

УДК 004.5

О.Г. ДОДОНОВ*, А.В. БОЙЧЕНКО*

МЕТОДИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТА ВІЗУАЛЬНОЇ АНАЛІТИКИ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ

*Інститут проблем реєстрації інформації НАН України, м. Київ, Україна

Анотація. У статті розглянуто роль візуалізації та візуальної аналітики у сучасних інформаційних системах організаційного управління. Показано різницю між візуалізацією та візуальною аналітикою. Розглянуто методи візуалізації, як-от військові карти, стовпчикові діаграми, організаційні схеми і їх зв'язки з конкретними аналітичними завданнями. Проаналізовано роль об'єднання окремих засобів у спільне середовище, що сприяють єдиному розумінню, зокрема використовуючи як основу військові карти. Показано, як використання дашбордів для агрегації різномасштабних показників забезпечує швидше сприйняття оперативної обстановки. Розглянуто перетворення комплексної геоспорової та тактичної інформації в зрозумілі формати для управління та контролю. Запропоновано для перевірки ефективності засобів візуалізації в інформаційних системах організаційного управління використовувати метод оцінки візуальних форм, який дозволяє вирахувати значення їхніх характеристик, базуючись на понятті ентропії. Кількісна оцінка інформаційного вмісту та складності дають змогу оцінити збереження деталей та рівні шуму. Отже, засоби візуалізації оптимізуються для перетворення на ключову складову візуальної аналітики, що дозволить покращити вироблення рішень. Розглянуто використання візуалізації онтологій для забезпечення семантичної структуризації предметних областей та досягнення сумісності між інструментами підтримки прийняття рішень. Засоби візуалізації адаптуються до потреб візуальної аналітики, використовуючи такі показники, як-то зручність використання, інтерактивність, адаптивність та зниження когнітивного навантаження. Отримано перелік методів, які були апробовані в рамках моделювання складних систем та продемонстрували ефективність у відображенні інформації, критично важливої для прийняття управлінських рішень, і пройшли перевірку у рамках моделюючого комплексу.

Ключові слова: інформаційні системи організаційного управління, візуалізація даних, візуальна аналітика, вироблення рішень.

Abstract. The problem of visualization and visual analytics in modern information systems of organizational management is considered. The difference between visualization and visual analytics is clarified. Various techniques, such as military maps, bar charts, organizational charts, and their connection with specific analytics goals, are analyzed. The role of integrating individual tools into a unified environment is analyzed, which contributes to a common understanding, in particular through the use of military maps as a foundation. The paper shows that the use of dashboards for the aggregation of multiple metrics enables a more rapid comprehension of operational status. The transformation of complex geospatial and tactical information into intelligible formats for command and control is considered. To check the effectiveness of visualization tools in information systems of organizational management, it is proposed to use the method of visual form evaluation, which makes it possible to calculate the values of their characteristics based on the concept of entropy. Information content and complexity are quantified through entropy, enabling the assessment of detail preservation and noise levels. Thus, visualization tools are optimized to become a key component of visual analytics, which will improve decision-making. Special attention is given to the visualization of ontologies, which enables semantic structuring of knowledge domains and facilitates interoperability among decision-support tools. Visualization tools are adapted to the needs of visual analytics, using such

indicators as usability, interactivity, adaptability, and cognitive load reduction. A list of methods tested within the framework of complex systems modeling and demonstrated effectiveness in visualizing information that is critical for managerial decision-making, having been validated within the modeling complex, has been obtained.

Keywords: information systems of organizational management, data visualization, visual analytics, decision-making.

DOI: 10.34121/1028-9763-2025-3-4-20-32

1. Вступ

У сучасних реаліях якість управлінських рішень та оперативність їх ухвалення набули надзвичайної важливості.

Інформаційні системи організаційного управління (ІСОУ) — це сукупність пов'язаних в єдине ціле каналами передачі інформації баз даних, інформаційних сховищ, баз знань, а також інформаційних технологій, які підтримують процеси збору, обробки, аналізу, передачі та представлення інформації різного рівня інтеграції. При цьому обмін інформацією здійснюється як у межах ІСОУ, так і з об'єктами навколишнього середовища [1, 2]. Внутрішні та зовнішні потоки інформації формують основу для прийняття рішень, планування та реагування. Внутрішні потоки забезпечують циркуляцію даних між структурними підрозділами в межах системи, рівнями управління та функціональними системами, сприяючи узгодженості дій, контролю виконання завдань і підтримці внутрішньої безпеки. Зовнішні потоки охоплюють обмін інформацією з іншими організаціями, партнерами та інформаційними мережами, що дозволяє ІСОУ адаптуватися до змін середовища, впроваджувати інновації та забезпечувати міжвідомчу взаємодію.

Основне призначення ІСОУ — це пошук, збір, передача, зберігання, обробка, відображення і розподіл різномірної інформації, що характеризує обстановку у предметній області, в інтересах підтримки прийняття управлінських рішень посадовими особами органів управління. Загальна цільова спрямованість системи досягається шляхом реалізації її основних цілей, які включають зовнішні цілі — підвищення якості прийнятих управлінських рішень; внутрішні цілі — підвищення оперативності, обробки і надання даних для вироблення управлінських рішень; інтегральні цілі — підвищення ефективності взаємодії між людиною і комп'ютером при підготовці, прийнятті та контролі виконання управлінських рішень [2].

До основних процесів організаційного управління належать [2]:

- інформаційне забезпечення реалізації певного ділового процесу;
- планування та підтримка прийняття управлінських рішень;
- управління процесами (доведення рішень до виконавців, розподіл завдань та повноважень, виділення ресурсів, реалізація технологічних процесів тощо);
- контроль за виконанням технологічних процесів та оцінювання процесу виконання завдань;
- прогнозування подій;
- документування дій;
- реєстрація дій і подій для аналізу виконання ділового процесу та оцінки функціонування ІСОУ;
- підтримка безпеки функціонування і коригування управління при виникненні небезпечних зовнішніх чи внутрішніх впливів, підтримка живучості об'єкта управління;
- отримання знань із накопичених даних та зареєстрованої інформації.

Задача забезпечення ІСОУ якісними та швидкодіючими інструментами аналізу є надзвичайно актуальною. Визнанням засобом прискорення розуміння складних даних користувачем і як наслідок його здатності до обґрунтованих та оперативних управлінських рішень є засоби візуалізації та візуальної аналітики.

При цьому слід розуміти різницю між візуалізацією та візуальною аналітикою. Комп'ютерна візуалізація та візуальна аналітика відрізняються ступенем когнітивної інтеграції користувача та складністю перетворення даних: комп'ютерна візуалізація в основному спирається на детерміновані відображення багатовимірних просторів даних у графічні представлення (наприклад, за допомогою лінійних або нелінійних проєкцій, скалярних полів або рендерингу поверхні), слугуючи інструментом для спостереження за закономірностями, тоді як візуальна аналітика містить інтерактивні процеси та моменти усвідомлення, при цьому гіпотези формуються, перевіряються та уточнюються за допомогою циклів зворотного зв'язку [3].

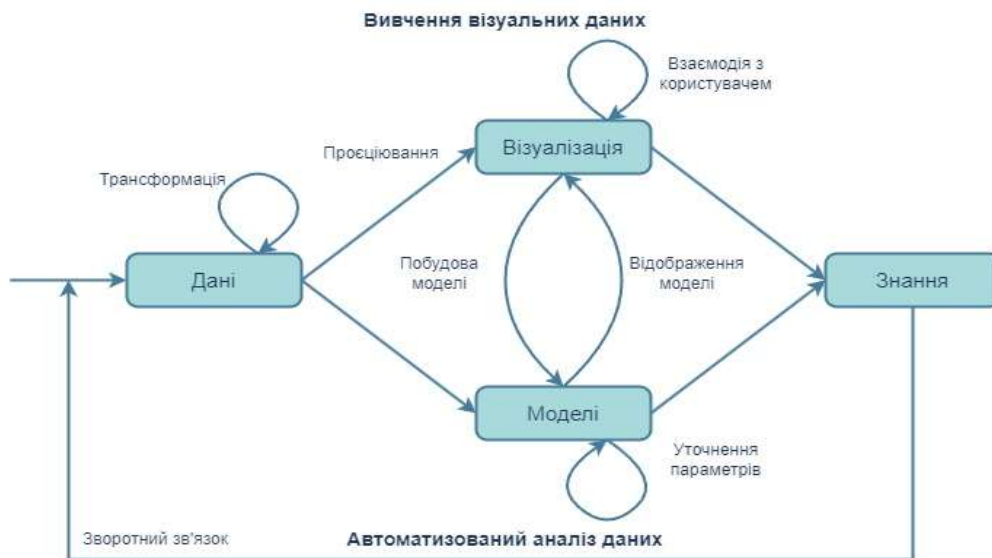


Рисунок 1 — Адаптоване зображення процесу візуальної аналітики [3]

Візуалізація стосується питань візуального сприйняття того, як люди інтерпретують колір, форму, розмір та просторову орієнтацію, тоді як візуальна аналітика містить динамічне дослідження даних та перевірку гіпотез за допомогою інтерактивних інструментів [3].

Зокрема, візуальна аналітика в ІСОУ інтегрує методи обробки даних, як-от кластеризація, регресія та прогнозне моделювання, з інтерактивними фреймворками візуалізації.

Як продемонстрували наукові роботи, які виконувалися на Моделюючому комплексі Інституту проблем реєстрації інформації НАН України, візуалізація та візуальна аналітика є важливими для моделювання критичної інфраструктури, симуляцій на полі бою та аналізу військових спроможностей, оскільки вони дозволяють інтеграцію, інтерпретацію та взаємодію в режимі реального часу зі складними, багатовимірними та часто динамічними даними [4].

Метою роботи є дослідження питань підвищення якості аналітичної діяльності в ІСОУ при впровадженні ефективних інструментів візуалізації та візуальної аналітики.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Людство використовує візуалізацію для підтримки прийняття рішень із давніх часів. Перша відома мапа, яка зберігається у музеї міста Кон'я, відома як Мапа з Чатал-Гьоюк, датується приблизно 6200–6000 роками до нашої ери [5].

Візуальна складова є одним з найважливіших елементів ІСОУ завдяки здатності забезпечувати інтуїтивне розуміння інформації та швидке сприймання складних даних і зв'язків. Добре пропрацьований візуальний інтерфейс покращує зручність використання, роблячи системи організаційного управління ефективнішими та скорочуючи криву навчання для користувачів.

Виділяють такі критерії, які характеризують якість візуального інтерфейсу [6]:

- швидкість роботи користувачів;
- кількість помилок користувачів під час роботи із системою;
- швидкість навчання користувачів;
- суб'єктивне задоволення користувачів (при цьому мається на увазі, що відповідність інтерфейсу завданням користувача є невід'ємною властивістю інтерфейсу).

Існуючі методи візуалізації та візуальної аналітики в системах організаційного управління не виправдовують необхідний рівень підтримки очікувань користувачів. Серед причин виділяють те, що більшість інструментів візуалізації зосереджені на базових діаграмах і графіках, але не підтримують розширену аналітику, як-от прогнозне моделювання, кластеризацію чи машинне навчання [6].

У контексті візуального аналізу даних значна увага приділяється часовим параметрам. Зокрема, у роботі [7] показано важливість урахування характеристики часу під час створення візуальних уявлень користувачів на основі timeline-подій. Цей висновок ґрунтується на прикладах абстракції часових даних, аналізу головних компонентів і кластеризації великих масивів даних, що містять прив'язку до часу.

Інформація про місцевість і отримані з неї знання відіграють важливу роль в усвідомленні військової ситуації та ситуаційної обізнаності. У статті [8] представлено можливості успішного поєднання геоданих, методів просторового аналізу та візуалізації для застосування у військовій справі. Як теоретичну основу використано цикл OODA та показано послідовність перетворення даних на інформацію та знання, які використовуються на етапі ухвалення рішення. Проект фінансується силами оборони Фінляндії, а мотивацією для такого роду досліджень з боку фінського уряду є ситуація, в якій переосмислюються всі інформаційні системи, а також використовується нова платформа для ГІС-додатків.

Куї пропонує розширений огляд цієї галузі, висвітлюючи її еволюцію від традиційної візуалізації та алгоритмічного аналізу даних. У статті наголошується на тому, як візуальна аналітика інтегрує інтерактивну візуалізацію з людським судженням, щоб полегшити пошук інформації зі складних наборів даних. Автор класифікує існуючі дослідження на основі розмірності візуалізації та типів взаємодії, розглядаючи їх застосування в різних областях, і зрештою прагне запропонувати повне уявлення про дисципліну, щоб визначити напрями майбутніх досліджень [9].

Завдяки поєднанню візуалізації та автономних агентів інформація може бути адаптована для конкретної зони бойових дій, конкретного рівня командування та визначеного періоду часу [10, 11]. Запропонований підхід передбачає попереднє оброблення автономними агентами мінливого та територіально розподіленого інформаційного простору для ідентифікації релевантних даних. Після цього візуальні інтерфейси полегшують розуміння та навігацію. Географічно відокремлені користувачі маніпулюють налаштованим поданням для доступу до загальної інформаційної структури, в якій вони можуть інтерактивно співпрацювати між собою. Для втілення підходу запропоновано архітектуру, яка використовує мережеві технології Jini.

Дослідження [12] зосереджено на проблемі ефективного застосування візуалізації та візуальної аналітики у великих корпоративних системах. Показано, що з появою великих даних, які характеризуються великими обсягами, різноманітністю та швидкістю збору, для візуалізації потрібно більш ретельно розглядати такі питання:

- ідентифікація (виділення відповідних даних, що стосуються потрібних об'єктів);
- інтеграція (поєднання різних режимів даних для виявлення розуміння цікавого явища), безпосередність (вивчення даних у реальному часі в чутливий до часу спосіб);
- інтерактивність (індуктивне розкриття та визначення нових моделей).

Розглянуті приклади містять візуалізацію критеріїв ефективності для поліцейської служби, мережу публікацій організаційних дослідників і мову соціальних медіакомпаній зі списку Fortune 500 [13].

3. Характеристики засобів візуалізації

Ефективність ІСОУ та її складових слід оцінювати за якістю, своєчасністю та обґрунтованістю прийнятих управлінських рішень. Вибір методів організаційного управління має враховувати існування локальних цілей у складових СОУ, непередбачуваність імовірних несприятливих впливів зовнішнього середовища, які здатні викликати певні порушення у функціонуванні об'єкта управління.

Прикладом застосування графіків може бути стовпчаста діаграма, яка дозволяє відслідкувати залежність між двома показниками (рис. 2). Вона побудована на основі даних форми таблиці, що містить дані щодо витрат мастильно-паливних матеріалів.

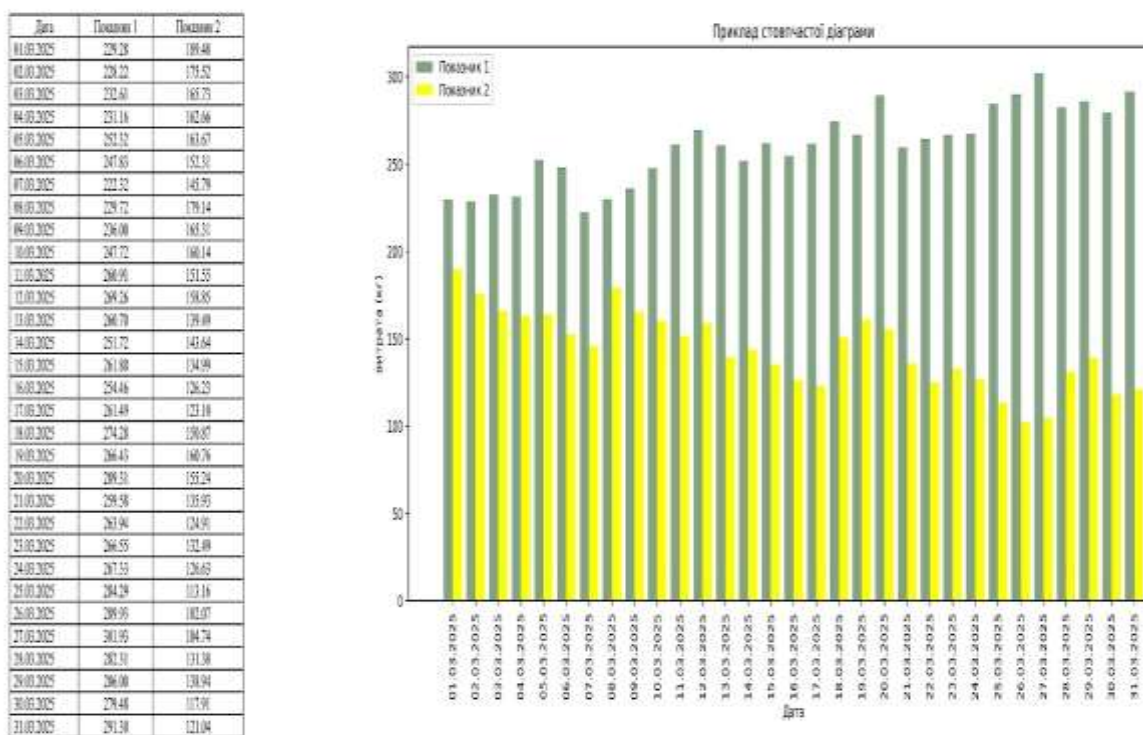


Рисунок 2 — Порівняння табличного представлення (зліва) та їх візуалізації (справа)

На відміну від таблиці візуальне сприйняття діаграми дозволяє відразу помітити декілька характеристик даних:

- показник 1 демонструє тренд до поступового зростання;
- показник 2 демонструє тренд до поступового спадання;
- обидва показники мають циклічність, і в показника 2 розмір періоду більший, ніж у показника 1.

Як підвид графіків можна виділити деревовидні діаграми, хоча окремі дослідники виділяють їх в окремий різновид інфографіки.

У складних структурах, як-от військовий підрозділ, деревовидна діаграма дозволяє:

- швидко зорієнтуватись, хто кому підпорядковується;
- оцінити баланс між бойовими й допоміжними підрозділами;
- легше знаходити зв'язки між різними рівнями керівництва.

Якщо дані представлені у форматі таблиці, користувачу важче відразу зрозуміти порядок підпорядкування та складніше оцінити зв'язки між підрозділами, оскільки відсутня вага (ключові й допоміжні підрозділи не виділяються) (рис. 3).

	A	B	C	D	E
1	Підрозділ	Тип	Кіль	Склад	
2	Управління	Управлін	1	8	
3	Штаб бригади	Управлін	1	14	
4	1 Механізований	Маневрс	1	530	
5	2 Механізований	Маневрс	1	530	
6	3 Механізований	Маневрс	1	530	
7	Танковий батальйон	Маневрс	1	171	
8	Бригадна артилерія	Вогнева	1	678	
9	Зенітний ракетний	Протипов	1	248	
10	Рота зв'язку	Спеціальн	1	51	



Рисунок 3 — Табличне представлення (зліва) та візуалізація у вигляді деревовидної діаграми

При побудові розробник має досягти такого розміщення ключових показників, щоб вони, а також підказки, що спливають, залишалися чіткими і зрозумілими.

Прикладом застосування дашборду може слугувати сторінка з кількома графіками, яка була розроблена у рамках МК, що забезпечує інтерактивність та дозволяє відслідковувати залежність між кількома показниками (рис. 4).



Рисунок 4 — Практична реалізація дашборду

Інтерактивна візуалізація передбачає, що офіцер, який розробляє план операції, має отримати можливість без зусиль редагувати, видаляти або створювати/розміщувати сили та засоби. Крім того, дизайн взаємодії має бути розроблений у такий спосіб, щоб план можна було редагувати та видаляти, а також 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, як-от «вибір», «переміщення», «упорядкування», «зміна», «фільтр» і «агрегування», є необхідними для створення дружнього до користувача інтерфейсу [13].

Військові мапи є найважливішим інструментом аналізу ситуації та підтримки прийняття рішень на всіх рівнях. Включення геопросторових і часових даних має вирішальне значення для складної візуалізації та аналізу даних у військових інформаційних системах. Інтеграція геопросторових даних, як-от 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.

На рис. 4 представлено фрагмент мапи ситуаційності, яка відображає дані з визначеними координатами ворожої техніки.



Рисунок 5 — Відображення мапи з розташуванням ворожої техніки

Теплові мапи використовують кольорову градацію для показу інтенсивності даних у різних областях. Вони часто застосовуються для аналізу матриць даних, кореляцій, густини точок тощо і відображають значення матриці за допомогою змін кольору, використовуючи кольорову шкалу. Зазвичай холодні відтінки показують низькі значення, теплі — високі. Це корисно для візуалізації великих обсягів даних або виявлення тенденцій.

Типи теплових мап:

- кластерні — групують схожі дані;
- просторові — показують дані на мапі;
- кореляційні — виявляють зв'язки між змінними.

Теплові карти ефективні для початкового аналізу та виявлення закономірностей.

На рис. 6 представлено зразок теплової мапи, реалізованої у рамках симуляції. Цей зразок є подвійною тепловою мапою, оскільки відображає інтенсивність обстрілів як виділені кольором полігони та інтенсивність бойових зіткнень на вибраній ділянці фронту (20 км).

Використання графів як засобу візуалізації є доцільним у контексті аналізу складних систем, що характеризуються високим рівнем взаємозв'язків між елементами. Це є ефективним для виявлення кластерів, вузлів із високою центральністю, а також для аналізу топології мереж.



Рисунок 6 — Відображення реалізації теплової мапи

У сфері військової аналітики граfi застосовуються для моделювання оперативних зв'язків, логістичних маршрутів, а також для виявлення потенційних точок ураження в системах командування та управління [13, 14]. При аналізі критичної інфраструктури граfoва візуалізація дозволяє ідентифікувати вразливі компоненти, оцінити наслідки каскадних відмов та оптимізувати стратегії реагування. На рис. 7 представлено візуалізацію ієрархії набору підрозділів.

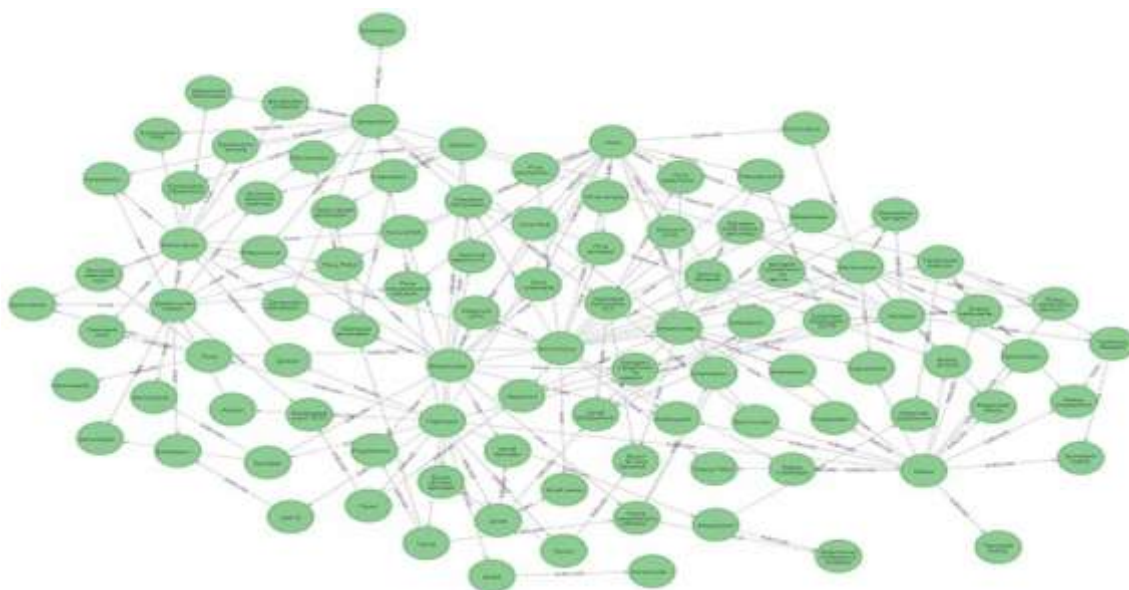


Рисунок 7 — Відображення графової моделі даних

У даному прикладі для візуалізації використаний інтерфейс графової бази даних Neo4j, яка забезпечує ефективне зберігання, обробку та відображення мережевих структур. Завдяки використанню мови запитів Cypher, Neo4j дозволяє формувати складні аналітичні запити, зокрема для виявлення критичних шляхів, аналізу зв'язності та побудови сценаріїв розвитку подій. Це забезпечує високий рівень адаптивності системи до потреб користувача в умовах динамічного середовища, що є ключовим у контексті оборонного планування та управління ризиками [15].

4. Використання онтологій

Комп'ютерні онтології дозволяють побудувати структуру, яка визначатиме зв'язки між окремими поняттями та категоріями. Це дозволяє використовувати їх для керування процесом

створення контексту у системах генеративного штучного інтелекту, гарантуючи, що отримані синтетичні дані та сценарії є змістовними і відповідають предметній області. Це допомагає створювати більш точні та реалістичні моделі.

Наприклад, онтологія може визначати ієрархію командування, типи підрозділів і обладнання, які генеративна модель може використовувати для створення реалістичних сценаріїв розвитку ситуації.

При створенні онтологічної моделі були використані такі види класифікації методів візуалізації даних.

Класифікація за типом даних та вимірами: візуалізації класифікуються на основі характеру та кількості представлених вимірів даних, як-от одновимірні, двовимірні та багатовимірні візуалізації. Цей підхід враховує, чи представляє візуалізація одну, дві чи кілька змінних або атрибутів.

Класифікація за завданням або метою візуалізації: методи класифікуються за аналітичною або комунікаційною метою, як-от порівняння, розподіл, склад, зв'язок або географічне картування. Вибір залежить від того, який тип розуміння користувач хоче отримати або показати.

Класифікація за структурою даних або ієрархією: візуалізації групуються відповідно до базової структури даних, наприклад, ієрархічні дані, візуалізовані деревоподібними або радіальними деревами, проти мережевих даних, візуалізованих діаграмами вузлів-зв'язків.

Класифікація за типами діаграм або графіків: практичний підхід сортує методи візуалізації за типами діаграм, як-от стовпчасті діаграми, гістограми, кругові діаграми, діаграми розсіювання, теплові карти, лінійні графіки, площинні діаграми та більш спеціалізовані форми, як-от бульбашкові діаграми та хороплети.

Класифікація за методами класифікації даних для візуалізації: використовувані здебільшого в географічних та статистичних візуалізаціях такі методи, як природні розриви, рівні інтервали, квантилі, логарифмічна або ручна класифікація, впорядковують дані в класи, які впливають на те, як візуалізація відображає шаблони або групи.

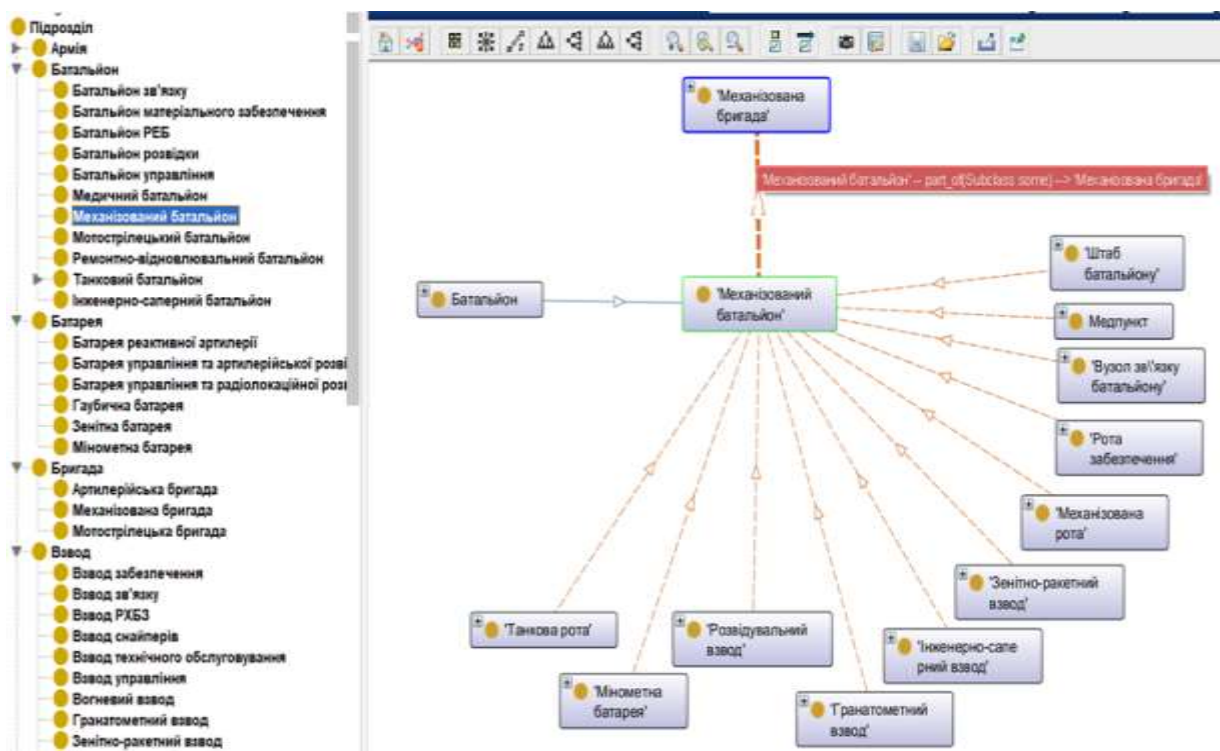


Рисунок 8 — Візуалізація онтологічної моделі для дослідження сценаріїв прийняття управлінських рішень

На рис. 8 представлено фрагмент онтології, яка відображає модель предметної області. Наприклад, «Механізований батальйон» є підкласом класу «Батальйон» і входить до складу механізованої бригади.

Візуалізація онтологічної моделі забезпечує підвищення когнітивної сприйнятливості складних структур знань шляхом графічного представлення семантичних зв'язків, ієрархій та властивостей, що сприяє ефективнішому аналізу, виявленню неявних залежностей та узгодженню концептуальних рамок між учасниками когнітивного процесу. Вона слугує інструментом формалізації знань, полегшує процес прийняття рішень за рахунок наочності причинно-наслідкових зв'язків, а також спрощує інтеграцію онтологій у інформаційні системи через підтримку стандартних форматів подання даних, як-от RDF або OWL.

5. Оцінка візуальних форм

Для аналізу ефективності засобів візуалізації в ІСОУ пропонується використовувати метод оцінки візуальних форм, який дозволяє вирахувати значення їхніх характеристик, базуючись на понятті ентропії [14].

Ентропію $H(X)$ можна розглядати як середню невизначеність у випадковій змінній X або мінімальну кількість бітів, яка в середньому потрібна для опису цієї змінної. Випадкова змінна X приймає скінченну кількість значень $x_1, x_2, \dots, x_m$, кожне з імовірністю $p(x_i)$. p називається функцією маси ймовірності і може бути використана для опису ймовірнісних атрибутів різноманітних типів даних, як-от екземпляри даних у точці вибірки, усі набори даних у просторі даних і всі візуальні представлення, що використовуються в програмі.

Під ємністю візуалізації, $V(G)$, визначимо середній обсяг інформації, який дисплей може відобразити для статичного графічного відображення G . Для деякого X маємо $V(G) = \min(V(G(X)), H(X))$.

Визначимо ємність дисплею, D , яка містить кількість пікселів на дисплеї та глибину кожного пікселя. D не залежить від простору даних X та графічного відображення G . Вона вказує на максимальну ентропію, яку можна досягти будь-яким графічним відображенням для даного дисплею.

Звідси отримуємо такі показники.

Коефіцієнт візуального відображення:

$$M = \frac{V(G)}{H(X)}.$$

Розрахунок даного коефіцієнта дозволяє визначити, наскільки зручно, зрозуміло та привабливо сприймається контент користувачем. Його балансування дозволяє зберегти пропорційність та чіткість візуального представлення даних, запобігаючи спотворенню, яке може призвести до помилкової інтерпретації.

Коефіцієнт втрат інформації:

$$L = \frac{\max(H(X) - V(G), 0)}{H(X)}.$$

Причиною зростання цієї величини є надмірна складність, слабка структурованість та неочевидна навігація. Як наслідок, користувач може неправильно інтерпретувати значення інформації. Оскільки будь-яка втрата інформації під час візуалізації загрожує точності та надійності висновків, отриманих у процесі аналізу даних, очевидно, слід намагатися його мінімізувати.

Коефіцієнт використання площі дисплея:

$$U = \frac{V(G)}{D}.$$

Коефіцієнт відображає ефективність розміщення контенту на екрані, визначаючи співвідношення корисного інформаційного простору до загальної доступної площі. Погане використання доступної площі може призвести до захащених візуальних елементів або ж, навпаки, до марнування простору, що зменшує здатність користувача ІСОУ зосередитися на ключових ділянках даних. Зрештою, його оптимізація дозволить гарантувати, що кожен піксель сприяє кращому розумінню.

Оптимізація цих коефіцієнтів перетворює інструменти візуалізації на ключову складову візуальної аналітики ІСОУ, поєднуючи геометричну строгість з інтуїтивною зрозумілістю, що дозволяє з більшою впевненістю виробляти обґрунтованіші рішення у стисліші терміни.

5. Перспективні напрями використання візуальної аналітики

На основі вищенаведеного можна зробити висновок, що перспективними є такі методи, які можуть бути використані для візуалізації та візуальної аналітики у організаційних системах військового призначення [14]:

- діаграми;
- дашборди;
- інтерактивні звіти;
- географічна візуалізація;
- теплові карти;
- штучний інтелект;
- віртуальна реальність.

Сучасні тенденції розвитку засобів штучного інтелекту дозволяють припустити суттєве розширення можливостей засобів візуалізації та візуальної аналітики вже у найближчому майбутньому.

Штучний інтелект відіграє ключову роль в обробці даних, дозволяючи аналізувати та інтерпретувати величезні обсяги інформації, які неможливо досягнути традиційними методами. Штучний інтелект надає інструменти для автоматизації складних процесів, виявлення прихованих закономірностей, прогнозування майбутніх тенденцій та прийняття обґрунтованих рішень на основі даних.

Алгоритми машинного навчання можуть автоматично виявляти та виправляти механічні помилки, неточності та пропущені значення у даних, що значно покращує якість аналізу.

Штучний інтелект дозволяє об'єднувати дані з різних джерел (бази даних, вебсайти, соціальні мережі тощо) в єдину структуру, що забезпечує більш повний та комплексний аналіз.

Генеративні моделі штучного інтелекту уже нині здатні генерувати віртуальні сценарії, місцевість, сили та засоби противника [15]. Штучний інтелект дозволяє оптимізувати маршрути доставки, прогнозувати попит та керувати запасами. Це надасть змогу офіцерам створювати реалістичні симуляції і синтетичні середовища для того, щоб відпрацьовувати ухвалення оперативних рішень, планування операції і бойові стратегії. Крім того, штучний інтелект дозволяє військовим планувальникам швидко коригувати сценарії відповідно до розвитку подій і даних, які можуть надходити до системи з різних джерел. Ця здатність має вирішальне значення для підготовки сценаріїв для якнайширшого спектру потенційних бойових ситуацій.

Віртуальна реальність надає інструменти для аналізу великих даних (Big Data), дозволяючи дослідникам занурюватися в дані та досліджувати їх у тривимірному просторі. Це

забезпечує більш інтуїтивне та ефективне розуміння складних наборів даних, виявлення закономірностей та аномалій, які можуть бути непомітними при використанні традиційних методів візуалізації на екрані комп'ютера.

Зокрема, віртуальна реальність дозволяє перетворювати абстрактні дані на тривимірні об'єкти, які можна досліджувати з різних кутів та відстаней. Наприклад, це дозволить аналізувати траєкторії пересування повітряних цілей у тривимірному просторі.

Також віртуальна реальність дозволяє відображати складні мережі, як-от логістичні та транспортні системи, у тривимірному просторі, що полегшує розуміння їхньої структури та взаємозв'язків між елементами.

Віртуальна реальність дозволяє створювати інтерактивні 3D-карти, на яких можна відображати різноманітні дані, як-от дані про сили та засоби як власні, так і противника, рельєф, об'єкти інфраструктури тощо.

Що важливо для штабної роботи — віртуальна реальність дозволяє кільком користувачам одночасно досліджувати дані в спільному віртуальному середовищі, що сприяє обміну ідеями та більш ефективному вирішенню проблем.

Дослідження ефективності методів візуалізації виконувались в Інституті проблем реєстрації інформації НАН України, у рамках робіт із розроблення моделюючого комплексу для створення автоматизованої системи управління силами та засобами Збройних сил України. Заплановані роботи передбачають вивчення можливостей розробки платформи візуальної аналітики з елементами віртуальності та штучного інтелекту для військових систем організаційного управління.

6. Висновки

У статті розглянуті питання вибору методів та засобів візуалізації для реалізації процесу візуальної аналітики, що є в сучасних інформаційних системах організаційного управління, включаючи ІСОУ військового призначення.

Показано, що в сучасних інформаційних системах організаційного управління засоби візуалізації, як-от інтерактивні дашборди, просторово-часові діаграми та тематичні теплові мапи, сприяють зниженню навантаження та виявленню ключових тенденцій, аномалій і прихованих зв'язків, які можуть залишитись не поміченими при використанні табличного чи текстового представлення інформації.

Для перевірки ефективності засобів візуалізації в ІСОУ запропоновано використовувати метод оцінки візуальних форм, який дозволяє вирахувати значення їхніх характеристик, базуючись на понятті ентропії. Оптимізація коефіцієнта візуального відображення, коефіцієнта втрат інформації та коефіцієнта використання площі відображення є важливою в комп'ютерній візуалізації, оскільки ці показники безпосередньо впливають на ефективність розуміння даних користувачами. Тому результатом такої оптимізації буде перетворення інструментів візуалізації на ключову складову візуальної аналітики, що дозволить покращити вироблення рішень в ІСОУ.

Інтеграція візуально-аналітичних засобів до технології підтримки прийняття рішень у складі ІСОУ дозволяє вдосконалити порівняння сценаріїв, детальний аналіз факторів середовища та маніпуляцію симуляційними результатами. Аналітики ІСОУ отримують можливість здійснювати перевірку гіпотез, моделювання альтернативних траєкторій розвитку та комунікацію між різними рівнями організаційних структур. Це стає важливим чинником для навігації в умовах невизначеності, нелінійної динаміки та міждисциплінарної складності, особливо у випадках аналізу критичних інфраструктур, кіберфізичних систем або військових дій операцій. Отже, ретельно спроектовані засоби візуалізації не лише забезпечують інформаційну підтримку рішень, а й стимулюють системне осмислення, посилюють інтеграцію аналітичних компонентів і підвищують загальну ефективність ІСОУ.

У подальшому планується дослідження методів поєднання візуальної аналітики із засобами штучного інтелекту, яке має сприяти підвищенню ефективності, точності й гнучкості стратегій, що особливо важливо у ІСОУ військового призначення. Це дозволить аналізувати великі обсяги даних щодо сил противника, місцевості, ресурсів та багатьох інших факторів, моделювати багатоваріантні сценарії розвитку подій і пропонувати оптимальні рішення на основі поєднання історичних даних та даних, що надходять у режимі реального часу.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Додонов О.Г. Комп'ютерне моделювання процесів організаційного управління (за матеріалами наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 4 листопада 2015 року). *Вісник Національної академії наук України*. 2016. № 1. С. 69–77.
2. Додонов О.Г., Путятін В.Г., Куценко С.А., Ланде Д.В. Побудова узагальненої структури інформаційної системи організаційного управління. *Математичні машини і системи*. 2017. № 3. С. 3–22.
3. Додонов О.Г., Горбачик О.С., Кузнєцова М.Г. Підвищення безпеки критичних інфраструктур засобами автоматизованих систем організаційного управління. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2022. № 24 (1). С. 74–81.
4. Додонов О.Г., Додонов В.О., Кузьмичов А.І. Візуальна підтримка оптимальних рішень у просторових мережах. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2017. Т. 19, № 4. С. 16–25.
5. Friendly M., Denis D.J. Milestones in the history of thematic cartography, statistical graphics and data visualization. 2001. N 32. P. 13. URL: <http://www.datavis.ca/milestones>.
6. Lu Y., Garcia R., Hansen B., Gleicher M., Maciejewski R. The state-of-the-art in predictive visual analytics. *Computer Graphics Forum*. 2017. Vol. 36, N 3. P. 539–562.
7. Islam M.R., Akter S., Islam L., Razzak I., Wang X., Xu G. Strategies for evaluating visual analytics systems: A systematic review and new perspectives. *Information Visualization*. 2024. N 23 (1). P. 84–101.
8. Aigner W., Miksch S., Müller W., Schumann H., Tominski C. Visual methods for analyzing time-oriented data. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*. 2007. N 14 (1). P. 47–60.
9. Cui W. Visual analytics: A comprehensive overview. *IEEE access*. 2019. N 7. P. 81555–81573.
10. Janlov M., Salonen T., Seppanen H., Virrantaus K. Developing military situation picture by spatial analysis and visualization. Helsinki University of Technology, 2005. URL: <https://files.core.ac.uk/download/pdf/80701782.pdf>.
11. Jacobs T., Butler S. Collaborative visualization for military planning. *Java/Jini Technologies*. 2001. Vol. 4521. P. 42–51.
12. Tay L., Ng V., Malik A., Zhang J., Chae J., Ebert D.S., Kern M. Big data visualizations in organizational science. *Organizational Research Methods*. 2018. N 21 (3). P. 660–688.
13. Chen C., Song M. Visualizing a field of research: A methodology of systematic scientometric reviews. *PloS one*. 2019. N 14 (10). e0223994.
14. Бойченко А.В. Використання візуальної аналітики для підтримки прийняття рішень у військовій сфері. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2023. № 22 (2). С. 97–106.
15. Бойченко А.В., Сенченко В.Р. Підхід до моделювання геопросторових каскадних ефектів критичних інфраструктур. *Інформаційні технології та безпека*. 2023. № 56 (7). С. 35–40.

Стаття надійшла до редакції 21.10.2025