

Симонов Д.І.

*Ph.D, молодший науковий співробітник,
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова
Національної академії наук України
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6648-4736>*

DOI: <https://doi.org/10.36059/978-966-397-448-4-26>

РОЛЬ СИТУАЦІЙНИХ ЦЕНТРІВ У ПРОТИДІЇ ЗАБРУДНЕННЮ ТЕРИТОРІЙ

Проблема забруднення територій набула особливої гостроти в умовах військових дій, які стали причиною масштабних руйнувань екосистем, інфраструктури та соціальних структур в Україні. Наслідки бойових дій, зокрема пошкодження промислових об'єктів, хімічних підприємств, об'єктів критичної інфраструктури та складів паливно-мастильних матеріалів, призводять до утворення складних багатокомпонентних забруднень, що мажуть мати у складі хімічні, радіаційні, біологічні та фізичні забруднювачі. Ці загрози підсилюються знищенням природних екосистем, деградації ґрунтів та забруднення водних ресурсів. Зі свого боку, наслідки техногенних катастроф та військових дій ускладнюють відновлення економіки, соціальної інфраструктури та нормалізацію екологічної ситуації. Створення інноваційних підходів для моніторингу, аналізу та планування нейтралізації забруднень в умовах післявоєнного відновлення України – стає надзвичайно актуальним питання сьогодення.

Динамічний характер змін екологічного стану територій ускладнює планування відновлювальних робіт і вимагає адаптивних інструментів управління [1]. У цьому контексті особливу роль відіграють «ситуаційні центри» (web-платформи) – інтегровані системи, які поєднують можливості дистанційного зондування, штучного інтелекту, моделювання процесів і автоматизацію прийняття рішень [2]. Такі платформи дозволяють оперативно збирати, аналізувати та обробляти дані про рівень і природу забруднення, прогнозувати їхній вплив на екосистему і суспільство, та формувати рекомендації для ефективної нейтралізації наслідків.

Розробка «ситуаційних центрів» вимагає синергії поєднання комплексних математичних моделей, здатних відображати взаємодію різних факторів і підсистем, та ефективних інформаційно-аналітичних інструментів, які забезпечують оперативну обробку даних, виявлення закономірностей, прогнозування сценаріїв розвитку подій та підтримку прийняття рішень у реальному часі [3].

Математичні моделі функціонування багатоскладових природотехнічних систем, що розробляються Інститутом кібернетики імені В.М. Глушкова як складова компонентів «ситуаційних центрів», дозволяють описати поширення забруднювачів, їх вплив на екосистему та соціально-економічні об'єкти. Для цього використовуються диференціальні рівняння, що враховують фізичні, хімічні та біологічні процеси. Наприклад, моделі поширення токсичних речовин у ґрунті та воді можуть включати параметри адсорбції, дифузії та хімічного розпаду. Вони дозволяють прогнозувати масштаб і динаміку забруднень, що є важливим для планування заходів з нейтралізації.

Розробка «ситуаційних центрів» передбачає поєднання декількох ключових аспектів:

- По-перше, йдеться про інтеграцію математичних моделей із засобами штучного інтелекту, що дозволяє реалізувати адаптивне налаштування параметрів моделей у відповідь на динамічні зміни середовища. Використання нейронних мереж, методів машинного навчання та глибокого навчання дає змогу ідентифікувати приховані закономірності у великих масивах даних, виявляти аномалії, прогнозувати складні процеси розповсюдження забруднювачів та прогнозувати ризики для довкілля та суспільства. Це дозволяє формувати рекомендації, що враховують широкий спектр взаємопов'язаних факторів.

- По-друге, важливою складовою «ситуаційних центрів» є комплексна інформаційно-аналітична система, яка забезпечує своєчасний доступ до оперативних даних, геопросторовий аналіз та інтеграцію з результатами моделювання. Застосування web-порталів та мобільних інтерфейсів надає можливість експертам та фахівцям оперативно взаємодіяти з моделями, оновлювати параметри, вносити корективи у сценарії, а також переглядати результати прогнозів у режимі реального часу. Завдяки цьому зацікавлені сторони процесу прийняття рішень мають змогу швидко реагувати на нові дані про забруднення, коригувати плани ліквідації наслідків та оптимізувати використання ресурсів.

- По-третє, «ситуаційні центри» передбачають створення імітаційних моделей, які не лише відображають складні взаємодії між природними, техногенними та соціально-економічними системами, але й дозволяють випробовувати альтернативні сценарії реагування. Завдяки цьому можна оцінювати ефективність різних стратегій нейтралізації забруднень, визначати пріоритетні напрями відновлення інфраструктури та розробляти політику сталого розвитку територій. Імітаційні моделі, побудовані на базі детальних математичних моделей процесів, дозволяють дослідити вплив певних рішень на довкілля, економічні

показники та соціальну стабільність, враховуючи невизначеність та стохастичність вхідних параметрів.

- По-четверте, застосування принципів розподіленої обробки даних дає змогу скоротити час на виконання складних чисельних розрахунків, збільшити обсяг оброблюваної інформації та підвищити точність отриманих результатів. Це особливо важливо в умовах, коли обмежений час на прийняття рішень диктує потребу в максимально оперативній обробці даних.

- Насамкінець, ключовим аспектом розробки таких «ситуаційних центрів» є міждисциплінарний підхід. Співпраця математиків, екологів, фахівців з машинного навчання, інженерів та економістів – забезпечує формування більш повних та адекватних моделей. Такий комплексний підхід дає змогу створити платформи, здатні оперативно реагувати на нові виклики та загрози, пов'язані із забрудненням територій, а також надавати обґрунтовані рекомендації для мінімізації негативних наслідків. Отже, «ситуаційні центри», що інтегрують математичне моделювання, штучний інтелект та імітаційні моделі, виступають ефективним інструментом для стратегічного планування, управління відновлювальними заходами та мінімізації екологічних і соціально-економічних ризиків у післявоєнний період. Такий підхід забезпечує гнучкість, точність та оперативність при прийнятті рішень, сприяючи стабільному відновленню та сталому розвитку постраждалих територій.

У контексті розробки «ситуаційних центрів» перспективним напрямом є розширення їх функціоналу за рахунок застосування мультиагентних систем та методів багатокритеріальної оптимізації [4]. Мультиагентний підхід дозволяє моделювати взаємодію між окремими компонентами екосистеми, інфраструктурними об'єктами та соціальними групами, кожна з яких може розглядатися як агент із власними цілями, ресурсами та обмеженнями [5]. Така декомпозиція складної системи на окремі елементи дає змогу точніше відображати реальні процеси та передбачувати нелінійні ефекти для кожного компоненту. Поєднання математичних моделей із методами оптимізації на основі евристик, генетичних алгоритмів сприяє визначенню найефективніших сценаріїв відновлення екосистем. При цьому враховуються різні «конкурентні» критерії: мінімізація екологічних збитків, скорочення економічних витрат, підвищення соціальної стійкості та стратегічна довготривала безпека тощо. Використання спеціалізованих алгоритмів машинного навчання та глибокого навчання дозволяє оновлювати модельні параметри за мірою надходження нових даних, роблячи систему більш стійкою до невизначеності та забезпечуючи оптимальний розв'язок поставленої задачі. Доповнюючи існуючі моделі мультиагентними підходами, багатокритеріальною оптимізацією та інструментами оцінки

невизначеності, можна суттєво підвищити гнучкість, надійність та ефективність «ситуаційних центрів», перетворюючи їх на дійсно інтелектуальні системи підтримки рішень у складних умовах післявоєнного відновлення.

Ситуаційні платформи є потужним інструментом для вирішення сучасних екологічних викликів, зокрема у контексті післявоєнного відновлення України. Їх інтеграція дозволяє ефективно виявляти та нейтралізувати наслідки техногенних аварій, забезпечувати моніторинг забруднень у реальному часі та підтримувати відновлення аграрного сектору шляхом оцінки стану ґрунтів. Використання математичних моделей, алгоритмів штучного інтелекту та імітаційного моделювання сприяє оперативному ухваленню рішень, знижуючи екологічні та соціально-економічні ризики. Розробка та розвиток українськими розробниками таких платформ є важливим кроком для забезпечення сталого розвитку, екологічної безпеки та економічної стабільності в Україні. Це стане основою для успішного вирішення екологічних проблем у довгостроковій перспективі.

Список використаних джерел:

1. Palagin, O. and Symonov, D. (2024) “Knowledge-oriented management systems for complex objects”, *International Scientific Technical Journal “Problems of Control and Informatics”*, 69(5), pp. 84–95. DOI: <https://doi.org/10.34229/1028-0979-2024-5-7>
2. Симонов, Д. І., & Заїка, Б. Ю. (2024). Моделювання управління складними інформаційними багатокомпонентними системами. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Математика і інформатика»*, 44(1), 168–174. DOI: [https://doi.org/10.24144/2616-7700.2024.44\(1\).168-174](https://doi.org/10.24144/2616-7700.2024.44(1).168-174)
3. D. Symonov, Y. Symonov. (2024). Integration of knowledge management processes into a dynamic organizational environment. *Artificial Intelligence*, 29(2), pp. 98–106. DOI: <https://doi.org/10.15407/jai2024.02.098>
4. Zhang, W., Yang, D., Wu, W., Peng, H., Zhang, N., Zhang, H., & Shen, X. (2021). Optimizing Federated Learning in Distributed Industrial IoT: A Multi-Agent Approach. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, PP, 1–1. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSAC.2021.3118352>
5. Fazazi, H.E., Elgarej, M., Qbadou, M., & Mansouri, K. (2021). Design of an Adaptive e-Learning System based on Multi-Agent Approach and Reinforcement Learning. *Engineering, Technology & Applied Science Research*. DOI: <https://doi.org/10.48084/ETASR.3905>