

Н. В. Шаронова¹, Г. А. Плехова², С. М. Неронов³, М. В. Костікова⁴, Д. О. Плехов⁵¹НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна, nvsharonova@ukr.net, ORCID iD: 0009-0004-9878-1761²ХНАДУ, м. Харків, Україна, plehovaanna1@gmail.com, ORCID iD: 0000-0002-6912-6520³ХНАДУ, м. Харків, Україна, sernikner@gmail.com, ORCID iD: 0000-0003-2381-1271⁴ХНАДУ, м. Харків, Україна, kmv_topaz@ukr.net, ORCID iD: 0000-0001-5197-7389⁵ХНАДУ, м. Харків, Україна, plehov@gmail.com, ORCID iD: 0009-0004-7873-1716

СПОСІБ ІНТЕГРАЦІЇ РІЗНОРІДНИХ ДАНИХ В СИСТЕМІ ГЕОПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ

У роботі запропонований спосіб інтеграції різномірних даних в системі геопросторового аналізу, який полягає в тому, що система геопросторового аналізу проводить об'єднання даних, що надходять на її вхід з метою отримання більш достовірних і точних даних про місце розташування об'єкта аналізу, його швидкість, атрибутивну (додаткову) інформацію та ідентичність певному класу, виду або типу, після чого проводиться моделювання зв'язків об'єкта аналізу з іншими об'єктами або подіями в контексті його оточуючого середовища, а після чого проводиться формування узагальненої оцінки стану об'єкта аналізу за рахунок відстеження телеметричних та метаданих. Особливістю способу є те, що система геопросторового аналізу на етапі формування узагальненої оцінки стану об'єкта аналізу разом з визначенням умов використовує удосконалену процедуру прогнозування зміни стану об'єкту аналізу, сутність якої полягає в тому, що спочатку система геопросторового аналізу будує авторегресивну модель прогнозування на основі інформаційного критерію Акаїке, а потім системою геопросторового аналізу відбувається порівняння отриманих значень помилки прогнозування з еталонними. Технічний ефект від використання зазначеного способу полягає в підвищенні ефективності застосування системи геопросторового аналізу за рахунок підвищення точності прогнозування зміни стану об'єкту аналізу.

ГЕОПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ, РІЗНОРІДНІ ДАНІ, СПОСІБ ІНТЕГРАЦІЇ, СТАН ОБ'ЄКТУ АНАЛІЗУ, ПРОГНОЗУВАННЯ

N. V. Sharonova, G. A. Pliekhova, S. M. Neronov, M. V. Kostikova, D. O. Pliekhov. Method of integration of various data in the geospatial analysis system. The paper proposes a method of integrating disparate data in the geospatial analysis system, which consists in the fact that the geospatial analysis system combines the data received at its input in order to obtain more reliable and accurate data about the location of the object of analysis, its speed, attributive (additional) information and identity to a certain class, species or type, after which the analysis object's connections with other objects or events in the context of its surrounding environment are modeled, and then a generalized assessment of the state of the analysis object is formed by tracking telemetry and metadata. A feature of the method is that the geospatial analysis system at the stage of forming a generalized assessment of the state of the object of analysis together with the definition of conditions uses an improved procedure for forecasting changes in the state of the object of analysis, the essence of which is that the geospatial analysis system first builds an autoregressive forecasting model based on the Akaike information criterion, and then the geospatial analysis system compares the received forecasting error values with the reference values. The technical effect of using the specified method is to increase the efficiency of the geospatial analysis system by increasing the accuracy of forecasting the change in the state of the object of analysis.

GEOSPATIAL ANALYSIS, MISCELLANEOUS DATA, METHOD OF INTEGRATION, STATE OF THE OBJECT OF ANALYSIS, PROGNOSTICATION

Вступ

У сучасному світі геоінформаційні технології (ГІТ) є невід'ємною складовою багатьох галузей, що забезпечують ефективне управління просторовими даними, їх аналіз та візуалізацію. Вони широко застосовуються у сфері державного управління різними рівнями, енергетикою, транспортним сектором, аграрним виробництвом, землеустроєм, будівництвом та раціональним використанням природних ресурсів. Використання ГІТ сприяє оптимізації процесів, підвищує точність прийняття управлінських рішень, що, своєю чергою, забезпечує сталий розвиток галузей економіки та суспільства в цілому.

З кожним роком потреба в ГІТ невпинно зростає, що обумовлено розвитком цифрових технологій,

зростанням обсягів простору даних, глобальними викликами, такими як урбанізація, зміни клімату, екологічні катастрофи, демографічні зміни, а також забезпечення підвищення рівня безпеки в умовах політичної нестабільності. Геоінформаційні системи (ГІС) забезпечують інтеграцію та аналіз великої кількості даних, що дозволяє оперативно реагувати на критичні ситуації, планувати та прогнозувати майбутні зміни в різних сферах діяльності.

Особливі актуальності ГІТ набувають у сфері національної безпеки та оборони, де вони використовують для оперативного аналізу ситуації, картографування загроз, моделювання сценаріїв розвитку подій, моніторингу території, управління військовими операціями та планування оборонних заходів.

Автоматизовані системи геопросторового аналізу позбавляють від комплексної оцінки оперативної обстановки, що є ключовим фактором у процесі прийняття стратегічних та тактичних рішень.

В Україні вже впроваджуються ГІТ у структурах, що забезпечують завдання у сфері національної безпеки та оборони. Таким, вони застосовуються у військових операціях, розвідці, управлінні кризовими ситуаціями, забезпеченні кібербезпеки, прикордонному контролі та боротьбі з терористичними загрозами. Завдяки впровадженню сучасних геоінформаційних розробок вдосконалені процеси управління оборонними ресурсами, створений ефективний моніторинг території, аналізуються ризики та моделюється можливість сценаріїв розвитку подій у реальному масштабі.

У сфері національної безпеки ГІТ також виконують важливу роль у забезпеченні екологічної безпеки, управління природними ресурсами, протидії техногенним катастрофам та стихійним лихам. Геопросторові дані застосовуються для оцінки ризиків, розробки превентивних заходів та координації дій державних органів у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

В Україні існує нормативно-правова база, що регулює використання ГІТ та геопросторових даних. Однак, у контексті стрімкого розвитку технологій та змін у безпековому середовищі, необхідним є подальше вдосконалення законодавства, розширення можливостей використання ГІТ на державному рівні, забезпечення інтеграції різних систем та розширення міжнародного співробітництва у сфері геоінформаційних технологій.

Таким чином, геоінформаційні технології відіграють стратегічну роль у багатьох сферах суспільного життя, а їх впровадження у сферу національної безпеки та оборони є вкрай актуальним у сучасних умовах [1-5]. Розвиток та удосконалення ГІТ дозволяють підвищити ефективність управлінських рішень, підвищити рівень ситуаційної обізнаності [6-10].

Виклад основного матеріалу

Відомий спосіб обробки різномірних даних в системі геопросторового аналізу, сутність якого полягає в послідовному виконанні процедур попередньої обробки інформації, уточнення стану об'єкту, який підлягає аналізу, уточнення оперативної обстановки, уточнення загроз та уточнення процесу обробки різномірних даних в системі геопросторового аналізу [11].

Недоліком зазначеного способу є відсутність можливості прогнозування стану об'єкту аналізу.

Найбільш близьким до способу, що пропонується, є спосіб прогнозування сигнальної обстановки [12], при якому пристроєм обробки сигналів засобу радіозв'язку вибирається мінімально необхідний

масив вибірових даних, після чого визначається порядок авторегресивної моделі, далі по навчальній частині вибірки методом Берга настраюються коефіцієнти авторегресії, після чого обчислюється значення величини питомої інформаційної неузгодженості та відбувається обчислення дисперсій і величини інформаційної неузгодженості.

Недоліком способу-прототипу є неможливість проводити прогнозування динаміки зміни різномірних даних, що не дозволяє проводити багатопараметричну оцінку стану об'єкту аналізу.

Тому технічним завданням, що вирішує запропонований спосіб інтеграції різномірних даних в системі геопросторового аналізу, є поєднання переваг прототипу та аналогів, з усуненням їхніх недоліків.

Спосіб інтеграції різномірних даних в системі геопросторового аналізу передбачає обробку та синтез інформації, що надходить з різних джерел, з метою підвищення достовірності, точності та інформативності отриманих результатів. Основною метою способу є формування комплексної оцінки стану об'єкта аналізу на основі просторових, часових та атрибутивних характеристик.

Вхідні дані надходять до системи геопросторового аналізу з різномірних джерел, таких як супутникові знімки, дані від GPS-трекерів, сенсорні системи, бази даних обліку, відомості з картографічних сервісів, результати дистанційного зондування Землі тощо. З огляду на неоднорідність цих даних, проводиться їх попередня обробка, що включає нормалізацію, фільтрацію шумів та корекцію похибок.

Оскільки дані можуть мати різні формати, структуру та рівні точності, система виконує їх гармонізацію, що включає приведення їх до єдиної системи координат, усунення дублювання та синхронізацію часових параметрів. В результаті формується єдиний узгоджений набір даних, який можна використовувати для подальшого аналізу.

На етапі ідентифікації та класифікації об'єкта здійснюється аналіз характеристик об'єкта, включаючи його місце розташування, швидкість руху (у разі динамічного об'єкта), функціональне призначення та додаткові параметри, отримані з атрибутивної інформації. Визначається клас, вид або тип об'єкта відповідно до заданих критеріїв та довідкових даних.

Система геопросторового аналізу виконує просторове моделювання, визначаючи взаємозв'язки об'єкта з іншими об'єктами, подіями чи природними факторами. Це дозволяє оцінити його роль у загальній структурі аналізованої території або системи та прогнозувати можливі зміни або ризики.

Для оцінки поточного стану об'єкта система аналізує сукупність телеметричних показників, метаданих та часових рядів, що дозволяє отримати всебічну характеристику об'єкта в динаміці.

Відмінною особливістю способу є застосування удосконаленої процедури прогнозування змін стану об'єкта аналізу. Спочатку система геопросторового аналізу будує авторегресивну модель прогнозування, використовуючи інформаційний критерій Акаїке (AIC) для вибору оптимальної структури моделі. Це дозволяє мінімізувати похибку прогнозування та забезпечити найбільш адекватне відображення трендів та циклічних змін.

Після побудови моделі система проводить порівняння отриманих значень прогнозних помилок з еталонними показниками, що дає змогу оцінити точність прогнозу та при необхідності скоригувати модель або використати додаткові методи регресії та машинного навчання.

На фінальному етапі проводиться аналіз отриманих прогнозних даних та формуються рекомендації щодо управлінських рішень. Ця інформація може використовуватися для моніторингу природних та техногенних процесів, оптимізації логістичних маршрутів, оцінки екологічного стану територій, управління міською інфраструктурою та інших завдань.

Пояснимо більш докладно сутність заявленого способу.

На етапі проведення збору відомостей від різних джерел.

Вхідними даними (джерелами) для зазначеного способу є зображення, що отримані в різних діапазонах електромагнітного спектру і з різних платформ, геопросторова інформація, тематичні бази даних, апіорна інформація, а також інші допоміжні відомості.

Отримані відомості фільтруються та проводиться їх попередня обробка, до якої належать процедури підвищення відношення сигнал/шум, виявлення та виділення характерних ознак об'єкта аналізу або явища, яке становить інтерес, а також алгоритмів їх просторово-часового покращення. Крім того, під час зазначеного етапу визначається тип даних і пріоритет їх (порядок) подальшої обробки, виконується класифікація і групування даних за певними критеріями та формуються сигнатури об'єкта аналізу.

Під час проведення етапу уточнення об'єкта аналізу виконуються операції приведення даних до єдиної системи координат та виміру, об'єднання (використовуються кореляційні методи), відстеження попереднього та прогнозування наступного місцеположення об'єкта аналізу та його ідентифікація на базі класифікаційних методів. Даний етап характеризується застосуванням чисельних методів обробки даних, до яких можна віднести методи прогнозування та розпізнавання образів. Головною задачею є уточнена оцінка типу або виду об'єкта аналізу, його місця розташування, швидкості, прискорення ракет, кораблів, літаків, живої та рухомої сили противника,

за рахунок поєднання та сумісного використання параметричної, ідентифікаційної та координатної інформації.

Впродовж етапу уточнення об'єкта аналізу виконуються чотири основних функції:

- трансформація даних до єдиної системи координат та виміру;
- деталізація та забезпечення додаткових можливостей щодо дослідження місцеположення об'єкта аналізу, його кінематичних та динамічних характеристик, а також атрибутивних даних;
- визначення даних для проведення статистичних розрахунків;
- проведення класифікації або ідентифікації об'єкта аналізу.

Під час проведення етапу уточнення обстановки проводиться пошук концептуального опису взаємозв'язків між об'єктами та подіями в районі їх розташування. Головною метою даного етапу є оновлення інформації про об'єкти аналізу для визначення цілевказівок військам у випадку проведення військової операції.

Під час проведення етапу формування узагальненої оцінки стану об'єкта аналізу на основі апіорної інформації проводиться прогнозування розвитку стану об'єкта аналізу, надання висновків стосовно поточного стану об'єкта аналізу, середовища функціонування об'єкта аналізу, а також кількості об'єктів, з якими встановлена взаємодія.

Розглянемо детальніше сутність прогнозування стану об'єкта аналізу:

- системою геопросторового аналізу обирається мінімально необхідний масив вибірових даних;
- визначається порядок авторегресивної моделі;
- по навчальній частині вибірки методом Берга настроюються коефіцієнти авторегресії.

Коротко опишемо сутність методу Бергу (метод максимальної ентропії). Його центральним ланцюгом є решітчастий фільтр лінійного передбачення M -го порядку. Динаміка фільтру описується наступним рекурентним виразом

$$\begin{aligned} z_m^f(n) &= z_{m-1}^f(n) + \rho_m z_{m-1}^b(n-1), \\ z_m^b(n) &= z_{m-1}^b(n) + \rho_m z_{m-1}^f(n), \quad m=1, \dots, M, \end{aligned} \quad (1)$$

де $\rho_1, \dots, \rho_M$ — коефіцієнти відбиття решітчастого фільтру; $z_i^f(n)$, $z_i^b(n)$, $i=1, \dots, M$ — значення помилок лінійного передбачення вперед та назад відповідно. При цьому початкові значення помилок лінійного передбачення (помилки нульового порядку) прирівнюються самому сигналу $z_0^f(n) = z_0^b(n) = x(n)$.

До переваг решітчастого фільтру можна віднести малу чутливість до шуму округлення та їх флуктуаціям (випадковим збуренням) значень коефіцієнтів.

Крім того, помилки передбачення назад на виході кожної ступені взаємно ортогональні. Ідея алгоритму

Берга зводиться до мінімізації арифметичного середнього квадрату помилок лінійного передбачення вперед та назад при кожному значенні порядку m .

$$\sigma_m^2 = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{N} \sum_{n=m+1}^N |z_m^f(n)|^2 + \frac{1}{N} \sum_{n=m+1}^N |z_m^b(n)|^2 \right]. \quad (2)$$

Результатом мінімізації є наступний вираз для оцінки коефіцієнтів відбиття по методу найменших квадратів:

$$\rho_m = \frac{-2 \sum_{n=m+1}^N z_{m-1}^f(n) z_{m-1}^b(n-1)}{\sum_{n=m+1}^N |z_{m-1}^f(n)|^2 + \sum_{n=m+1}^N |z_{m-1}^b(n-1)|^2}. \quad (3)$$

Дана оцінка коефіцієнта відбиття представляє собою гармонічне середнє коефіцієнтів частотної кореляції помилок передбачення вперед та назад.

Після визначення коефіцієнтів відбиття використовуємо алгоритм Левінсона, що зв'язує коефіцієнти авторегресії порядку m з коефіцієнтами авторегресії порядку $m-1$:

$$a_m(k) = a_{m-1}(k) + \rho_m a_{m-1}(m-k), \quad 1 \leq k \leq m-1,$$

причому, по властивостям коефіцієнтів авторегресії нульовий коефіцієнт завжди рівний одиниці. Як висновок, можемо записати формулу узгодження дисперсії вхідного сигналу $X(t)$ та породжуючого шуму $\eta(t)$

$$\sigma_\eta^2 = \prod_{m=1}^M (1 - \rho_m^2) \sigma_x^2. \quad (4)$$

Сукупність виразів зазначених виразів складають метод Берга.

— обчислюється значення величини питомої інформаційної неузгодженості та відбувається обчислення дисперсій і величини інформаційної неузгодженості.

Впродовж зазначеного етапу проводиться всебічний аналіз оперативної обстановки, розглядається та оцінюється рівень загроз, які можуть вплинути на успішність виконання поставлених завдань. Це включає виявлення потенційних загроз з боку противника, оцінку можливих ризиків для власних сил, а також визначення заходів із їхнього попередження. Одночасно з цим здійснюється розробка превентивних заходів, що сприяють зниженню ризиків і мінімізації можливих втрат.

Ключовим завданням цього етапу є своєчасне виявлення та ідентифікація загроз, що можуть вплинути на результат проведення військової операції. Це передбачає оцінку противника, його можливих намірів, аналіз слабких місць у власних силах та розробку стратегії протидії. Важливим аспектом є визначення пріоритетних цілей для засобів вогневого ураження, що забезпечує ефективне використання наявних ресурсів для нейтралізації загроз у критичних точках операційного простору.

Наступним важливим кроком є етап уточнення процесу обробки, який спрямований на підвищення ефективності збору та аналізу інформації. Він передбачає безперервне спостереження за продуктивністю системи в реальному масштабі часу, що дає змогу оперативно реагувати на зміни в бойовій обстановці. У рамках цього процесу здійснюється перерозподіл джерел відомостей для забезпечення своєчасного надходження актуальної інформації, необхідної для ухвалення рішень.

Даний етап має на меті:

- оптимізацію процесів обробки даних шляхом адаптації алгоритмів аналізу до поточної ситуації;
- зниження затримок у передачі критичної інформації та її достовірну оцінку;
- удосконалення методів обміну розвідувальними даними між підрозділами та інтеграцію різних систем спостереження;
- визначення можливих точок перегруповання або коригування напрямку дій залежно від змін у бойовій ситуації.

Таким чином, даний етап відіграє вирішальну роль у забезпеченні ефективності управління військовими діями, оскільки дозволяє своєчасно виявляти загрози, коригувати плани та забезпечувати адекватну реакцію на зміну обстановки.

Отже, якщо узагальнити наведений вище матеріал, то необхідно відмітити, що використання технологічного ланцюга, який притаманний для геопросторового аналізу, а також даних у існуючому загальному алгоритмі оцінки об'єкту аналізу є доцільним і актуальним.

Висновки

Технічний ефект від використання зазначеного способу полягає у підвищенні ефективності застосування системи геопросторового аналізу за рахунок підвищення точності прогнозування зміни стану об'єкту аналізу. Зокрема:

- підвищена точність аналізу — за рахунок комплексного об'єднання різномірних даних та використання математичних моделей прогнозування;
- гнучкість та адаптивність — можливість використання способу в різних сферах, таких як логістика, екологія, транспорт, безпека, містобудування тощо;
- автоматизоване моделювання — мінімізація впливу людського фактору при прийнятті рішень завдяки алгоритмічному аналізу та прогнозуванню;
- зниження ризиків та витрат — можливість завчасного реагування на потенційні зміни в середовищі або стані об'єкта.

Список літератури

- [1] Романюк В. А. Архітектура системи оперативного управління тактичними радіомережами / Романюк В. А. // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ «КПІ». — 2009. — № 3. — С. 70-76.
- [2] Shyshatskyi, A., Dmytriieva, O., Lytvynenko, O., Borysov, I., Vakulenko, Y., Mukashev, T., Mordovtsev, O., Kashkevich, S., Lyashenko, A., Velychko, V. Development of a method for assessing the state of dynamic objects using a combined swarm algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2024, Vol. 3, No. 4 (129), pp. 44-54. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304131>.
- [3] Mahdi, Q. A., Shyshatskyi, A., Voznytsia, A., Plekhova, G., Shostak, S., Tulenko, I., Semko, R., Zheliezniak, D., Momit, A., Sova, M. (2025). Development of a method for increasing the efficiency of processing different types of data in organizational and technical systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (4 (134)), 23-31. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.325102>.
- [4] A. Koshlan, O. Salnikova, M. Chekhovska, R. Zhyvotovskiy, Y. Prokopenko, T. Hurskyi, A. Yefymenko, Y. Kalashnikov, S. Petruk, A. Shyshatskyi. Development of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geoinformation system in conditions of diversity and uncertainty of data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 5. No. 9 (101). 2019. pp. 35-45. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180197>.
- [5] Сніцаренко, П. М., Саричев, Ю. А., Зубков, В. П., Піщанський, Ю. А. (2022). Методичний підхід до управління ризиками безпеки інформації як складової забезпечення інформаційної безпеки держави. Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняховського, 2 (75), 47-55. URL: <http://znp-cvds.nuou.org.ua/article/view/266779/262799>.
- [6] Плехова Г. А., Неронов С. М., Костікова М. В., Кашкевич С. О. Удосконалення моделі безпечної маршрутизації в програмно-конфігурованих мережах // Г. А. Плехова, С. М. Неронов, М. В. Костікова, С. О. Кашкевич / Біоніка інтелекту, 2024, № 1 (100), С. 50-57. DOI: 10.30837/bi.2024.1(100).07. URL: <http://bionics.nure.ua/article/view/314707/305583>.
- [7] Плехова Г. А., Костікова М. В., Неронов С. М., Багмут Р. Б., Яценко О. О. Пристрій утворення маршрутів передачі інформації в радіомережах спеціального призначення із можливістю самоорганізації // Г. А. Плехова, М. В. Костікова, С. М. Неронов, Р. Б. Багмут, О. О. Яценко / Біоніка інтелекту, 2024, № 2 (101), С. 30-33.
- [8] Kashkevich, S., Litvinenko, O., Shyshatskyi, A., Salnyk, S., & Velychko, V. (2024). The method of self-organization of information networks in the conditions of the complex influence of destabilizing factors. *Advanced Information Systems*, 8(3), 59-71. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.3.07>.
- [9] Плехова Г. А., Костікова М. В., Неронов С. М., Кашкевич С. О. Обробка різномісних даних в геоінформаційних системах за допомогою засобу ультракоткорхвильового радіозв'язку // Г. А. Плехова, М. В. Костікова, С. М. Неронов, С. О. Кашкевич / Біоніка інтелекту, 2024, № 2 (101), С. 52-55. DOI: 10.30837/bi.2024.2(101).08. URL: <http://bionics.nure.ua/article/view/322707/313061>.
- [10] Шаронова Н. В., Плехова Г. А., Костікова М. В., Неронов С. М., Кашкевич С. О. Пристрій управління ризиками інформаційної безпеки в інформаційних системах // Н. В. Шаронова, Г. А. Плехова, М. В. Костікова, С. М. Неронов, С. О. Кашкевич / Біоніка інтелекту, 2024, № 2 (101), С. 48-51. DOI: 10.30837/bi.2024.2(101).07. URL: <http://bionics.nure.ua/article/view/322702/313058>.
- [11] Подліпаєв В. О. Геопросторова розвідка, як шлях реалізації геоінформаційного підходу у комплексній обробці розвідувальної інформації. Системи обробки інформації: збірник наукових праць. — Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2013. — Вип. 5 (112). — С. 53-55. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2013_5_13.
- [12] I. Alieinykov, K. A. Thamer, Y. Zhuravskiy, O. Sova, N. Smirnova, R. Zhyvotovskiy, S. Hatsenko, S. Petruk, R. Pikul, A. Shyshatskyi. Development of a method of fuzzy evaluation of information and analytical support of strategic management. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 6. No. 2 (102). 2019. pp. 16-27. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184394>.

Надійшла до редакції 05.03.2025