні рівні допуску до інформації, що обов'язково має бути враховано при проектуванні[14].

Під **багатоваріантністю форм візуалізації** мається на увазі можливість імплементації у ВСППУР як традиційних, так і новітніх (експериментальних) форм візуального представлення.

Під традиційними формами візуалізації будемо розуміти форми графіків і діаграм, які багато років знаходять застосування у розповсюджених засобах аналізу даних, починаючи від MS Excel до потужних аналітичних баз знань.

Як приклад розглянемо візуальний аналіз показників спроможностей військових підрозділів. У процесі аналізу спроможностей слід виконати наступні п'ять кроків [3, 4].

1. Знаходження вичерпного переліку факторів, які утворюють розрив спроможностей, за допомогою відповідної структури управління спроможностями. Фактори — це показники продуктивності, за якими оцінюватимуться спроможності. Нормативними документами визначені такі фактори як: доктрина, організація, навчання, матеріальні засоби, фінансування тощо. Ці фактори можна згрупувати в ієрархію факторів високого рівня та підфакторів низького рівня.

2. Оцінка спроможностей за кожним фактором за допомогою відповідної шкали. Наприклад, шкала від 1 до 5 може бути використана для фактора фінансування, де 1 означає значне скорочення фінансування, а 5 — повну доступність фінансування для пріоритету в певний момент часу. Подібні шкали будуть розроблені для інших факторів, таких як доктрина, організація, навчання, техніка тощо.

3. Присвоєння вагових коефіцієнтів визначеним факторам для відображення їхньої важливості. Це може ґрунтуватися на методах, що варіюються від індивідуальних оцінок до моделей, які досягають консенсусу між групами експертів у відповідній галузі.

4. Обчислення загальної оцінки дефіциту спроможностей шляхом поєднання вагових коефіцієнтів і оцінок для кожної з альтернатив із використанням відповідної моделі. Ці моделі включають модель зваженої суми, модель зваженого продукту і аналітичний ієрархічний процес.

5. Проведення аналізу недостатності спроможностей, щоб виявити, які саме фактори впливають на оцінку розриву спроможностей (рис. 1).



Рис. 1 Діаграма рівня спроможностей

На першому етапі процесу візуальної аналітики проводиться попередня обробка даних, типовими завданнями якої є очищення даних, нормалізація, угруповання

чи інтеграція гетерогенних даних у загальну схему. Далі, використовуючи ці дані, аналітик для отримання знань може безпосередньо вибрати візуалізацію або моделі автоматичного аналізу даних.

На другому етапі, при виборі аналітиком візуалізації, здійснюється відображення даних, тобто візуалізація даних, отриманих на першому етапі. У процесі візуальної аналітики вихідних даних знання можуть бути отримані з етапів візуалізації (третьої етап), моделей автоматичного аналізу, а також зі взаємодії між ними (четвертий етап).

При цьому якщо початкова візуалізація даних не дозволяє отримати достатньо інформації, то результати візуалізації можуть бути повторно використані для побудови моделі для автоматичного аналізу (четвертий етап). А візуалізація моделі (четвертий етап) може бути використана для перевірки результатів цієї моделі. Таким чином, чергування візуальних та автоматичних методів аналізу даних дозволить аналітикам уточнити та перевірити попередні результати аналізу. Для покращення результатів аналізу включений цикл зворотного зв'язку, що дозволяє аналітику поліпшити висновки надалі.

Охоплення всіх рівнів управління передбачає що, ВСППУР повинна мати змогу візуалізувати данні зі стратегічного, оперативного та тактичного рівнів управління.

Стратегічний — найвищий рівень управління, на якому приймаються рішення щодо загальної стратегії розподіл ресурсів між різними напрямками воєнних дій чи планування масштабної військової операції.

Оперативний рівень зосереджений на плануванні та проведенні операцій у межах одного напрямку воєнних дій, на якому приймаються рішення щодо координації дій підрозділів, для досягнення цілей, визначених на стратегічному рівні.

Приклад: планування та виконання наступальної операції на конкретному фронті, об'єднання зусиль різних родів військ (піхота, артилерія, авіація) для досягнення конкретних оперативних цілей.

Тактичний рівень — найнижчий рівень управління, який зосереджений на конкретних бойових діях військового підрозділу від бригади і нижче.

Це вимагає від ВСППУР здатності працювати з різними рівнями деталізації, від стратегічного огляду до тактичного крупного плану.

Візуалізація сценаріїв розвитку подій має забезпечити простий у використанні інтерфейс, який як відображає зміни ситуації на полі бою, так і варіанти розвитку ситуації. Сценарний аналіз у військовій сфері полягає в проведенні аналізу, у ході якого формується кілька альтернативних варіантів сценаріїв шляхів розвитку проблеми при заданих обмеженнях [8]. Це досягається представленням такого сценарію у вигляді графа, що дозволяє відслідкувати послідовність подій, впливи різних факторів і ймовірні наслідки.

Дані різних систем можуть надходити не тільки з різних рівнів бойових систем, але й інших джерел, наприклад, із систем DRMIS. Такі дані необхідні для планування і аналізу логістики у зоні бойових дій.

На рис. 2 представлено мапу, яка відображає інтенсивність ворожих обстрілів шляхів постачання у прифронтовій зоні. Колір ділянки дороги означає ймовірність обстрілів даної ділянки маршруту.



Рис. 2. Безпечність маршрутів постачання

Також це можуть бути дані з відкритих джерел: метеорологічні сайти, маршрути цивільних літаків (flightradar24 [15]).

Підтримка колективної роботи є життєво важливим для вирішення військових задач інструментом одночасної візуалізації для функціонування в умовах командної взаємодії, нарад і спільного планування. Вона дозволяє забезпечити:

- прискорення оцінки змін оперативної обстановки;
- можливість головуючому ефективно керувати ходом спільного обговорення;
- можливість кожному учаснику працювати з інформацією індивідуально або спільно з іншими;
- одночасний доступ до даних і сервісів єдиного інформаційного простору.

Загальна оперативна картина є необхідною умовою для спільного планування та контролю виконання операцій на тактичному, оперативному та стратегічному рівнях. Вона дозволяє військовикам сформулювати цілісне уявлення щодо актуального стану справ, інтегруючи карти з положенням власних сил і сил противника, розташуванням об'єктів інфраструктури, маршрутами постачання тощо.

Адаптивність вводу-виводу включає підтримку різноманітних технічних пристроїв, що забезпечує позитивний вплив на можливість аналізу та швидкість вироблення рішень. Для вводу-виводу можуть бути використані не лише стандартні дисплеї, клавіатури та миші але додаткові, наприклад: відеостіни, мінідисплеї, сенсорні екрани, проектори, засоби доповненої реальності.

Такі опції дозволяють значно підвищити якість і швидкість прийняття рішень у ВСППУР, надаючи візуально-інтерактивні інструменти для аналізу даних, координації і планування операцій.

Основа **інтерактивності ІВІВА** включають [8]: активна мапа; навігація; фокус+контекст.

Активна мапа передбачає, що офіцер, який розробляє план операції, має отримати можливість без зусиль редагувати, видаляти або створювати/розміщувати сили та засоби за допомогою ІВІВА. Крім того, дизайн взаємодії має бути розроблений таким чином, щоби план можна було редагувати та видаляти, а також можна

було легко розробити сценарії «що, якщо». Під час рисування та редагування ресурсів/об'єктів користувач повинен мати можливість скасовувати та повторювати дії. Крім того, об'єкти на мапі мають бути керованими, і їх можна пов'язувати з певним замовленням. Дії нижнього рівня, такі як «вибір», «переміщення», «упорядкування», «зміна», «фільтр» і «агрегування», є необхідними для створення дружнього до користувача інтерфейсу.

Для навігації мапою можна використовувати «клацніть і перетягніть», «подвійне клацання для масштабування», «прокручування для масштабування», «зведення щипків для масштабування», використання клавіш зі стрілками для панорування, або клавіші плюс і мінус для масштабування.

Інструменти масштабування дозволяють краще вивчити об'єкт головного інтересу, представлений у повних деталях, і водночас отримати загальне уявлення про доступну навколишню інформацію.

Геопросторова візуалізація

Військові мапи є найбільш важливим інструментом аналізу ситуації і підтримки прийняття рішень на всіх рівнях. Включення геопросторових і часових даних має вирішальне значення для складної візуалізації і аналізу даних у військових інформаційних системах. Інтеграція геопросторових даних, таких як широта, довгота та висота, а також часові дані, що охоплюють час і тривалість операцій, покращують розуміння ситуації. Ця інтеграція важлива для визначення тенденцій і закономірностей у часі, що дозволяє стратегічно планувати майбутні операції з урахуванням історично проблемних місць або часу [12].

На рис. 3 представлено мапу, яка відображає інформацію про інтенсивність ворожих обстрілів. Координати точки визначають місце удару, а колір точки — тип боєприпасу.

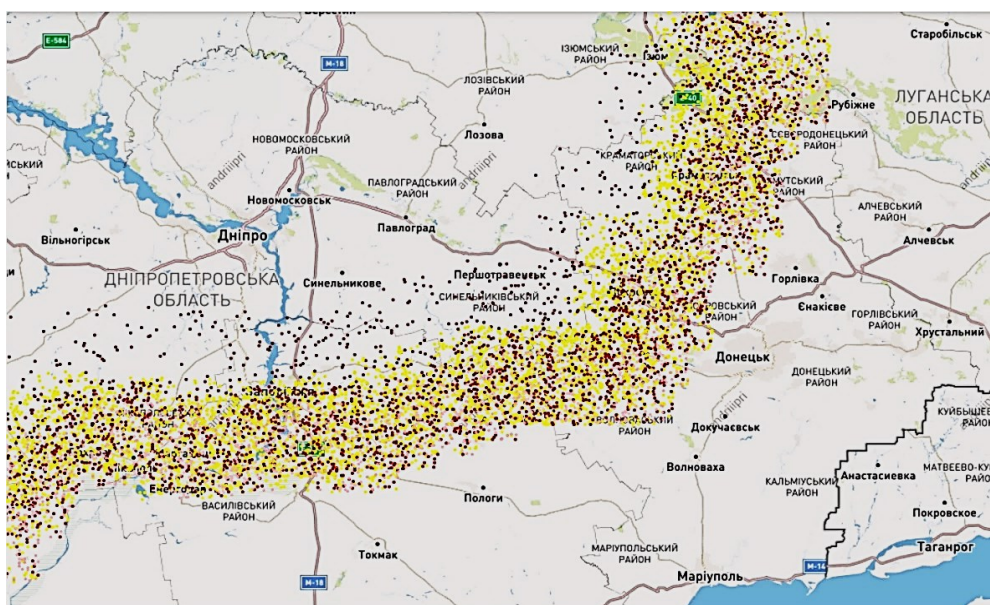


Рис. 3. Інтенсивність обстрілів

На рис. 4 представлено приклад мапи, яка візуалізує інтенсивність ворожих обстрілів у вигляді мікродіаграм. Координати точки мікродіаграми визначають певний район, колір секторів може означати тип боєприпасу, розмір кожної мікродіаграми визначається сумарною кількістю обстрілів у даному районі.

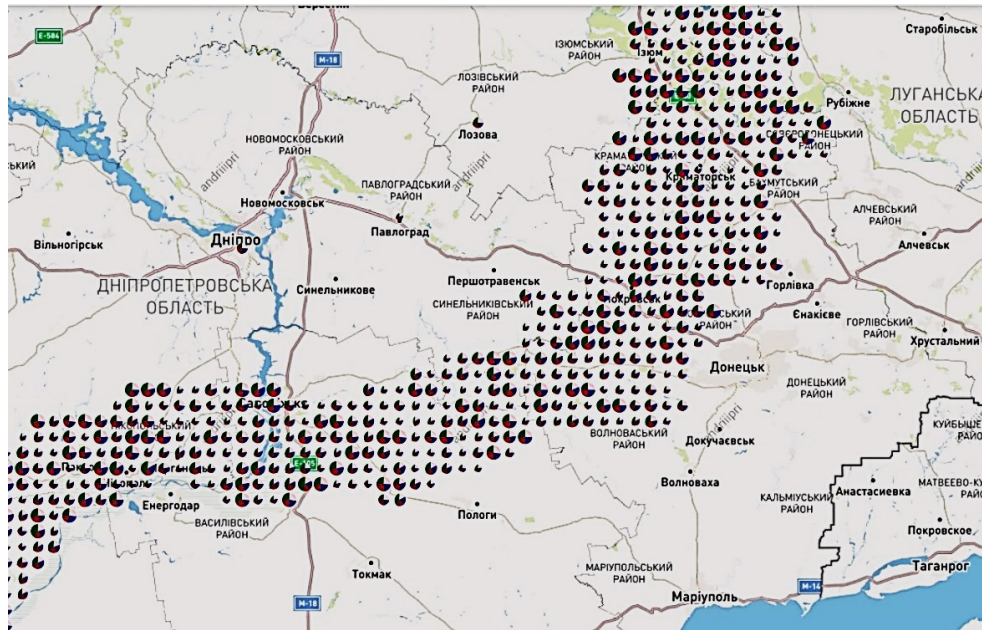


Рис. 4. Інтенсивність обстрілів у вигляді мікродіаграм

Вибір інструментів для реалізації вимог

Розглянемо сценарій вибору множини інструментів (фреймворків), які реалізують вимоги до ВСППУР при формуванні ІВІВА на основі методу аналізу ієрархій, запропонований Т. Сааті [16].

Позначимо множину вимог як

$$R = \{r_1, r_2, \dots, r_9\}.$$

Позначимо множину інструментів:

$$F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}.$$

Сформуємо матрицю:

$$A = \{a_{i,j}\}, a_{i,j} \in \{0,1\}, i = \overline{1,9}, j = \overline{1,m}.$$

Виконаємо процедуру експертної оцінки відповідності інструментів даним вимогам і сформуємо матриці парних порівнянь.

Далі, використовуючи ці матриці, будемо матрицю головних власних векторів $B = \{b_{i,j}\}$, стовпці якої є векторами відповідності інструментів вимогам, де $b_{ij} = 0$, якщо фреймворк f_j взагалі не реалізує вимогу r_j .

Сформуємо матрицю нормування H та матрицю відібраних за вимогами інструментів S

$$S = \begin{pmatrix} R_1 & R_2 & \dots & R_9 \\ g_1/h & 0 & \dots & 0 \\ 0 & g_2/h & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & g_9/h \end{pmatrix},$$

де g_i — кількість інструментів $f_j \in F$, які реалізують вимогу R_i , а

$$h = \sum_{i=1}^9 g_j.$$

Сформуємо вектор переваги інструментів $d = V \times w$, де $w = B \times H \times S \times w$ — нормований вектор відповідності інструментів вимогам, а

$$V = \begin{pmatrix} (\sum_{i=1}^m w_i)^{-1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & (\sum_{i=1}^m w_i)^{-1} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & (\sum_{i=1}^m w_i)^{-1} \end{pmatrix}.$$

Висновки

Розглянуто особливості технологій візуалізації інформації і візуальної аналітики та особливості прийняття рішень у військовій сфері. Також показано що їхнє використання дозволяє підвищити ефективність управлінських рішень у військовій сфері за рахунок прискорення аналізу великих обсягів інформації та одночасного огляду показників і сценаріїв. Це дозволило сформувати ряд ключових вимог до реалізації ІВІВА у військових системах підтримки прийняття управлінських рішень.

У рамках роботи моделюючого комплексу на базі Інституту проблем реєстрації інформації НАН України досліджуються, в тому числі, і проблеми використання ІВІВА, які мають стати ефективною складовою автоматизованої системи управління силами та засобами ЗСУ, що інтегрує в єдиний інформаційно-функціональний контур органи управління стратегічного, оперативного та тактичного рівнів. Вибір конкретних засобів і методів, зокрема, стандартів геопросторових даних та інструментів моделювання базуватиметься на тому, наскільки вони задовольняють сформованим вимогам.

1. Eden B. Information visualization. *Library Technology Reports*. 2009. **41**(1). P. 7–17.
2. Keim D., Andrienko G., Fekete J.D., Görg.C., Kohlhammer J., & Melançon G. Visual analytics: Definition, process, and challenges. Springer Berlin Heidelberg, 2008. P. 154–175.
3. Руснак Ю., Стужук Ю. Стратегічне інформаційне управління в системі безпеки та оборони: інтеграція та оптимізація: зб. наук. праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія: військові та технічні науки. 2024. **94**(1). P. 86–96.
4. Баранов С. Рекомендації щодо формування вимог до розвідки об'єктів противника в операціях (бойових діях) угруповань військ (сил) Збройних Сил України. *Journal of Scientific Papers «Social Development and Security»*. 2023. **13**(4). С. 299–313. <https://doi.org/10.33445/sds.2023.13.4.21>.

5. Олещенко О., Іохов О., Белай С. Модель інформаційно-аналітичного забезпечення системи управління військового командування під час дій з охорони правопорядку. *Честь і Закон*, 2022. **2**(81). С. 36–41.
6. Tardy T. (2022). «NATO 2030. United for a New Era»: a Digest. NATO Defense College. URL: <http://www.jstor.org/stable/resrep27747> (Last accesses: 28-05-2024).
7. Dukiya J.J., & Adelele B. Remote Sensing and GIS Assessment of Domestic Fuel Energy Supply: A Threat to Global DRR Crusade in South-western Nigeria. *International Journal of Disaster Risk Management*. 2022. **4**(2). P. 45–59.
8. Walsh G., Andersen N.S., Stoianov N., & Jänicke S. A survey of geospatial-temporal visualizations for military operations. In International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications. 2023. P. 115–129. SCITEPRESS Digital Library.
9. Alavizadeh H., Jang-Jaccard J., Enoch S.Y., Al-Sahaf H., Welch I., Camtepe S.A., & Kim D.D. A survey on cyber situation-awareness systems: Framework, techniques, and insights. *ACM Computing Surveys*. 2022. **55**(5). P. 1–37.
10. Battle L., & Heer J. Characterizing exploratory visual analysis: A literature review and evaluation of analytic provenance in tableau. In *Computer graphics forum*. 2019, June. Vol. 38, No. 3. P. 145–159.
11. Lu Y., Garcia R., Hansen B., Gleicher M., & Maciejewski R. The state-of-the-art in predictive visual analytics. In *Computer Graphics Forum*. 2017, June. Vol. 36, No. 3. P. 539–562.
12. Bekele N. Assessment and Modeling of Geo-Spatial Technology and Geo-Spatial Intelligence Support for Joint Military Operations. *Journal of Geographic Information System*. 2019. **11**(1). P. 97–110.
13. Тимчасовий бойовий статут механізованих військ Сухопутних військ Збройних Сил України. Частина 1 (бригада). Наказ командувача Сухопутних військ Збройних Сил України від 09.03.2021, № 152, БП 3-(01,04)11(55).01.
14. Пількевич І.А., Перегуда О.М., Черкес О.П. Особливості проектування архітектури інформаційних систем військового призначення з використанням NATO Architecture Framework на прикладі науково-дослідного підрозділу. *Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем*. 2019. № 16. P. 35-49.
15. Flightradar24. URL: <https://www.flightradar24.com>
16. Saaty T.L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of services sciences*. 2008. **1**(1). P. 83–98.

Надійшла до редакції 25.10.2024