

Національна академія наук України

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту
геологічних наук*

Міністерство освіти і науки України

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«ХАІ»*

*Київський національний університет будівництва і архітектури
Національний університет «Києво-Могилянська академія»
Вінницький національний технічний університет*

Національне космічне агентство України

Національний центр «Мала академія наук України»

University of London (Royal Holloway), England

Kielce University of Technology (Politechnika Świętokrzyska), Poland

Opole University of Technology, Opole, Poland

Universita di Roma-2 «Tor Vergata», Italy

Колективна монографія за матеріалами

XXIV Міжнародної науково-практичної конференції

«Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток»

**ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ДЛЯ СТІЙКОСТІ ТА ВІДНОВЛЕННЯ**

(11–12 листопада 2025р.)

Київ–2025

ТОВ «Видавництво «Юстон»

УДК 004:502.17-047,64](082.064)

Д58

*Рекомендовано до видання Вченою Радою Інституту телекомунікацій
і глобального інформаційного простору НАН України,
протокол №16 від 30.10.2025р.*

Д58 Інформаційно-комунікаційні технології для стійкості та відновлення // Колективна монографія за матеріалами XXIV Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток» (Київ, 11-12 листопада 2025 р.) / За заг. ред. С.О. Довгого. – К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2025. – 221 с.

ISBN 978-617-8335-1.

До колективної монографії включені сучасні розробки та досягнення вчених за матеріалами XXIV Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток». Колективна монографія присвячена сучасним проблемним питанням та шляхам їх вирішення, що запропоновані провідними вченими України та представниками вченої спільноти закордонних країн.

Для фахівців науково-дослідних і промислових організацій, керівного складу територіальних громад, а також керівників обласних та центральних органів виконавчої влади, що забезпечують стійкість та відновлення відповідних одиниць адміністративного устрою держави, викладачів технічних університетів, аспірантів, студентів.

Відповідальність за наведені факти несуть автори. Науково-організаційний комітет та редакційна колегія конференції не завжди поділяє погляди авторів робіт.

УДК 004:502.17-047,64](082.064)

ISBN 978-617-8335-1.

© Інститут телекомунікацій
і глобального інформаційного простору
НАН України

Науково-організаційний комітет конференції

Голова:

Довгий С.О. Почесний директор ІТГП НАНУ, Президент НЦ «Мала академія наук України», академік НАНУ, академік НАПН України, д.ф.-м.н., професор

Члени комітету:

Бутенко О.С. Професор кафедри геоінформаційних технологій і космічного моніторингу Землі ХАІ, д.т.н., професор

Волошкіна О.С. Професор кафедри технології захисту навколишнього середовища та охорони праці КНУБА, д.т.н., проф.

Горошкова Л.А. Зав.лабораторії «Науки про Землю» Національного університету «Києво-могилянська академія», д.е.н., проф.

Греков Л.Д. Провідний науковий співробітник ІТГП НАНУ, д.т.н., с.н.с.

Жебка В.В. Завідувач кафедри технологій цифрового розвитку Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій, д.т.н., проф.

Зайцев С.В. Profesor uczelni, dr hab. inż., Katedra Systemów Informatycznych, Kielce University of Technology (Politechnika Świętokrzyska)

Калюх Ю.І. Гол.наук.співр. ІТГП НАНУ, д.т.н., проф.

Королук Д.В. Università di Roma-2 «Tor Vergata», Dipartimento di Matematica, д.ф.-м.н., проф.

Лебідь О.Г. Заст.директора з наукової роботи ІТГП НАНУ, д.т.н., ст.досл.

- Лупенко С.А.** Opole University of Technology, Opole, Poland, д.т.н., професор
- Макаров В.Л.** Головний науковий співробітник Інституту математики НАН України, д.ф.-м.н., професор, академік НАН України
- Міхєєв В.С.** В.о. голови Державного космічного агентства України, к.т.н.
- Мокін В.Б.** Зав.кафедри системного аналізу та інформаційних технологій Вінницького національного технічного університету, д.т.н., проф.
- Наконечний О.Г.** Завідувач кафедри системного аналізу та теорії прийняття рішень Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, д.ф.-м.н., проф.
- Попов М.О.** Директор Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України, член-кор. НАН України, д.т.н., проф.
- Ткаченко Т.М.** Завідувач кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці КНУБА, д.т.н., проф.
- Триснюк В.М.** Завідувач відділу ІТГП НАНУ, д.т.н., с.н.с.
- Трофимчук О.М.** Директор ІТГП НАНУ, член-кор. НАНУ, д.т.н., проф.
- Устименко В.О.** University of London (Royal Holloway), д.ф.-м.н., проф.
- Хлобистов Є.В.** Професор кафедри екології факультету природничих наук Національного університету “Києво – могилянська академія”, д.т.н., проф.

Черній Д.І. Зав.кафедри моделювання складних систем
Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, д.т.н., доцент

Чумаченко С.М. Провідний науковий співробітник Державного
науково-дослідного інституту авіації, д.т.н.,
с.н.с.

Яковлєв Є.О. Гол.наук.співр. ІТГП НАНУ, д.т.н., с.н.с.

Секретаріат конференції:

Зотова Л.В.

моб.: 096-456-84-32

Шевякіна Н.А. , Хабова Н.А.

тел. 044-245-87-97

моб.: 095-779-57-99

ЗМІСТ

1	Використання спільної пам'яті для прискорення розрахунків задачі про рух вихорів на GPU <i>Довгий С.О., Буланчук О.М., Буланчук Г.Г.</i>	15
2	Використання розподілених систем постійної та змінної довжини в морських дослідженнях <i>Довгий С.О., Калюх Ю.І., Лебідь О.Г., Черній Д.І., Щипцов О.А.</i>	16
3	Інформаційна технологія збору та оброблення даних для використання у системі підтримки прийняття рішень в сфері національної безпеки <i>Трофимчук О.М., Бідюк П.І., Просянкін-Жарова Т.І., Терентьев О.М.</i>	17
4	Мережева та економічна складова фінансових індексів кібербезпеки <i>Лебідь О.Г., Клименков О.А., Турчинов О.В., Худинцев М.М.</i>	20
5	ЕКГ як фактор кібербезпеки: ритм-адаптивна аутентифікація користувачів <i>Буцій Р.А., Лупенко С.А.</i>	21
6	Вибір архітектури хмарного чат-бота на основі великої мовної моделі <i>Мокін В. Б., Левіцький С. М.</i>	25
7	Інформаційні системи ритмокардіографічного аналізу в сучасній медицині <i>Зозуля А.М.</i>	28
8	Модель кіберфізичної телемедичної системи <i>Семко О.В., Семко В.В.</i>	30
9	Сучасні технології бездротової передачі даних: параметри швидкодії та стабільності мереж зв'язку <i>Дзюба В.А., Єгоров В.О.</i>	32
10	Адаптивний метод застосування перемешувачів в безпроводних системах передачі даних <i>Пазинін А.С.</i>	34

11	Використання активного контексту користувача в системі керування підприємством для покращення результатів універсального інтерфейсу на основі генеративного ШІ <i>Іванов І.А.</i>	37
12	Використання нейромереж в геоінформаційних системах: виявлення та класифікація пошкоджених об'єктів <i>Кавун В.</i>	39
13	Dual ML Models for Policy-Structure Integration in BPM under Digital Transformation <i>Korotenko S., Yarovyi R.</i>	42
14	Методика співставлення зображень у символічному представленні <i>Крохмаль А.В., Захожай О.І.</i>	44
15	Алгоритми людино-машинної взаємодії з ChatGPT для науково-прикладних задач <i>Кряжич О.О., Ющенко К.С., Купрін О.М.</i>	47
16	Інформаційне моделювання та аналітичні виклики у створенні математичних систем електронної документації <i>Марущак В.М., Зотова Л.В., Хабова Н.В.</i>	50
17	Аналіз впливу інформаційної невизначеності на узгодженість рекомендацій великих мовних моделей для кризових сценаріїв <i>Варер Б. Ю., Мокін В. Б.</i>	53
18	Гібридний захист даних на основі гомоморфного шифрування та контент-адаптивної стеганографії <i>Триснюк В., Сметанін К., Гуменюк І., Шумейко В.</i>	55
19	Compositional Models of IoT-Based Digital Twins <i>Redko D.I., Malynovska O.L.</i>	57
20	Інформаційно-аналітична підсистема підтримки рішень під час артилерійського ураження <i>Тимчук В., Тимчук О.</i>	59

21	Оцінка стану кіберзахисту з використанням базових індикаторів кібербезпеки <i>Худинцев М.М., Палажченко І.Л., Хоменко О.А.</i>	61
22	Методика оцінки інфраструктурної комфортності житлових об'єктів з використанням геоінформаційних технологій <i>Третьяк Д. В., Красовська І. Г.</i>	64
23	Інтегроване 3D-моделювання протипаводкових полігонів України на основі аерокосмічних та геоінформаційних технологій <i>Триснюк В.М. Охарєв В.О., Пресняков О.Б.</i>	67
24	Розроблення інформаційно-аналітичної системи для підтримки прийняття рішень в он-лайн режимі <i>Гуськова В. Г., Просянкін-Жарова Т.І., Халигов А.А.</i>	69
25	Ефективність зберігання даних визначає продуктивність сучасних СКБД <i>Цируль О.О.</i>	72
26	Майнінг криптовалют як одна із інтелектуальних технологій сталого розвитку <i>Бондарчук О.В., Мокін Б.І.</i>	77
27	Аналіз впливу емісії монет крипто-проектів на зміну ціни криптоактивів. <i>Биль К. І., Терентьев О.М.</i>	79
28	Прискорення обчислювальних алгоритмів побудови топології мереж Байєса за рахунок використання властивості адитивності функції опису мінімальною довжиною <i>Дуда В. О., Терентьев О.М.</i>	81
29	Розробка інформаційно-аналітичної системи формування метаданих про заклади позашкільної освіти на основі NLP <i>Аброскін Ю.Ю., Терентьев О.М.</i>	82
30	Інтелектуальна система рекомендацій культурних маршрутів та тематичних пам'яток на основі вподобань користувача <i>Герчук Д.В.</i>	85

31	Data Structures and Route Reduction Procedures in the Problem of Distribution and Routing of Flows in a Communication Network <i>Vasyanin V.A., Trofymchuk O.M., Trukhin K.S.</i>	86
32	Спосіб обробки двовимірних зображень на основі векторної нелінійної фільтрації <i>Тулякова Н.О., Трофимчук О.М.</i>	88
33	Гібридна квантово-федеративна модель для виявлення рідкісних цільових груп у цифрових екосистемах <i>Фадєйчев С. В.</i>	90
34	Інформаційна технологія для підвищення точності вимірювання параметрів швидкоплинних процесів <i>Войцеховська О. О., Мокін Б. І., Мокін О. Б.</i>	92
35	Інтеграція нейронних мереж у SCADA-системи для інтелектуального моніторингу та прогнозування в нафтовидобувній галузі <i>Ошкідьоров С.О.</i>	95
36	Advantages of using hypersingular integral equations in modeling free-boundary flows <i>Hurzhii R., Verbolotskyi T.</i>	99
37	Strategic Aspects of Environmental Safety of Ukraine's Lake and Wetland Ecosystems under Contemporary Anthropogenic Challenges <i>Zahorodnia S., Radchuk I.</i>	101
38	On the implementations of stream ciphers based on dynamical systems of large girth <i>Ustimenko V. O., Pustovit O. S., Svyrydenko T.A.</i>	103
39	On walks in infinite forest and algorithms of key establishmen and encryption <i>Ustimenko V., Chojecki T.</i>	105
40	GIS60 & GIC30 <i>Нестеренко О. В.</i>	108
41	Оцінка масштабів руйнувань в зоні бойових дій з використанням ГІС-аналізу та даних ДЗЗ <i>Бугаєць Д.О., Бутенко О.С.</i>	110

42	Використання даних дистанційного зондування Землі та ГІС для оцінки і прогнозування радіоактивного забруднення місцевості <i>Нагорний Є.І. Нікітін А.А.</i>	113
43	Аналіз методів комплексної оцінки різноманітних і різночасових даних дистанційного зондування Землі для виявлення просторових змін у регіонах воєнного конфлікту <i>Бутенко О.С., Горелик С.І., Саул-Гоце Д.К.</i>	114
44	Методика створення оптимальних транспортних маршрутів з використанням геоінформаційних технологій в умовах обмеження апіорних даних <i>Красовська І.Г., Козюбенко А.С.</i>	116
45	Методика проведення робіт з гуманітарного розмінування на основі різноманітних сенсорів та БПЛА <i>Горелик С.І., Левченко М.А., Ремезок С.Д.</i>	119
46	Інтерактивна картографічна модель міжнародних залізничних маршрутів України <i>Андрєєв С.М., Ремезок С. Д.</i>	123
47	Approach to evaluating the effectiveness of information operations <i>Pribyliev Y.B., Bazarnyi S.V.</i>	125
48	Аналіз змін типів землекористування в Україні на основі супутникових класифікацій LULC <i>Підсадний С. Г., Охарєв В.О.</i>	127
49	Технологія оцінювання екологічної безпеки демілітаризованих територій із застосуванням БПЛА та ГІС <i>Шумейко В.О., Мосійчук Д.І.</i>	130
50	Особливості моніторингу масивів підземних вод у суббасейні Нижнього Дніпра <i>Саніна І.В., Люта Н.Г., Приходько С.М., Древіна Т.А.</i>	132

51	Методи моніторингу поточного стану лісових екосистем та визначення тенденцій подальших змін з використанням даних ДЗЗ <i>Бутенко О.С., Горелик С.І., Сич Р.С.</i>	135
52	Інтелектуальна пасивна локація прикордонних загроз: інтеграція сенсорних мереж, ДЗЗ та прогнозової аналітики для Чернігівщини <i>Триснюк Т., Берчун Я., Василенко В.</i>	137
53	Дистанційні методи дослідження оцінки впливу збройної агресії росії на екологічну безпеку природо-заповідних територій <i>Триснюк Т.В., Василенко В.М.</i>	140
54	Методика просторового моделювання покриття радіосигналу з використанням ГІС-технологій для геофізичних досліджень у задачах геологорозвідки <i>Шокот В.О., Гребень О.С.</i>	142
55	Моніторинг деградації водних об'єктів Донецької області в умовах бойових дій на основі даних дистанційного зондування землі <i>Ягодкін Д.С., Сухомлін Л.В.</i>	146
56	Екологічний моніторинг якості повітря: досвід використання геоінформаційних систем <i>Данишина С. Ю.</i>	148
57	Методика оцінки негативних наслідків повені на прикладі Одеської області з використанням даних космічного моніторингу Землі <i>Жовтоштан Д.О., Бутенко О.С.</i>	151
58	Провідні фактори еколого-геологічного впливу масованих артилерійських обстрілів регіонів України <i>Яковлев Є.О.</i>	154
59	Можливі підходи до еколого-економічної оцінки впливу інженерно-геологічних загроз на пошкодження (руйнування) будівель і споруд. <i>Рогожин О.Г., Трофимчук В.О., Яковлев Є.О.</i>	157

60	Видобування сланцевого газу та зміна клімату (аналітичний огляд стану досліджень) <i>Азімов О.Т.</i>	164
61	Інноваційні ДЗЗ/ГІС-технології при роботах і дослідженнях із поводження з муніципальними відходами <i>Триснюк В.М., Азімов О.Т., Шевчук О.В.</i>	166
62	Інтегрована інтерпретація аерокосмічної та геолого- геофізичної інформації як засіб об'єктивного моделювання тектонічної будови території, перспективної для створення сховища водню в її надрах <i>Азімов О.Т.</i>	169
63	Оцінка вмісту важких металів у забруднених унаслідок воєнних дій ґрунтах Київщини за даними геохімічного аналізу (з використанням даних ДЗЗ) <i>Кураєва І.В., Дерюгіна О.В., Азімов О.Т.</i>	170
64	Рекультивация земель після військових дій як елемент забезпечення екологічної безпеки літосфери <i>Клочко Т.О., Клименко В.М., Вишняков В.Ю.</i>	173
65	Аналіз методів визначення тенденцій змін екологічного стану довкілля <i>Багнюк М.А.</i>	175
66	Існуючі технології захисту міського середовища від перегріву поверхонь і зменшення теплового навантаження на прибудинкову територію. <i>Святогорів І.О., Волошкіна О.С., Ткаченко Т.М.</i>	180
67	Методика оцінки впливу забруднення повітря за допомогою IoT технологій <i>Гончаренко А.В., Сорока І.В., Волошкіна О.С.</i>	182
68	Інформаційна технологія комплексного моніторингу полігонів твердих побутових відходів <i>Шевчук О., Василенко А.</i>	184
69	Аналіз динаміки концентрації органічних екотоксикантів в поверхневій воді річки Дніпро <i>Горбань М.В.</i>	186

70	Супутниковий моніторинг динаміки зважених речовин у дельті Дунаю в контексті міжнародних і національних спостережень <i>Трофимчук О.М., Сломчинська Н.В., Ключко Т.О., Васенко О.Г.</i>	191
71	Екологічна оцінка впливу війн на стан поверхневих вод Півдня України <i>Горошкова Л.А., Меньшов О.І., Зайцев В.М., Голуб О.А., Триснюк В.М., Архипова Л.М., Горошков С.В., Корнійчук Ю.Д.</i>	193
72	Картографування та прогноз розвитку екзогенних геологічних процесів в осушеному ложі Каховського водосховища за дистанційними даними <i>Ліщенко Л.П., Городнянська І.О.</i>	195
73	Застосування ланцюгів Маркова для екологізації вирощування сільськогосподарських культур <i>Присянкін Д. І.</i>	197
74	Моніторинг наслідків бойових дій для ґрунтів України: дистанційне зондування та правова оцінка <i>Клименко В.І., Шевякіна Н.А., Вишняков В.Ю., Клименко Є.А.</i>	200
75	Оцінка екологічного стану ґрунтів сільськогосподарських угідь за впливу військових дій <i>Хижняк С.В., Коверсун І.В., Войціцький В. М.</i>	201
76	Явище «життя» та його генетично детерміновані межі <i>Войціцький В.М., Жирнов В.В.</i>	202
77	Використання інформаційних технологій та математичних моделей у дослідженні економічних циклів <i>Горошкова Л.А., Голуб П.</i>	206
78	Геоінформаційні оцінки регіонального зменшення захисного потенціалу навколишнього природного середовища України внаслідок російської агресії <i>Трофимчук О.М., Триснюк В.М., Яковлєв Є.О.</i>	208

79	Застосування ансамблю нейронних мереж для прогнозування коефіцієнта гідравлічного опору <i>Ходневич Я.В., Корбутяк В.М.</i>	211
80	Біоінформатика флуоресцентних досліджень рослинності НПП «Північне Поділля» <i>Мокрий В.І., Казимира І.Я., Арустамян Е.М., Бондарь В.І., Паньковська Г.П.</i>	213

Використання спільної пам'яті для прискорення розрахунків задачі про рух вихорів на GPU

Довгий С.О.¹, Буланчук О.М.^{2,3}, Буланчук Г.Г.⁴

¹Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
НАН України

²НЦ «Мала академія наук України»

³Інститут прикладних систем управління НАН України

⁴ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

²obulan65@gmail.com, ³ggbulan7@gmail.com

У роботі розглядається використання спільної пам'яті (shared memory) для підвищення ефективності паралельних обчислень при моделюванні руху вихорів на графічних процесорах (GPU). Відомо, що одним із найрезультативніших підходів до прискорення розрахунків задач, пов'язаних із взаємодією великої кількості вихорів, є застосування обчислень на GPU. Зокрема, дослідження показали [1], що при розрахунку тривимірних задач обтікання пластинок методом дискретних вихорів можна досягти прискорення до 70 разів порівняно з розпаралеленою реалізацією на CPU.

У роботі [1] обчислення виконувалися з використанням комп'ютерних шейдерів, написаних мовою GLSL, у середовищі OpenTK (C#). Графічні шейдери застосовувалися для розрахунку швидкостей вихорів при складності алгоритму $O(N^2)$. Важливою перевагою такого підходу є те, що дані моделювання та візуалізації розміщуються на одному пристрої, що забезпечує максимально можливу швидкість оновлення графіки та усуває затримки, пов'язані з передачею даних між CPU і GPU.

Однак у попередніх дослідженнях не було проаналізовано вплив використання спільної пам'яті обчислювальної групи потоків (thread group shared memory) на продуктивність розрахунків. Використання цієї пам'яті дозволяє зменшити кількість звернень до глобальної пам'яті GPU, що є однією з основних причин обмеження швидкодії при великій кількості вихорів. Водночас застосування спільної пам'яті потребує модифікації алгоритму та точного контролю синхронізації потоків у межах групи, що дещо ускладнює реалізацію та вимагає додаткового тестування.

У даній роботі розглядається тестова задача прямого моделювання нескінченного вихрового шару. Особливу увагу приділено впливу кількості вихорів та розмірів груп потоків (thread group dimensions) за осями X, Y і Z на ефективність обчислень. Порівнюються два підходи:

1. базовий варіант без використання спільної пам'яті;
2. оптимізований варіант, у якому дані вихорів завантажуються у спільну пам'ять групи потоків і повторно використовуються всіма потоками під час обчислень.

Чисельне моделювання показало, що при максимальному розмірі спільної пам'яті швидкість розрахунків прискорюється в 1.3 - 1.4 рази. При цьому є певний граничний розмір спільної пам'яті, починаючи з якого швидкість майже не змінюється. Якщо виділяти менший розмір, то швидкість розрахунків починає падати і при певній величині стає більшою за швидкість прямих розрахунків. Відносний розмір груп потоків на швидкість практично не впливає.

Список використаних джерел:

1. Довгий С. О., Буланчук Г. Г., Буланчук О. М. GPU-реалізація розрахунку правої частини СЛАР у методі дискретних вихрових рамок для задач обтікання тонких пластин // Вісник Національного технічного університету "ХПІ", Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях, №1(8)'2025, Харків, С. 67-73

Використання розподілених систем постійної та змінної довжини в морських дослідженнях

**Довгий С.О., Калюх Ю.І., Лебідь О.Г., Черній Д.І.,
Щипцов О.А.**

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
НАН України, o.g.lebid@gmail.com*

При проведенні в морських акваторіях наукових досліджень і практичних робіт в інтересах як морегосподарського комплексу, так і оборонного призначення широко використовуються протяжні системи: буксирувальні троси, антени, мережі датчиків тощо. Ці системи перебувають під нестационарним динамічним впливом як морського середовища, так і елементів самої системи.

Авторами запропоновано математичну модель пружної розподіленої системи, що враховує фізичну і геометричну нелінійність у просторі, розроблено алгоритми для чисельного моделювання динаміки розподіленої системи.

Використання зазначених алгоритмів дозволяє підвищити точність позиціонування елементів розподіленої системи при проведенні морських досліджень та інших робіт.

Розроблені алгоритми використані при формуванні програмного забезпечення експериментального зразка суднового програмно-технічного комплексу збору й обробки гідрофізичних даних науково-дослідного судна «Гідробіолог».

Інформаційна технологія збору та оброблення даних для використання у системі підтримки прийняття рішень в сфері національної безпеки

**О. М. Трофимчук¹, П. І. Бідюк², Т. І. Просянкіна-Жарова¹,
О. М. Терентьєв¹**

¹Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України, ²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», e - mail: Trofymchuk@nas.gov.ua, pbidyuke_00@ukr.net, t.pruman@gmail.com, o.terentiev@gmail.com

Підвищення ефективності інформаційно-аналітичного забезпечення процесів прийняття рішень у сфері національної безпеки та оборони є ключовою умовою національної стійкості й безперервності державного управління у воєнний і післявоєнний періоди. Важливою складовою цього процесу є ситуаційна обізнаність (Situational Awareness, SA) — здатність аналітичних центрів і систем підтримки прийняття рішень формувати цілісне, достовірне та своєчасне уявлення про стан об'єктів і процесів. Вона визначає якість моделювання, прогнозування та планування дій, забезпечуючи адекватне сприйняття подій, розуміння їх контексту й передбачення наслідків. Підтримання належного рівня ситуаційної обізнаності в умовах великих обсягів даних (Big Data) потребує створення сучасних інформаційно-аналітичних технологій, здатних інтегрувати різномірні джерела, виконувати потокову обробку й застосовувати методи штучного інтелекту. Особливу роль у цьому відіграють нейронні мережі, байєсівські моделі та ансамблеві алгоритми машинного навчання, що забезпечують ефективне прогнозування, класифікацію та оцінювання ризиків. Розроблена система опрацювання даних

призначена для збору, оброблення, зберігання та аналітичного використання структурованих і неструктурованих даних.

Архітектура системи побудована за модульним принципом і включає такі рівні (рис.1):

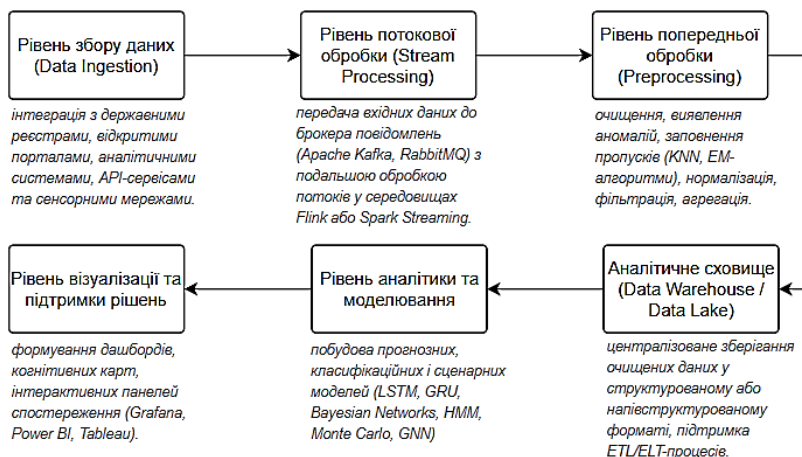


Рисунок 1 – Узагальнена архітектура системи

Дані, що надходять у реальному часі, спочатку потрапляють у брокер повідомлень, після чого здійснюється потокова та попередня обробка. Це включає очищення від шумів, виявлення аномалій, заповнення пропусків і агрегування показників. Оброблені дані передаються до аналітичного сховища для подальшого використання у процесах аналізу, прогнозування, сценарного моделювання та підтримки прийняття рішень.

У такий спосіб система формує єдиний інформаційно-аналітичний простір, у межах якого забезпечується автоматизований збір, фільтрація, інтеграція та аналітична обробка даних для підготовки обґрунтованих управлінських рішень у сфері національної безпеки й оборони.

Таблиця 1 – Опис етапів опрацювання даних

Етап	Короткий опис
Формування набору вхідних даних, збір даних	Структуровані дані: статистичні дані (Державна служба статистики, ПФУ, НБУ, міністерства), дер-

	жавні реєстри, звітність підприємств, установ, організацій, дані територіальних громад та областей, open-data портали, геоінформаційні дані Неструктуровані дані: тексти звітності, чинне законодавство, інструктивні матеріали, інформація з соціальних мереж, тематичних сайтів, блогів. Використовуються: стрімінгові сервіси (Kafka, Spark Streaming, Flink), СЕВДЕІР «Трембіта», засоби інтелектуального аналізу текстової інформації (Palantir, SAS)
Зберігання - база даних та база знань	Зберігання та оброблення даних: Hadoop, хмарні сервіси (AWS, GCP, Azure), взаємодія (API, мережеві сервіси, СЕВДЕІР «Трембіта»), аналітичні сховища (ETL/ELT, Data Lake)
Попередня обробка даних, підготовка до аналізу	Заповнення пропусків (KNN imputation, EM-алгоритми), очищення, нормалізація (регресійний аналіз, фільтрація, Prophet, LSTM), аналіз текстових даних (TF-IDF, Word2Vec, BERT, LDA), кластеризація (k-means, DBSCAN, ієрархічна), виявлення зв'язків у даних, зменшення розмірності даних
Попередній аналіз ситуації	Дослідження наявної ситуації, проблем, ризиків, позитивних чинників (SWOT, PEST, SPACE – аналіз, когнітивні карти, морфологічний аналіз, експертні методи), можливих наслідків розгортання подій
Формування проекту проміжних рішень	Формування звітів на основі попереднього аналізу даних, візуалізація результатів, пропозиції щодо застосування наявних шаблонів рішень, сценаріїв
Побудова моделей, сценаріїв для уточнення рішення	Математичні моделі та ансамблі моделей (регресійні, байєсівські мережі, імовірнісні моделі (HMM, Monte Carlo), LSTM/GRU, GNN), сценарії розвитку подій (в тому числі на основі шаблонів)
Оцінка та ранжування	Методи багатокритеріального аналізу (AHP, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE), оптимізація: (генетичні алгоритми, swarm intelligence (PSO), simulated annealing)
Перевірка відповідності вимогам	Адаптивність, стійкість до ризиків (stress-testing, what-if), узгодженість зі стратегіями, відповідність цільовим настановам
Переоцінка (зміна рейтингу)	Моделювання ризиків (байєсівські мережі, нечіткі множини, VaR, Q-learning, DQN, автоматизоване реагування (II)

Візуалізація, підготовка варіантів рішення	Варіанти сценаріїв та (або) рішень. Візуалізація результатів (Power BI, Tableau, Grafana).
--	--

Пропонований підхід базується на інтеграції математичних, когнітивних та інтелектуальних моделей у єдину інформаційно-аналітичну технологію. Її основу становлять ансамблі моделей, методи інтелектуального аналізу даних, алгоритми штучного інтелекту та засоби системного аналізу, що забезпечують повний цикл підтримки прийняття рішень — від збору й оброблення даних до оцінювання альтернатив і формування рекомендацій.

Перевагою розробленої технології є її універсальність: вона може застосовуватися як для стратегічного прогнозування у сфері національної безпеки, так і для оперативного реагування на динамічні загрози чи кризові ситуації. Результати аналітичної обробки візуалізуються у вигляді інтерактивних дашбордів, які відображають прогнозні показники, рівень ризиків і можливі сценарії розвитку подій із варіантами рішень і наслідками їх реалізації.

Мережева та економічна складова фінансових індексів кібербезпеки

Лебідь О.Г., Клименков О.А., Турчинов О.В., Худинцев М.М.
*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України,
E – mail: trofymchuk@nas.gov.ua*

Дослідження процесів у екосистемах кібербезпеки, як правило, обмежується технічним та мережевим рівнями. Але цікавим напрямом досліджень є оцінка впливу на економіку на макро і мікро рівні подій і інцидентів у кіберпросторі. Окрім загальних збитків, які несуть суб'єкти економічної діяльності галузеві та національні економіки від кіберінцидентів, також адекватним інструментом такої оцінки на макроскопічному (інтегральному) рівні є фінансові (біржові) індекси кібербезпеки [1,2]:

Таблиця. Фінансові (біржові) індекси кібербезпеки

Index		1 st Edition	Editions/ year	Indicators Qty	Rate Entities Qty
Кіберіндекс BVP	BVPCI	2011	multi	1	29
Індекс кібербезпеки MSCI	CSI	2017	4	6	49
Індекс ефективності кібербезпеки	CSPI	2016	multi	6	14
Індекс кібербезпеки Evolve Fund	ECSIF	2017	multi	3	38
Індикатор кіберризиків FICO	FCRS	2001	multi	5	>21 mil.
Індекс кібербезпеки та безпечності даних Foxberry	FXCI,	2013	2	2	49
Індекс кібербезпеки ISE	HXR	2010	multi	3	60
Оперативний глобальний індекс кібербезпеки	IECSI	2017	2	9	10-50
«Чистий» кіберіндекс	IPCI	2015	1	3	30
Індекс кібербезпеки S&P	KCSI	2013	multi	5	n/a
Індекс майбутньої безпеки S&P	KSEC UREP	2013	multi	7	n/a

Індекс кібербезпеки Nasdaq	NQC YBR	2015	multi	6	>10
Перший індекс кіберзахисту	PCDI	2017	4	3	58
Глобальний індекс кібербезпеки Soloactive	SGCSI	2017	multi	n/a	-

Відповідна категорія індексів є підгрупою категорії набори даних (індексів, які формуються за допомогою автоматичної візуалізації даних, у даному випадку фінансових (у т.ч. біржових) даних. Показово, що поведінка таких індексів помітно залежить від зміни мережевих індексів кібербезпеки, які, в свою чергу, визначаються мережевими даними, зокрема індикаторами кіберподій та індикаторами компрометації.

Аналіз методології формування індексів та їх показників (objectives) свідчить про те, що переважна більшість з них формуються автоматично на підставі біржової інформації та даних мережевої активності (у т.ч. зловмисної). Усі індекси мають складну структуру, доменами якої є спеціалізовані економічні або мережеві субіндекси.

Переважає більшість індексів (9 з 14) формується резидентами США.

Дані індексів у більшості випадків є відкритими. Прогностичний та кореляційний аналіз фінансових індексів кібербезпеки, біржових та мережевих субіндексів, а також побудова відповідних моделей дозволяє формувати адекватні методи дослідження організаційно-технічних показників кібербезпеки високого рівня.

Список використаних джерел:

1. Худинцев М.М., Жилін А.В., Давидюк А.В. Світові індекси кібербезпеки: огляд та методики формування (Глобальний звіт / Каталог). Міжнародний університет кібербезпеки, Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. К.: 2021. 240 с.
2. Khudyntsev, M., Lebid, O., Bychenok, M., Zhylin, A., Davydiuk, A. (2023). Network Monitoring Index in the Information Security Management System of Critical Information Infrastructure Objects. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 809. Springer, Cham. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-031-46880-3_17

ЕКГ як фактор кібербезпеки: ритм-адаптивна аутентифікація користувачів

Буцій Р.А.¹, Лупенко С.А.^{1,2,3}

*¹Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України, Україна*

²Політехніка Опольська, Польща

³Американ Юніверситі Київ, Україна

E-mail: butsii_roman@nas.gov.ua, s.lupenko@po.edu.pl

Оброблення електрокардіограми (ЕКГ) під час фізичного навантаження та відпочинку є важливим для сучасних систем моніторингу, охорони здоров'я та кібербезпеки. У реальних умовах серцевий ритм змінюється, що ускладнює стабільну ідентифікацію користувача. Запропонований підхід ґрунтується на ритм-адаптивному моделюванні у межах циклічних випадкових процесів (CRP) із використанням функції ритму, яка описує змінні інтервали між серцевими циклами. Це забезпечує коректне опрацювання сигналів ЕКГ у динамічних умовах, що є критично важливим для багатофакторної аутентифікації, де ЕКГ виступає додатковим “живим” фактором безпеки. У подальших дослідженнях передбачено оцінку стабільності методу для записів, отриманих за різних типів фізичної активності та у різні часові періоди.

У сучасних багатофакторних системах кібербезпеки зростає роль біометричних ознак, побудованих на фізіологічних сигналах, зокрема ЕКГ, як засобу перевірки особи. На відміну від відбитків пальців чи зображень обличчя, ЕКГ має внутрішнє фізіологічне походження та власність живості, що унеможливорює її підробку без доступу до реального біосигналу. Це робить ЕКГ перспективним інструментом для мобільних, носимих та edge-систем, де потрібна безперервна або запитна ідентифікація користувача під час руху.

Запропонований підхід базується на використанні математичних моделей циклічних випадкових процесів (CRP) [1, 2], у яких вводиться функція ритму для опису нерегулярних часових інтервалів між серцевими циклами. Такий підхід забезпечує ритм-адаптивне оцінювання моментних і кореляційних характеристик сигналу навіть за умов змінного ритму, спричиненого фізичним навантаженням чи відпочинком. На відміну від класичних стаціонарних методів, CRP-моделювання зберігає коректність оцінок у динамічних умовах, що підвищує надійність ідентифікації та стійкість алгоритмів.

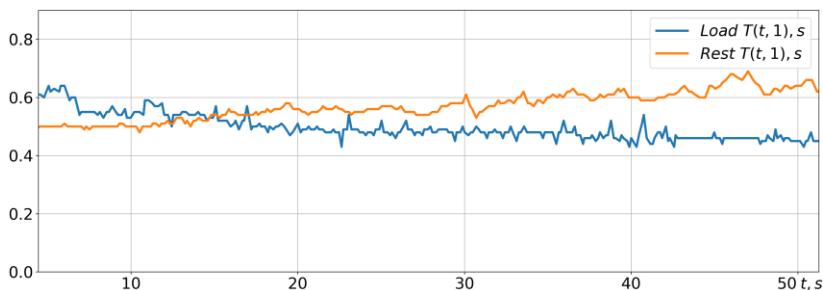


Рисунок. 1. Оцінені функції ритму ЕКГ під час фізичного навантаження (синя крива) та у періоді відпочинку після навантаження (помаранчева крива).

Візуалізація демонструє (див. рис. 1) характерні зміни частоти серцевих скорочень і підтверджує ефективність ритм-адаптивного підходу, який забезпечує стійкість обробки сигналів у русі. Це формує теоретичну основу для використання ЕКГ-аутентифікації в системах кібербезпеки [1–3].

Подальші дослідження спрямовані на розширення застосовності методу — перевірку його роботи за інших видів фізичної активності (біг, підйом сходами, статичні вправи) та в різні часові проміжки, що дозволить оцінити довготривалу стабільність ритм-адаптивної ідентифікації. Очікується, що це сприятиме удосконаленню методів біометричної аутентифікації для кіберфізичних систем і технологій смарт-міст.

Ритм-адаптивне моделювання створює надійну основу для ЕКГ-аутентифікації, поєднуючи стійкість до варіабельності ритму, інтерпретованість і обчислювальну ефективність. У подальшому планується інтеграція цього підходу в системи реального часу, що дозволить підвищити рівень безпеки та зручності користувачів.

Список використаних джерел:

1. Lupenko, S. Rhythm-Adaptive Statistical Estimation Methods of Probabilistic Characteristics of Cyclic Random Processes. Digit. Signal Process. 2024, 151, 104563. <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2024.104563>
2. Butsiy, R.; Lupenko, S. Rhythm-Adaptive Processing of Electrical Cardiac Signals under Conditions of Patient Physical Load. In Proceedings of the 15th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT 2025); Šibenik, Croatia, 2025; pp. 169–173. <https://doi.org/10.1109/ACIT65614.2025.11185585>
3. Sverstiuk, A.; Polyvana, U.; Mosiy, L.; Mosiy, O.; Butsiy, R. Approaches to the Development of Information Technology for ECG Analysis to Evaluate

Quality of Life in Smart Cities. In Proceedings of the 3rd International Workshop on “Computer Information Technologies in Industry 4.0” (CITI 2025); Ternopil, Ukraine, 11–12 June 2025; CEUR-WS: Ternopil, Ukraine, 2025; Vol. 4027, pp. 240–260.

Вибір архітектури хмарного чат-бота на основі великої мовної моделі

Мокін В. Б., Левіцький С. М.

*Вінницький національний технічний університет,
email - vbmokin@vntu.edu.ua*

Розвиток та відновлення економіки України неможливі без створення великої кількості інформаційно-комунікаційних систем. А сучасні системи часто мають чат-боти для автоматизації комунікації з користувачами та інших цілей [1]. Найбільше поширення в наш час отримали хмарні чат-боти на основі великих мовних чи мультимодальних моделей (LLM) [2]. Метою дослідження є порівняльний аналіз популярних варіантів складових архітектури та рекомендації щодо вибору оптимальних серед них для реалізації хмарного чат-бота на основі LLM, в залежності від призначення та задачі.

Традиційно хмарний чат-бот на основі LLM складається з таких взаємопов'язаних підсистем [3]: S1 – Інтерфейс (web-UI): приймання запитів від користувача (людини або ІТ-системи) та виведення відповідей; S2 – Модель: LLM з доступом через API; S3 – оркестрація та інтеграція даних та підсистем: пошук даних, маршрутизація, інструкційний інжиніринг, інтерпретація відповідей, інструментальний виклик (tool/function calling), протоколи підключення до зовнішніх даних (наприклад до MCP - Model Context Protocol) тощо; S4 – Інфраструктура сервісів: автентифікація/авторизація, лімітування, журналювання та моніторинг, аналітика, CI/CD, механізми безпеки (фільтри контенту) тощо.

Аналіз джерел, досвід експертів та власний досвід авторів показав, що найбільш популярними в наш час є такі варіанти реалізації цих підсистем: S1 (Web UI): HTML-сторінка або середовища на кшталт Hugging Face Spaces (Gradio/Streamlit), Vercel + Next.js (AI SDK); AWS Lex Web UI (AI SDK) тощо. S2 (LLM): OpenAI ChatGPT 4/5, Anthropic Claude 4.x, Google Gemini 1/2.x, Meta Llama 3.x, Mistral, Cohere тощо. Для оновлення знань може використовуватись архітектура Retrieval-

Augmented Generation (RAG), файнтюнінг (OpenAI Platform) та ін. S3 (оркестрація): фреймворки LangChain, LlamaIndex, Semantic Kernel тощо. У таблиці 1 наведено приклад характеристик деяких з цих технологій чи середовищ за такими критеріями: N – номер підсистеми, C1 – політика доступу до моделі/сервісу, C2 – найбільший розмір контекстного вікна, C3 – найбільша кількість запитів/хв; C4 – найбільша кількість токенів/хв; C5 – складність в обслуговуванні; C6 – якість української генерації.

Таблиця 1 – Характеристика складових підсистем чат-бота

Назва IT/середовище	N	C1	C2	C3	C4	C5	C6
(компанія)							
Lex Web UI (AWS)	1	T/P	-	-	-	M	-
Spaces (Hugging1 Face)		F	-	-	-	L	-
GPT-4 (OpenAI)	2	P	L	H	L	L	H
Llama 3.1 (Meta)	2	F	M	-	-	M	M
Claude 4.5 Sonnet2 (Anthropic)		P	H	M	M	L	H
Gemini 2.5 Pro2 (Google)		P	H	L	H	L	H
LangChain	3	F	-	-		M	-

У табл. 1 використано такі значення: L ("Low"), M ("Medium"), H ("High"), VH ("Very High"); - («NaN» або «Nothing»); F («Free»); P («Paid»); T («Free Trial Period»). На рис. 1 наведено приклад реалізації підсистеми S1 для реально функціонуючого чат-бота на базі GitHub, Llama та HF Space: <https://github.com/vin2015-edem/lab-checker>.

Перевірка якості робіт студентів

Пароль доступу

Рівень навчання

Бакалавр

Дисципліна

Системний аналіз

Вид звіту

Лабораторна робота

Номер роботи

1

Варіант

1

Завантажте PDF-звіт студента

Drag and drop file here

Limit 200MB per file • PDF

Browse files

LR_SA_126bac_var1.pdf

220.4KB

×

Назва розділу для підрахунку графіків (необов'язково)

Візуалізації у Python

Перевірити

Завантажити журнал аудиту (JSONL)

Результат

AI Lab Checker — модель: llama-3.1-8b-instant (Groq API) | середовище: Hugging Face Space

Рис. 1 – Інтерфейс створеного Мокінім В.Б. чат-бота «AI Lab Checker» для перевірки якості оформлення звітів

Список використаних джерел:

1. Minaee, S., et al. Large Language Models: A Survey. arXiv preprint arXiv:2402.06196, 2025.
2. Park, Seungkyu and Lee, Joong yoon and Lee, Jooyeoun. AI system architecture design methodology based on IMO (Input-AI Model-Output) structure for successful AI adoption in organizations. Access: Mar 2024. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2023.102264>.
3. Huyen, C. AI Engineering: Building Applications with Foundation Models. - O'Reilly Media, 2025.

Інформаційні системи ритмокардіографічного аналізу в сучасній медицині

Зозуля А.М.

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України
E - mail: bestguru7@gmail.com*

Представлено сучасні підходи до цифрової репрезентації та автоматизованого аналізу серцевого ритму з використанням інформаційних технологій. Розглянуто нові діагностичні показники, які формуються на основі векторного ритмокардіосигналу для оцінки регуляторних механізмів серцево-судинної системи. Показано роль комп'ютерних методів, штучного інтелекту та телемедицинських технологій у розвитку персоналізованої медицини й ранньої діагностики.

Ритмокардіограма (РКГ) посідає важливе місце серед інструментів медичної діагностики, оскільки дозволяє не лише досліджувати частоту та регулярність серцевих скорочень, але й виявляти глибинні закономірності роботи регуляторних систем організму. У сучасних умовах, коли серцево-судинні захворювання залишаються однією з головних причин смертності, питання вдосконалення методів аналізу серцевого ритму набуває особливого значення. Використання ритмокардіографії дає змогу визначати не лише середню частоту скорочень, але й варіабельність серцевого ритму, яка відображає ступінь адаптивності та гнучкості фізіологічних процесів. Зменшення варіабельності свідчить про порушення регуляції та підвищення ризику розвитку патологій.

Варіабельність серцевого ритму (BCP) є показником балансу між симпатичним та парасимпатичним відділами вегетативної нервової системи. Її аналіз застосовується не лише у кардіології, а й у психофізіології для оцінювання рівня стресу, психоемоційного стану, працездатності та адаптаційних можливостей організму. Виявлено тісний зв'язок між параметрами BCP і психоемоційними порушеннями, такими як депресія, тривожність, емоційне виснаження, що відкриває перспективи використання РКГ у комплексних клініко-психофізіологічних дослідженнях.

Розвиток комп'ютеризованих систем аналізу серцевого ритму суттєво змінив підходи до медичної діагностики. Автоматизація розпізнавання та обробки сигналів забезпечує оперативність і точність аналізу,

що особливо важливо у клінічній практиці. Алгоритми машинного навчання й нейронних мереж дозволяють розпізнавати складні закономірності у ритмокардіосигналі, формувати прогностичні моделі та пропонувати лікарю персоналізовані рекомендації. Застосування таких технологій сприяє переходу до концепції персоналізованої та превентивної медицини.

Важливим напрямом розвитку є інтеграція систем ритмокардіографічного аналізу з телемедицинськими платформами. Сучасні портативні пристрої, носимі сенсори й мобільні застосунки дозволяють проводити моніторинг серцевої діяльності у реальному часі навіть поза межами медичних установ. Дані передаються у медичні центри, де автоматизовані алгоритми аналізують результати та формують повідомлення про можливі відхилення. Такий підхід створює підґрунтя для своєчасного реагування, зниження ризиків серцевих нападів і покращення якості життя пацієнтів.

Методи аналізу ритмокардіограми активно застосовуються також у спортивній медицині, ергономії та геронтології. Вони дають змогу визначати рівень фізичної підготовки, ефективність тренувань, адаптаційні резерви організму, а також оцінювати вікові зміни серцево-судинної системи. Поєднання даних РКГ з показниками артеріального тиску, насичення крові киснем та іншими біосигналами створює умови для комплексної оцінки функціонального стану людини.

Математичне моделювання процесів регуляції серцевого ритму відкриває нові перспективи для розуміння механізмів роботи серцево-судинної системи. Використання адаптивних фільтрів, методів спектрального аналізу, фрактальної та вейвлет-обробки дозволяє більш глибоко інтерпретувати поведінку серцевого ритму при різних навантаженнях. Сучасні моделі, засновані на алгоритмах глибинного навчання, здатні прогнозувати розвиток порушень, аналізуючи великі обсяги ритмокардіографічних даних.

Таким чином, ритмокардіографія перетворюється на універсальний діагностичний інструмент, що поєднує медичну фізіологію, інформаційні технології та елементи штучного інтелекту. Вона забезпечує точніший аналіз функціонального стану серцево-судинної системи, допомагає виявляти патології на ранніх стадіях та формувати індивідуальні стратегії лікування і профілактики. У контексті розвитку телемедицини це сприяє переходу від реактивної медицини до системи постійного моніторингу здоров'я, орієнтованої на кожного пацієнта.

Висновки. Інформаційні системи аналізу ритмокардіограми забезпечують глибоке оцінювання стану серцево-судинної системи та відкри-

вають нові можливості для персоналізованої діагностики. Використання методів штучного інтелекту та телемедичних технологій дозволяє підвищити точність і швидкість аналізу, забезпечуючи безперервний моніторинг здоров'я пацієнтів. Математичні моделі, що враховують індивідуальні фізіологічні особливості, сприяють прогнозуванню ризиків і створенню інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень у медицині.

Модель кіберфізичної телемедичної системи

Семко О.В.¹, Семко В.В.²

¹ *Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України,*

² *Інститут прикладних систем управління Національної академії наук
України*

*E-mail: semalek@meta.ua,
semroviktor@gmail.com*

Модель кіберфізичної (МКФ) телемедичної системи (ТМС) є комплексною структурою, що охоплює різні компоненти, функції і взаємозв'язки, які дозволяють забезпечити телемедичні послуги за допомогою технологій. Основними елементами такої моделі можуть бути: медичні сенсори і пристрої; (пульсометри, електрокардіографи, термометри, монітори для вимірювання артеріального тиску та інші пристрої, які збирають дані про стан пацієнта), включаючи ІоМТ-пристрої; апаратно-програмні комплекси збирання і передачі медичної інформації; канали зв'язку з використанням технологій Wi-Fi, Bluetooth, Ad-Hock, тощо; апаратно-програмні комплекси обробки і зберігання медичних даних; технології захисту інформації.

МКФТМС також має передбачати оптимізацію ресурсів та вирішення задач моніторингу, діагностики і керування процесом лікування пацієнтів на основі формалізації процесів, що відбуваються у телемедичних системах, а також використання методів і систем штучного інтелекту..

Теоретико-множинна модель (ТММ) ТМС описує її компоненти, функціональність та взаємодію через множини та відношення між ними.

$$W = \langle P, F, S, H, C, D, U \rangle, \quad (1)$$

де $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ - множина пацієнтів, $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$ - множина фізіологічних параметрів (пульс, температура, тощо), $S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\}$ - множина сенсорів, $H = \{h_1, h_2, \dots, h_l\}$ - множина вузлів передачі даних (мережеві пристрої, сервери, тощо), множина збору даних $F = \{f_1, f_2, \dots, f_q\}$, $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$ - множина центрів обробки даних (сервери, хмарні платформи, медичні оператори, тощо), $D = \{d_1, d_2, \dots, d_r\}$ - множина лікарів, $U = \{u_1, u_2, \dots, u_t\}$ - множина медичних рішень.

Взаємодію компонентів ТМС в часі t $R(t)$, як множини послідовних операцій Z - збір даних, V - передача даних, Q - обробка даних у вигляді $R(t) = Z \circ V \circ Q$.

Таким чином, ТММ дозволяє формально структурувати ТМС та забезпечити можливість її аналізу на різних рівнях.

Для кожного пацієнта ТМС має виконуватись умова відповідності $\forall p_i \in P \mapsto f_i \in F$.

При відображенні сенсорів на фізіологічні параметри має виконуватись умова

$$R_S : S \rightarrow 2^F, s_j \mapsto F_{s_j}, \forall F_{s_j} \subseteq F. \quad (2)$$

Виходячи з моделі (1) співвідношення (2) визначає характеристики та співвідношення між множинами при функціонуванні ТМС.

Інфраструктура передачі даних відповідно до множини вузлів передачі даних H відображається графом передачі даних $G(N, E)$, де множина каналів зв'язку між вузлами може біти визначена співвідношенням

$$E \subseteq H \times H.$$

В інфраструктурі передачі даних здійснюється відображення пацієнтів на лікарів

$$R_d : H \rightarrow 2^D, p_i \mapsto D_{p_i}, \forall D_{p_i} \subseteq D, \quad (3)$$

У співвідношенні (3) множина D_{p_i} це лікарі, які забезпечують моніторинг параметрів стану пацієнта.

Функції відображення пацієнтів на лікарів відповідно співвідношенню (3) забезпечує медичний оператор ТМС.

Медичні рішення U відповідно співвідношення (1) є відображенням даних на рішення

$$R_m : 2^F \rightarrow U, \forall u_j \in U, X \mapsto u_j, X \subseteq F. \quad (4)$$

У співвідношенні (4) множина X є зібраними даними для рішення u_j .

Список використаних джерел:

1. Bitton A., Flier L., Jha A. Health Information Technology in the Era of Care Delivery Reform // JAMA. – 2012. – Vol. 307, N24. – P. 2593-2594. doi:10.1001/jama.2012.6663.
2. Семко О.В. і Семко В.В. “Захист даних в телемедичних системах моніторингу,” XXI Міжнародна науково-практична конференція «Scientific Achievements and Innovations as a Way to Success»: Тези доповідей. - 2024. – С. 63-65.
3. Семко О.. Сенсорна сервіс-орієнтована мережа телемедичної системи моніторингу стану серцево-судинної системи . Сучасний захист інформації. 2016. №4. С.111-115.
4. Семко О.В. і Семко В.В. “Математична модель телемедичної системи,” I Міжнародна науково-практична конференція «Modern Trends in the Development of Economy, Technology and Industry»: Тези доповідей. - 2025. – С. 97-99.

Сучасні технології бездротової передачі даних: параметри швидкості та стабільності мереж зв'язку

Дзюба В.А.¹, Єгоров В.О.²

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України¹,
Житомирський військовий інститут імені С.П.Корольова²,
E - mail: volodymyregorov@ukr.net*

Розвиток технологій бездротової передачі даних став ключовим фактором цифрової трансформації сучасного інформаційного простору. Постійне зростання попиту на високу швидкість, стабільність і безпеку зв'язку стимулює вдосконалення стандартів Wi-Fi, Bluetooth, LTE, а також розробку нових систем комунікації, орієнтованих на потреби мобільних мереж, супутникового зв'язку та Інтернету речей (IoT). Основна

мета дослідження полягає у визначенні особливостей впливу цих технологій на швидкість передавання даних, стійкість сигналу та стабільність мережевого функціонування.

Wi-Fi (Wireless Fidelity) — це одна з найпоширеніших технологій короткодіапазонного зв'язку, яка працює на частотах 2,4 і 5 ГГц у межах стандартів 802.11a/b/g/n/ac/ax. Вона забезпечує високі швидкості передавання даних — до кількох гігабіт на секунду — та використовується для побудови локальних мереж у житлових, офісних і громадських середовищах. Основними факторами, що впливають на ефективність Wi-Fi, є відстань між точкою доступу та користувацьким пристроєм, перешкоди у вигляді фізичних об'єктів, інтерференція від інших джерел сигналу та перевантаження радіоканалу. Зі збільшенням відстані або кількості користувачів швидкість і стабільність зв'язку поступово знижується, що потребує оптимізації каналів, балансування навантаження та впровадження адаптивних антенних систем.

Bluetooth є технологією ближнього радіозв'язку, призначеною для обміну невеликими обсягами даних між пристроями на коротких відстанях. Використовуючи частотний діапазон 2,4 ГГц і стандарти з низьким енергоспоживанням, такі як Bluetooth Low Energy (BLE), вона широко застосовується у персональних і портативних пристроях — навушниках, сенсорах, периферії, пристроях «розумного дому». Попри нижчу швидкість передавання (у середньому 1–3 Мбіт/с), Bluetooth характеризується високою надійністю, стійкістю до перешкод та мінімальним енергоспоживанням, що робить його оптимальним для енергоефективних систем.

LTE (Long-Term Evolution) є стандартом мобільного зв'язку четвертого покоління, який забезпечує високошвидкісний доступ до Інтернету на великих відстанях і підтримує частоти від 700 до 2600 МГц. У типових сценаріях LTE досягає швидкостей сотень мегабіт за секунду, забезпечуючи мобільність користувачів і передачу даних у реальному часі. Однак стабільність роботи LTE залежить від багатьох чинників: потужності сигналу, віддаленості від базової станції, щільності абонентів, топології мережі та погодних умов. Для підвищення ефективності використовуються технології MIMO, OFDMA та адаптивне керування ресурсами радіоканалу.

Порівняльні експерименти з використанням бездротових пристроїв показали, що якість з'єднання визначається співвідношенням потужності сигналу до рівня шуму (SNR), характеристиками антен, типом модуляції та алгоритмами корекції помилок. Для Wi-Fi швидкість передавання помітно знижується при зростанні відстані понад 30 метрів у закритих приміщеннях; для Bluetooth межа стабільної роботи становить

8–10 метрів без прямих перешкод; для LTE середня швидкість у міських умовах коливається від 20 до 150 Мбіт/с залежно від завантаженості мережі.

Важливим чинником стабільності зв'язку є також стійкість до зовнішніх перешкод. Для Wi-Fi і Bluetooth критичними є інтерференційні завади від мікрохвильових пристроїв, бездротових мишей і клавіатур, а також перехресні сигнали від сусідніх мереж. LTE частіше стикається з ефектами багатопроменевого поширення, що призводить до флуктуацій сигналу. Для компенсації цих ефектів сучасні системи використовують алгоритми динамічного перерозподілу частот, фазову синхронізацію та інтелектуальні антенні решітки.

Під час дослідження також проаналізовано аспекти безпеки передавання даних у бездротових мережах. Зокрема, розглянуто протоколи шифрування WPA3, AES і алгоритми захисту автентифікації користувачів. Для супутникових систем зв'язку і мереж LTE передбачено використання спеціалізованих програмно-апаратних комплексів для моніторингу, перехоплення і декодування сигналів, що дозволяє ідентифікувати слабкі місця у протоколах і підвищувати їх захищеність.

Таким чином, швидкість і стабільність роботи сучасних систем бездротового зв'язку залежать від комплексу факторів — технологічних, просторових і середовищних. Wi-Fi є оптимальним для високошвидкісного обміну даними в локальних мережах, Bluetooth — для енергоефективних короткодістанційних з'єднань, тоді як LTE забезпечує мобільність і високі швидкості на великих відстанях. Комплексне поєднання цих технологій формує гнучку архітектуру сучасних систем зв'язку, здатних забезпечити стабільний, захищений і високопродуктивний обмін інформацією у цивільному, військовому та промисловому секторах.

Адаптивний метод застосування перемержувачів в безпроводних системах передачі даних

Пазинін А. С.

*Інститут телекомунікацій та глобального інформаційного простору
НАН України*

Дослідження представляє глибокий порівняльний аналіз двох стратегій автоматичного масштабування Kubernetes: стандартного реактивного горизонтального автомасштабування (HRA) та просунутого проактивного контролера на основі машинного навчання, що використовує

нейронну мережу Long Short-Term Memory (LSTM). Запропонований контролер ML постійно збирає показники використання процесора в режимі реального часу з Prometheus, попередньо обробляє їх і навчає адаптивну модель LSTM, здатну до короткострокового прогнозування коливальних навантажень. На основі прогнозованого навантаження на процесор контролер самостійно регулює кількість реплік підів через API Kubernetes, публікуючи як прогнозні дані, так і рішення щодо масштабування в Pushgateway для моніторингу та візуалізації в Grafana.

Експериментальна установка була розгорнута в Azure Kubernetes Service (AKS) в умовах контрольованого циклічного навантаження на процесор, що дозволило безпосередньо порівняти поведінку HPA та LSTM при масштабуванні. Результати оцінки продемонстрували, що проактивне масштабування на основі ML зменшило загальне споживання vCPU приблизно на 30% порівняно з HPA, зберігаючи при цьому ту саму якість обслуговування та швидкість реагування. Крім того, запропонована система значно скоротила затримки реакції при збільшенні та зменшенні масштабу, мінімізувала коливання кількості реплік та забезпечила більш плавний розподіл ресурсів.

У дослідженні зроблено висновки, що інтеграція прогнозного моделювання в процес автоматичного масштабування підвищує ефективність, стабільність і економічність кластера. Підхід на основі LSTM виявляється особливо вигідним для додатків з повторюваними або сезонними моделями трафіку, створюючи основу для майбутніх досліджень в області інтелектуального, самоадаптивного управління ресурсами в хмарних середовищах.

Список використаних джерел:

1. Kubernetes. Horizontal Pod Autoscaling. Kubernetes Documentation. 2024–2025. URL: <https://kubernetes.io/docs/tasks/run-application/horizontal-pod-autoscale/>
2. Kubernetes. HorizontalPodAutoscaler walkthrough (CPU/Memory metrics). Kubernetes Documentation. 2023. URL: <https://kubernetes.io/docs/tasks/run-application/horizontal-pod-autoscale-walkthrough>
3. Kubernetes. Resource metrics pipeline (Metrics Server). Kubernetes Documentation. 2024. URL: <https://kubernetes.io/docs/tasks/debug/debug-cluster/resource-metrics-pipeline/>
4. Kubernetes. Metrics for Kubernetes Object States (kube-state-metrics). Kubernetes Documentation. 2023. URL: <https://kubernetes.io/docs/concepts/cluster-administration/kube-state-metrics/>

5. Prometheus. Data model. Prometheus Documentation. URL: https://prometheus.io/docs/concepts/data_model/ Prometheus
6. Prometheus. Pushing metrics / When to use the Pushgateway. Prometheus Documentation. URL: <https://prometheus.io/docs/instrumenting/pushing/> ; <https://prometheus.io/docs/practices/pushing>
7. Grafana Labs. Time series visualization (and fundamentals). Grafana Documentation. URL: <https://grafana.com/docs/grafana/latest/panels-visualizations/visualizations/time-series/> ; <https://grafana.com/docs/grafana/latest/fundamentals/timeseries/>
8. Microsoft. Azure Kubernetes Service (AKS): What is AKS? / Core concepts. Microsoft Learn. 2025. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/aks/what-is-aks> ; <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/aks/core-aks-concepts>
9. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short-Term Memory. Neural Computation, 9(8), 1997. (офіційний препринт JKU). URL: <https://www.bioinf.jku.at/publications/older/2604.pdf>
10. Dang-Quang N.-M., Yoo M. Deep Learning-Based Autoscaling Using Bidirectional LSTM for Kubernetes. Applied Sciences 11(9):3835, 2021. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/9/3835>
11. Гутман Д., Сирота О. Проактивне автоматичне масштабування вверх для Kubernetes. Адаптивні системи автоматичного управління, т. 1, № 42, 2023, с. 32–38.
12. Rolik O., Volkov V. Method of Horizontal Pod Scaling in Kubernetes to Omit Overregulation. Information, Computing and Intelligent Systems, № 5, 2024, с. 55–67.
13. Fedoryshyn B., Krasko O. Міграція сервісів в кластері Kubernetes на основі прогнозування навантаження. ICT in Education, Research and Industrial Applications (ICTEE), вип. 4(2), 2024, с. 82–92.
14. Боярчук С., Тищенко І. Моделі прогнозування часових рядів ARIMA та LSTM в економіці та фінансах. Computer Design Systems. Theory and Practice, т. 7, № 1, 2025, с. 172–180.
15. Масвський Я., Праворська Н. Підвищення ефективності автоматизації масштабування мікросервісів у системі керування контейнеризованими застосунками Kubernetes. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки, № 5(313), 2022, с. 260–264.

Використання активного контексту користувача в системі керування підприємством для покращення результатів універсального інтерфейсу на основі генеративного ШІ

Іванов І.А.

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України,
E - mail: b72c6b@icloud.com*

Сучасні системи керування підприємствами працюють у середовищі постійно зростаючих масивів даних та складних взаємозв'язків між ними. Користувачі мають справу з різними типами об'єктів (документами, звітами, записами у базах даних, повідомленнями) що ускладнює швидке знаходження потрібної інформації і прийняття рішень. Традиційні інтерфейси вимагають від користувача знання структури даних і точного формулювання запитів, що створює додаткове когнітивне навантаження.

Зростаючий інтерес викликають універсальні інтерфейси на основі генеративного штучного інтелекту, які дозволяють взаємодіяти з даними підприємства природною мовою. Водночас їхня ефективність значною мірою залежить від якості сформульованого користувачем запиту: якщо він не зазначає додаткову інформацію, необхідну для розуміння завдання, відповіді можуть бути неповними або взагалі нерелевантними. Це особливо актуально для систем, де користувачі працюють із великою кількістю взаємопов'язаних об'єктів і не можуть витратити час на уточнення запитів. Ефективність взаємодії напряму впливає на швидкість ухвалення управлінських рішень [1].

Метою дослідження є виявлення проблеми неповноти та нерелевантності відповідей універсальних інтерфейсів на основі генеративного штучного інтелекту (ШІ) у системах керування та формулювання концепції підходу що відповідає наведеним викликам.

За підсумками досліджень запропонована концепція полягає у зміні функціональної ролі інтерфейсних модулів. Традиційно вони лише відображають дані користувачеві у вигляді списків, таблиць чи графіків. У запропонованому підході такі модулі виконують додаткову приховану функцію, а саме постачання контексту.

Технічно це означає, що кожен інтерфейсний модуль має доступ до відповідного сховища даних (data store) й автоматично додає до нього інформацію про поточний об'єкт. Це можуть бути його властивості, стан, останні зміни та зв'язки з іншими об'єктами. Також враховується

історія повідомлень від користувачів і ботів. Вона узагальнюється у стилний підсумок, який фіксує важливі деталі, відсутні у базі даних. При цьому забезпечується контроль доступу, адже у контекст передаються лише ті властивості об'єкта, які відповідають правам поточного користувача.

Такий підхід дозволяє моделі одразу розуміти, у якому середовищі поставлено запит, до яких даних можна звернутися, які події вже відбулися навколо об'єкта і з чим він пов'язаний. У відповідь на користувачський запит ШІ може не лише згенерувати текст, а й автоматично викликати інструменти: сформулювати запит до бази даних, побудувати діаграму, створити порівняльний звіт чи згенерувати завдання для іншого користувача.

У результаті застосування такого підходу очікується, що відповіді користувачу мають стати точнішими, отримуватись швидше та вимагати менше уточнень. Система повинна забезпечити стабільність і контрольованість результатів, знизити частоту помилкових або вигаданих тверджень і сприяти більш ефективному використанню даних у процесах управління.

Попередні дослідження показали, що зростання ентропії інформації в управлінських системах прямо пов'язане з неузгодженістю даних, не своєчасністю оновлень і відсутністю цілісної інформаційної моделі. Запропонований підхід розглядає активний контекст як інструмент зменшення інформаційної ентропії за рахунок підвищення повноти й узгодженості даних, доступних користувачу під час прийняття рішень.

Перевірка ефективності запропонованого рішення передбачає оцінку з кількох перспектив. Насамперед важливо порівняти точність і корисність відповідей універсального інтерфейсу з контекстом і без нього. Якщо користувач швидше отримує потрібну інформацію та менше стикається з помилками, це свідчить про позитивний вплив.

Другою складовою є аналіз зручності взаємодії. Тут береться до уваги, скільки кроків необхідно для досягнення результату та як часто користувачеві доводиться уточнювати свій запит. Зменшення цих показників вказує на підвищення ефективності роботи.

Третій аспект стосується стабільності та безпеки. Система має рідше генерувати некоректні факти та виключати випадки доступу до даних, які користувачу не дозволено бачити. Це показує, що контекст допомагає моделі діяти точніше й більш контрольовано.

У сукупності такі критерії дозволяють оцінити, чи дійсно активний контекст робить універсальний інтерфейс на основі генеративного ШІ більш придатним для реального використання [2].

Дослідження показує, що використання активного контексту може суттєво підвищити ефективність універсальних інтерфейсів на основі генеративного ШІ у системах керування підприємством. Завдяки цьому інтерфейси перестають залежати лише від точності запиту користувача й можуть не просто надавати інформацію, а й допомагати у прийнятті рішень. Це відкриває можливості для простішої та продуктивнішої взаємодії людини з системою, роблячи управлінські процеси більш надійними та результативними.

Список використаних джерел:

1. SANTOS, Arlindo, et al. Context-Aware Systems Architecture in Industry 4.0: A Systematic Literature Review. *Applied Sciences*, 2025, 15.11: 5863.
2. YU, Liang, et al. Measuring the quality of generative AI systems: Mapping metrics to quality characteristics-Snowballing literature review. *Information and Software Technology*, 2025, 107802.

Використання нейромереж в геоінформаційних системах: виявлення та класифікація пошкоджених об'єктів

Кавун В.

*Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний
інститут", Харків*

В нинішній час, питання швидкої та якісної актуалізації фіксації наслідків бойових дій, набуває особливої важливості. Існує багато підходів до розв'язання цього завдання, проте, зважаючи на їхні переваги та недоліки, важливо обрати найбільш ефективні та перспективні. Одним із таких підходів є глибоке навчання, що передбачає створення масштабних нейронних мереж, здатних приймати високоточні рішення шляхом виявлення прихованих закономірностей у великих і складних масивах даних [1]. Цей підхід має особливе значення під час аналізу зображень, зокрема у випадках роботи з космічними та аерофотознімками. Використання методів глибокого навчання сприяє автоматизації процесів, які раніше потребували значних часових і ресурсних витрат.

Для розв'язання поставленого завдання було обрано два підходи, що ґрунтуються на методах глибокого навчання. Перший із них передбачає застосування архітектури Mask R-CNN, яка використовується для виявлення та оцифрування будівель на зображеннях, отриманих до

початку бойових дій. Другий підхід базується на використанні загорткових нейронних мереж (CNN), призначених для класифікації оцифрованих будівель на знімках, зроблених після бойових дій.

Згорткові нейронні мережі (CNN) характеризуються здатністю перетворювати зображення у числові представлення, які надалі аналізуються за допомогою спеціалізованих алгоритмів для виявлення закономірностей і ідентифікації ключових просторових ознак [2, 3]. Однією з найефективніших архітектур глибокого навчання у цій галузі є Mask R-CNN, що поєднує виявлення об'єктів із генерацією сегментаційних масок [4].

Практична реалізація даного етапу була виконана в програмному середовищі ArcGIS. Попередньо підготовлені дані для навчальної вибірки експортувалися за допомогою інструмента «Експорт навчальних даних для глибокого навчання». Для тренування моделі використовувалося середовище Jupyter Notebook, інтегроване в ArcGIS, а також бібліотека `arcgis.learn`, що забезпечує реалізацію алгоритмів глибокого навчання.

Після імпортування даних було проведено навчання моделі Mask R-CNN на підготовленому наборі зображень. Основним параметром процесу навчання виступала кількість епох, тобто число проходжень моделі через увесь навчальний набір. У процесі навчання здійснювався моніторинг точності як на навчальних, так і на валідаційних даних. Для наочного відображення результатів були побудовані графіки залежності точності від кількості епох, що дозволило візуалізувати динаміку навчання. Після досягнення оптимальних показників точності треновану модель було збережено для подальшого використання.

Подальший етап дослідження здійснювався з використанням бібліотек TensorFlow та Keras. Дані, отримані в результаті роботи попередньої моделі, яка здійснювала виявлення геометричних контурів будівель, були експортовані для подальшого аналізу. Аналогічно до попереднього підходу, проведено імпорт і попередню обробку даних, під час якої здійснено нормалізацію піксельних значень у діапазоні від 0 до 1, що сприяє підвищенню ефективності процесу навчання.

Наступним кроком стало створення моделі для класифікації будівель на дві категорії — пошкоджені та непошкоджені. У даній роботі архітектуру мережі було сформовано вручну, хоча в інших випадках можливе застосування готових попередньо налаштованих моделей. Спочатку створюється порожня модель, що не містить жодних шарів або параметрів. Далі до неї послідовно додаються згорткові шари, відповідальні за виділення характерних ознак зображень, та шари

об'єднання (pooling), які зменшують розмірність простору ознак і скорочують обчислювальні витрати.

Під час додавання кожного шару задаються основні параметри — кількість фільтрів, розмір ядра згортки, функція активації та інші характеристики, що визначають поведінку мережі. Після завершення формування архітектури здійснюється компіляція моделі, яка передбачає налаштування параметрів навчання: вибір оптимізатора (у даному випадку — Adam), функції втрат та метрик оцінки продуктивності, зокрема точності (assigasy).

Фінальним етапом є навчання та валідація моделі, які виконуються за аналогічним принципом, як і під час попереднього експерименту, що дозволяє оцінити ефективність розробленої архітектури для поставленої задачі класифікації.

Висновок. Дві створені моделі було застосовано до знімків Борівської ОТГ, Северодонецьку, Краматорську, Лиману, які отримано до та після бойових дій. За результатами роботи моделей оцінено точність виявлення та класифікація будівель, пошкоджений територій лісного та сільського господарства. Обґрунтовано перспективність запропонованого методу

Список використаних джерел:

1. Kelleher, John D. Deep learning. MIT press, 2019.
2. Convolutional neural network (CNN). URL: <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/convolutional-neural-network> (Last accessed: 24.03.2024).
3. Aghdam, H. H., & Heravi, E. J., 2017. Guide to convolutional neural networks. New York, NY: Springer, 10(978-973), 51.
4. He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., Girshick, R., 2017. Mask R-CNN. Proceedings of the IEEE international conference on computer vision, pp. 2961-2969.

Dual ML Models for Policy-Structure Integration in BPM under Digital Transformation

Serhii Korotenko, Roman Yarovyj

*Private Higher Education Establishment "European University", Kyiv,
Ukraine*

s.korotenko@e-u.edu.ua, roman.yaroviy@e-u.edu.ua

In modern organizations, Business Process Management (BPM) systems are designed to ensure that operations are performed correctly according to defined rules and roles. However, even with clear constraints in execution systems, the link between a policy that defines a rule and the actual action within a process is often implicit. As Dumas et al. (2018) note, business processes formalize how work should be performed, while policies define under what conditions it may be performed [1]. As a result, BPM systems control which actions are allowed but do not explicitly show which policy or regulation governs those restrictions, nor whether all relevant rules have been considered.

Van der Aalst (2016) emphasizes that most BPM solutions implement only imperative flow control, leaving the normative context outside of analytical consideration [2]. This gap between the process perspective and the policy perspective limits an organization's maturity in achieving integrated management [3]. It also reduces transparency and restricts the analytical capabilities of BPM systems [4].

The new approach is proposed for integrating policies and roles into BPM processes using dual ML models that combine structural (graph-based) and semantic (text-based) representations. This approach helps formalize constraints, detect compliance gaps, and analyze how policies influence process performance.

At the first stage, policies in the form of textual documents (document, section, sentence) are converted into vector representations using. Similarly, the process structure is represented through graph embeddings generated from the process nodes and edges. Both sets of vectors are stored in two independent vector databases, each describing its own space: the normative (policy space) and the operational (process space). These vectors exist in different dimensions because they have distinct natures - semantic and structural.

At the second stage, a dual ML model is trained to align these two spaces using a mapping function $f: (p_i, s_j) \rightarrow z_{ij}$, where p_i represents the embedding of a policy, s_j - is the embedding of a process element, and jz_{ij} - denotes

their shared latent representation in a unified space. Training is performed on policy–process pairs identified through common entities such as roles, actions, or artifacts, through automatic clustering of embeddings to detect hidden correspondences. This approach eliminates the need for manual mapping, enabling the model to learn semantic and structural relationships directly from data.

As a result, a semantic alignment layer is formed that connects normative constraints with the operational logic of business processes. The resulting model can detect inconsistencies between policies and real process executions, highlight missing or redundant rules, and trace which roles or artifacts are governed by specific policies (see Fig. 1).

For practical implementation, the dual model can be formulated as a minimization problem of the distance between the two vector spaces: $\mathcal{L}_{align} = \sum_{i,j} ||f(p_i) - g(s_j)||^2$, where $f(p_i)$ and $g(s_j)$ represent the mappings of policy and process embeddings into a shared latent space.

Minimizing this function ensures semantic alignment between normative and operational knowledge, allowing the model to account for the context of permitted actions. This, in turn, improves the accuracy, explainability of results, and how policies influence process performance.

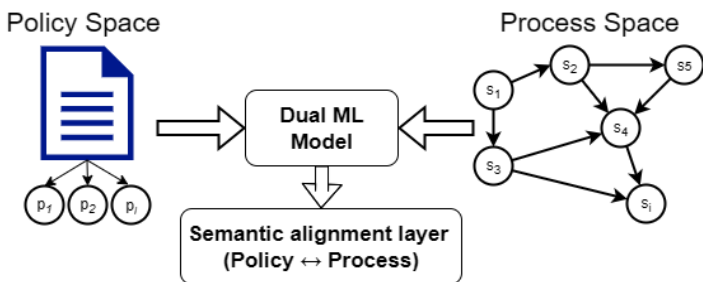


Fig. 1. Conceptual architecture of the Dual ML

A potential direction for future research is to extend the dual model into a multimodal framework, where policies, processes, roles, and KPIs are treated as interconnected layers of a corporate knowledge graph (POKG). This would enable the development of adaptive management systems in which policy updates dynamically modify the structural constraints and masks used for ML training, ensuring that models remain consistent with the organization's current rules and process context.

References:

- [1] M. Dumas, M. La Rosa, J. Mendling, and H. A. Reijers, Fundamentals of Business Process Management. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018. doi: 10.1007/978-3-662-56509-4.
- [2] W. Van der Aalst, Process Mining. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016. doi: 10.1007/978-3-662-49851-4.
- [3] J. vom Brocke and M. Rosemann, Eds., Handbook on Business Process Management 1. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015. doi: 10.1007/978-3-642-45100-3.
- [4] A. Beheshti, B. Benatallah, H. R. Motahari-Nezhad, S. Ghodratnama, and F. Amouzgar, "A Query Language for Summarizing and Analyzing Business Process Data," Process Querying Methods, pp. 21–48, May 2021, doi: 10.1007/978-3-030-92875-9_2.

Методика співставлення зображень у символному представленні

Крохмаль А.В.¹, Захожай О.І.²

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України¹, Східноукраїнський національний
університет імені Володимира Даля²
E - mail: krohmal.a@snu.edu.ua¹, zoi@snu.edu.ua²*

В сучасному світі системи розпізнавання образів (СРО) широко використовуються для задач інтелектуального аналізу та обробки візуальної інформації, що робить ці системи надзвичайно актуальними. Відомим є метод перетворення растрових зображень у символне представлення, що ґрунтується на використанні символів таблиці Shift-JIS для опису структури піксельної матриці за принципом схожості із зображенням відповідного гліфа [1]. Даний метод дозволяє компактно записати візуальну інформацію при формуванні словника еталонів та спростити їх співставлення зі зразком, що розпізнається. Отже, ефективність СРО, що використовують таке перетворення, напряму залежить від ефективності методу порівняння візуальних даних у символному представленні. Тому розробка та вдосконалення таких методів співставлення є актуальною науково-технічною задачею.

Зображення у символному представленні являє собою символну послідовність, що розміщується у пам'яті по рядках, які розділені символом переведення строки. Тому порівняння таких зображень відбува-

ється шляхом порівняння кодів відповідних символів. Застосування традиційних методів порівняння строкових даних, таких як алгоритми Левенштейна, Рабіна–Карпа [2] тощо, в даному випадку є неефективним, так як вони не враховують природи символного представлення інформації, а саме відсутності жорсткого критерію співпадіння символів.

Для даної задачі доцільним буде використання певної шкали, що відображатиме ступінь структурної схожості (або несхожості) зображень гліфів для кожної пари символів.

Для розрахунку значень матриці подібності символів було застосовано метод вкладень (embeddings) – перетворення, що реалізує відображення вхідних даних у точку в багатовимірному просторі. Для цього застосовано методіку перенесення навчання, що ґрунтується на використанні попередньо навченої нейронної мережі для оптичного розпізнавання символів (OCR) без кінцевих класифікаційних шарів (рис. 1). У цьому підході вхідне зображення символу розміром 28x28 пікселів послідовно обробляється згортковими шарами, які виділяють ієрархію ознак, від локальних контурів і штрихів до більш складних структурних патернів. Після проходження через мережу, інформація стискається у вектор ознак сталої розмірності. Розмірність останнього була додатково зменшена зі 128 до 10 за допомогою методу t-SNE [3].

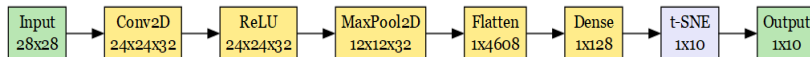


Рисунок 1 – Структурна схема розробленого вкладення

Отримані даним способом вкладення відображатимуть семантичні зв'язки між можливими варіаціями вхідних даних, а саме структурну схожість між символами. На рис. 2 (а) наведено візуалізацію отриманих вкладень, отриману шляхом додаткового зменшення розмірності простору ознак до двох. Різними кольорами позначено окремі кластери – скупчення символів, подібних за структурою. Це підтверджує наступну властивість вкладень: геометрична близькість отриманих векторів відображає ступінь подібності між символами (чим менша відстань між точками, тим більш схожими є відповідні зображення).

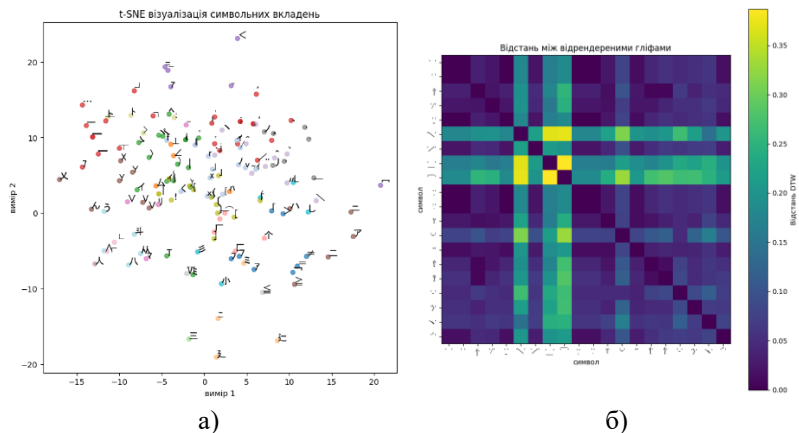


Рисунок 2 – Візуалізація символічних вкладень (а) та фрагмент матриці відстаней (б)

Для виведення шуканої матриці було розраховано евклідову відстань для кожної пари символів. Отримана матриця (рис. 2 (б)) містить нулі на головній діагоналі, що позначає повне співпадіння, та є симетричною, що означає незалежність порядку порівняння.

Таким чином, запропонований підхід порівняння вводить кількісну оцінку відмінності між символами замість бінарного критерію рівності їх кодів, а застосування попередньо розрахованих значень у вигляді пошукової таблиці забезпечує швидке виконання співставлення.

Список використаних джерел:

1. Захожай О.І., Крохмаль А.В. Метод і програмне забезпечення символічного перетворення растрових зображень – Наукові вісті Дніпровського університету. №26. 2024р. DOI: 10.33216/2222-3428-2024-26-1.
2. Alkhamaiseh Koloud, ALShagarin Shadi. A Survey of String Matching Algorithms – International Journal of Engineering Research and Applications. №4. 2014. P 144-156.
3. Van der Maaten Laurens, Hinton Geoffrey. Visualizing data using t-SNE – Journal of Machine Learning Research. №9. 2008. P 2579-2605.

Алгоритми людино-машинної взаємодії з ChatGPT для науково-прикладних задач

Кряжич О.О., Ющенко К.С., Купрін О.М.

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України,
E - mail: econotconsult@gmail.com*

Сучасна епоха характеризується переходом від автоматизації окремих процесів до когнітивної взаємодії між людиною та штучним інтелектом (ШІ). Системи на кшталт ChatGPT не лише виконують роль інструментів пошуку чи генерації текстів, але й виступають активними співрозмовниками, консультантами, аналітиками. У межах інформаційних технологій формується нова парадигма – інтелектуальна людино-машинна співпраця, що ґрунтується на принципах природної мови [1], семантичного аналізу, контекстного навчання та адаптивного прийняття рішень.

Метою роботи є представлення підходу до створення алгоритмів людино-машинної взаємодії в середовищі ChatGPT для розв'язання науково-прикладних задач за напрямками аналітики, моделювання, освіти та технічних досліджень.

Класичні моделі взаємодії людини з машиною (HCI) будуються на підході «користувач – інтерфейс – обчислювальна система». Проте поява ChatGPT змінила цю архітектуру: мовна модель сама є інтерфейсом, що забезпечує гнучкий діалоговий канал між людиною і системою знань.

Основними характеристиками нового рівня взаємодії є семантична інтерпретація запитів користувача замість прямого синтаксичного аналізу, контекстна пам'ять моделі, що зберігає зміст діалогу, адаптивне навчання та генеративна трансформація даних у різних форматах (текст, код, схема, таблиця).

Формально процес можна подати як ітераційний алгоритм НАІ (Human-AI Interaction):

$$S_{i+1} = f_{GPT}(S_i, C_i, R_i), \quad (1)$$

де:

S_i – стан діалогу на ітерації i ;

C_i – контекст (попередні повідомлення, дані);

R_i – реакція користувача (оцінка, уточнення);

f_{GPT} – трансформаційна функція моделі ChatGPT.

Однією з ключових переваг ChatGPT є здатність розкласти складну наукову задачу на підзадачі через багаторівневу семантичну обробку запиту. Це дозволяє створювати алгоритми типу Prompt Decomposition Pipeline, що моделюються наступним чином:

```
def research_pipeline(topic):  
    sub_tasks = gpt("Decompose the research topic into logical sub-  
tasks: " + topic)  
    for t in sub_tasks:  
        result = gpt(f"Provide a detailed solution or analysis for: {t}")  
        save(result)
```

Такий підхід використовується, наприклад, у побудові наукових гіпотез, структуризації літературних оглядів чи розробці концептуальних моделей.

У межах інтеграції ШІ у дослідження формується новий клас алгоритмів – Knowledge Encoding Algorithms (KEA), які забезпечують перетворення природномовних описів у формалізовані структури даних. Наприклад, ChatGPT може трансформувати текстовий опис експерименту у Python-код для моделювання:

```
import numpy as np  
from sklearn.ensemble import ExtraTreesRegressor  
  
# Моделювання факторного впливу  
X = np.random.rand(100, 5)  
y = 3*X[:,0] + 2*X[:,1] - X[:,2] + np.random.randn(100)*0.1  
  
model = ExtraTreesRegressor(n_estimators=200)  
model.fit(X, y)  
  
importance = model.feature_importances_  
print("Вагомість факторів:", importance)
```

Таким чином, модель ChatGPT виступає посередником між мовним описом і формальним програмним кодом, що пришвидшує цикл «ідея → експеримент → аналіз».

Взаємодія дослідника з ChatGPT відбувається у форматі інтерактивного експерименту, де модель виступає співмодератором:

- 1) Користувач формулює задачу природною мовою.

- 2) ChatGPT пропонує варіанти реалізації.
- 3) Виконується симуляція, аналіз результатів.
- 4) Модель адаптує алгоритм з урахуванням відгуку користувача.

ChatGPT може виконувати роль когнітивного агента, що аналізує результати, наприклад, здобувачів освіти, і формує їх індивідуальні траєкторії навчання. Подібний алгоритм може бути реалізований через Python-інтерфейс OpenAI API та LightFM:

```
from lightfm import LightFM
from lightfm.data import Dataset
```

```
dataset = Dataset()
dataset.fit(users, materials)
model = LightFM(loss='warp')
model.fit(interactions, epochs=20)
```

```
recommendations = gpt("Generate explanation for recommended
materials based on user profile")
```

При розробці алгоритмів людино-машинної взаємодії з ChatGPT для науково-прикладних задач слід пам'ятати, що типова архітектура людино-машинної взаємодії з ChatGPT має багаторівневу структуру. В ній кожен шар виконує власну функцію, але водночас тісно пов'язаний з іншими, утворюючи цілісну когнітивну систему. На першому рівні розташований користувацький інтерфейс, який забезпечує природномовну взаємодію між дослідником і системою. Через нього формуються запити, уточнення контексту, здійснюється керування перебігом діалогу. Цей рівень реалізується у вигляді вебінтерфейсів або API, що дозволяють інтегрувати ChatGPT у наукові середовища та аналітичні панелі.

Другий рівень – семантичний шар, де відбувається глибинна обробка запитів, розпізнавання намірів користувача, узгодження контексту та формування внутрішнього представлення знань. Тут активуються GPT-моделі й механізми векторних подань, що дозволяють перетворювати природну мову у математично формалізовану структуру даних.

На третьому рівні функціонує аналітичний шар, який відповідає за обчислення, моделювання, класифікацію, прогнозування чи оптимізацію. Саме тут інтегруються зовнішні програмні засоби, які ми можемо використати для побудови алгоритмів взаємодії: Python, R, MATLAB або середовища машинного навчання, що забезпечують перехід від текстового опису до кількісних результатів.

Четвертий рівень становить візуалізаційний шар, який відповідає за інтерпретацію результатів у вигляді графіків, схем, діаграм чи інтерактивних панелей. На цьому етапі дані, оброблені на попередніх рівнях, набувають наочного вигляду за допомогою бібліотек типу Plotly чи Matplotlib, що робить взаємодію більш зрозумілою для користувача.

Нарешті, експертний шар виконує функцію адаптації та навчання системи на основі досвіду користувача. Тут застосовуються методи навчання з підкріпленням, які дозволяють удосконалювати якість відповідей, формувати персоналізовані моделі поведінки й створювати ефект «інтелектуального співрозмовника». У сукупності ці п'ять шарів утворюють архітектуру когнітивної взаємодії, у якій ChatGPT виступає ядром, що поєднує мовне мислення людини з аналітичними можливостями штучного інтелекту.

За підсумками дослідження сформовано поняття штучноінтелектуальної грамотності, що охоплює вміння формулювати промпти, оцінювати відповіді, оптимізувати алгоритми взаємодії при розробці алгоритмів людино-машинної взаємодії з ChatGPT для науково-прикладних задач, а також проведена апробація розроблених алгоритмів в системах тестування знань здобувачів освіти.

Список використаних джерел:

1. Кряжич О.О., Васенко О.В., Ісак Л.М., Бабак О.А., Грицишин В.О. Метод побудови запитів до чат-ботів на основі штучного інтелекту. Міжнародний науково-технічний журнал Проблеми керування та інформатики. - 2024. - № 2. - С. 84-96.

Інформаційне моделювання та аналітичні виклики у створенні математичних систем електронної документації

Марущак В.М., , Зогова Л.В., Хабова Н.В.

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України,
E - mail: deusplus@gmail.com*

Розробка комплексної математичної моделі для систем електронної документації є надзвичайно складним міждисциплінарним завданням, що потребує інтеграції методів обробки даних, штучного інтелекту, лінгвістичного аналізу та математичного моделювання. Основна склад-

ність полягає у багатовимірності та варіативності інформаційних потоків, які утворюються під час створення, зберігання та обробки електронних документів. Електронна документація охоплює широкий спектр форматів — від текстових файлів до зображень, аудіо- і відеоматеріалів, метаданих, гіперпосилань та інтерактивних елементів. Кожен тип таких даних має власну структуру, що створює додаткові труднощі при розробці універсальної моделі, здатної їх узагальнювати.

Побудова ефективної математичної моделі потребує урахування різних рівнів складності — структурної, семантичної та логічної. На структурному рівні необхідно створити алгоритми, які зможуть розпізнавати й аналізувати багаторівневі формати документів, інтегрувати дані з різних джерел і відновлювати зв'язки між ними. На семантичному рівні стоїть завдання забезпечення змістової інтерпретації інформації, зокрема розпізнавання контексту, намірів автора й прихованих взаємозв'язків між текстовими або візуальними об'єктами. Логічний рівень відповідає за створення механізмів автоматичного класифікування, пошуку закономірностей та прогнозування інформаційних процесів.

Особливої уваги потребує робота з неструктурованими даними, які становлять значну частку електронних документів. До них належать текстові повідомлення, електронні листи, публікації в соціальних мережах, цифрові звіти та веб-сторінки, які не мають чіткої формальної структури. Їхня обробка вимагає використання методів природномовного аналізу (Natural Language Processing, NLP), алгоритмів машинного навчання для розпізнавання тем, емоційних тональностей та змістових зв'язків. Такі дані важко класифікувати традиційними статистичними методами, тому необхідне поєднання синтаксичного, семантичного та контекстуального аналізу.

Важливим чинником є також мультимодальність даних. Сучасні електронні документи можуть одночасно містити текстову, графічну, звукову та відеоінформацію. Це потребує створення моделей, здатних інтегрувати та інтерпретувати дані різних модальностей у єдиному інформаційному просторі. Розробка таких моделей стикається з проблемами узгодження форматів, масштабування даних, синхронізації часових рядів та збереження змістової цілісності інформації.

Ще одним викликом є висока варіативність електронних документів за змістом, структурою та якістю. Навіть документи одного типу можуть суттєво відрізнятися за формою представлення, кількістю метаданих або ступенем формалізації. Це ускладнює процес автоматичної класифікації та створення універсальної математичної моделі, здатної забезпечити точну ідентифікацію, фільтрацію та категоризацію таких об'єктів.

Не менш важливою проблемою є мовне розмаїття. Електронні документи створюються різними мовами, а в межах однієї мови можуть містити діалектні форми, запозичення або технічну термінологію. Для ефективного аналізу потрібні моделі, що враховують лінгвістичні особливості кожної мови, структуру речення, морфологію та контекстуальні залежності. Розробка таких моделей вимагає поєднання філологічних знань і математичних методів оптимізації.

Крім мовних аспектів, на якість математичного моделювання впливає динамічність електронних даних. Документи постійно змінюються, оновлюються або видаляються, тому моделі повинні бути адаптивними, здатними до навчання на потоці інформації в режимі реального часу. Особливо це важливо для інформаційних систем, що працюють у сфері безпеки, електронного урядування чи кіберзахисту.

Одним з підходів до подолання цих труднощів є представлення систем електронної документації у вигляді графів. Такий підхід дозволяє виявляти зв'язки між документами, аналізувати структуру інформаційних потоків, визначати ключові вузли, через які проходять основні обсяги даних. Графові методи ефективні для виявлення вразливостей у мережах, відстеження підозрілих взаємодій та прогнозування потенційних ризиків. Їх можна поєднувати з технологіями машинного навчання для автоматичного виявлення закономірностей у великих масивах електронної інформації.

Отже, створення комплексної математичної моделі електронної документації є процесом, що вимагає глибокої міждисциплінарної підготовки, залучення фахівців з обчислювальної лінгвістики, штучного інтелекту, кібербезпеки, прикладної математики та інформаційних технологій. Успішне вирішення цих завдань дозволить розробити системи, здатні автоматично класифікувати, аналізувати та прогнозувати інформаційні процеси, підвищуючи ефективність управління даними, надійність зберігання і безпеку цифрових ресурсів у сучасному інформаційному суспільстві.

Аналіз впливу інформаційної невизначеності на узгодженість рекомендацій великих мовних моделей для кризових сценаріїв

Варер Б. Ю., Мокін В. Б.

Вінницький національний технічний університет,

email - androbor17@gmail.com

Прийняття рішень в кризових умовах є однією з найскладніших задач системного аналізу. Традиційно такі рішення приймаються експертами на основі емпіричних даних, математичних або інформаційних моделей, проте погляди експертів часто відрізняються.

З появою великих мовних моделей (LLM, від англ. “Large Language Model”) виникла можливість використання штучного інтелекту для формування комплексних управлінських рішень. Дослідження показують, що LLM мають потенціал ефективно обробляти значні обсяги інформації [1, 2], проте схильні до систематичних упереджень та “галюцинацій” [3, 4].

Метою роботи є дослідити вплив ступеню інформаційної невизначеності кризових сценаріїв для плану перемоги та відновлення України на узгодженість рекомендацій LLM щодо антикризових заходів.

Експеримент охоплював шість кризових сценаріїв з різним ступенем невизначеності: післявоєнне відновлення, пандемію, енергетичну кризу, фінансову кризу, стихійне лихо та продовольчий шок. На вхід моделей подавалися текстові описи сценаріїв разом із підмножинами можливих заходів для формування планів відновлення. Шаблон промπτу наведено на рис. 1. Використано п’ять провідних LLM: GPT-4o-mini, Claude Haiku 4.5, Mistral Large, Gemma 3 27B, Llama 3.3 70B.

You are a senior economic policy advisor. Create a concise, coherent recovery plan that optimizes outcomes using the provided factors (you may operationalize them with concrete steps).
Do not introduce additional factors. Keep it practical and implementable. Output 8-12 bullet points.”
Scenario: {сценарій}
Use the following factors:
- {список антикризових заходів}
Write the plan as concise bullet points (no preamble, no conclusion).

Рис 1. Шаблон промπτу для генерування плану

Згенеровані плани оцінювалися за визначеними критеріями тією ж множиною моделей в ролі експертів. Оцінки приводилися до шкали [0, 1] та агрегувалися в інтегральний показник якості J . Для кількісного оцінювання ефективності внеску моделлю m окремого заходу e в загальну якість плану p використано значення Шеплі з теорії ігор [5].

В результаті для кожної моделі отримано вектор значень Шеплі. За допомогою косинусної подібності векторів Шеплі для кожної пари моделей, визначено середній рівень узгодженості між згенерованими планами для кожного сценарію (рис. 2).

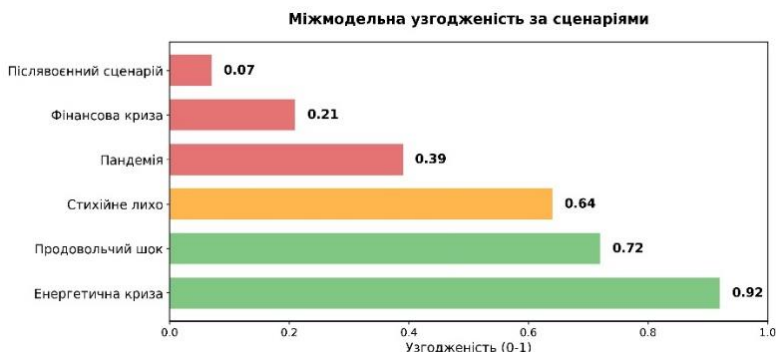


Рис 2. Середній рівень узгодженості між планами для кризових сценаріїв, згенерованими різними LLM

Значення близькі до 1 вказують на те, що плани, згенеровані різними моделями, отримують схожі оцінки при подібних або однакових антикризових заходах. Значення близькі до 0 свідчать про те, що плани, згенеровані різними моделями, демонструють майже повну відмінність у заходах.

Отже, виявлено систематичний зв'язок між характером кризи та рівнем узгодженості: сценарії з меншою інформаційною невизначеністю (енергетична криза, продовольчий шок) демонструють узгодженість у 4-13 разів вищу, ніж сценарії з високою невизначеністю (післявоєнне відновлення, фінансова криза).

Список використаних джерел:

1. Korinek A. Generative AI for Economic Research : LLMs learn to collaborate and reason. National Bureau of Economic Research Working Paper 33198. Cambridge, MA : NBER, 2024.

2. Li N., et al. EconAgent: Large Language Model-Empowered Agents for Simulating Macroeconomic Activities. ACL 2024 (Proceedings).
3. Guo Y., et al. EconNLI: Evaluating Large Language Models on Economics Reasoning. arXiv preprint arXiv:2407.01212, 2024.
4. Huang L., Yu W., Ma W., et al. A Survey on Hallucination in Large Language Models: Principles, Taxonomy, Challenges, and Open Questions. arXiv preprint arXiv:2311.05232, 2025.
5. Shapley L. A Value for n-Person Games. In: H.W. Kuhn & A.W. Tucker (Eds.), Contributions to the Theory of Games II, Princeton University Press, Princeton, 307-317.
6. План України. 2024–2027. – К., 2024. – 380 с.

Гібридний захист даних на основі гомоморфного шифрування та контент-адаптивної стеганографії

**Василь Триснюк¹, Кирило Сметанін², Ігор Гуменюк²,
Віктор Шумейко¹**

*¹ Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
НАН України, Київ, Україна*

*² Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова, Житомир,
Україна*

E-mail для листування: trysnyuk@ukr.net

Подано підхід до гібридного захисту даних, що поєднує гомоморфне шифрування зі стеганографічним вбудовуванням із керуванням бітовим навантаженням. Спершу повідомлення шифрується за схемою, яка підтримує базові обчислення над шифротекстами, далі шифропотік сегментується, доповнюється кодом виправлення помилок і тегом автентифікації та непомітно вбудовується в зображення-носії відповідно до карти «візуальної важливості», сформованої за локальними статистиками текстури. Референсний прототип демонструє, що за навантаження не більше 0,2 б/пк зберігається висока візуальна якість (PSNR не нижче 44 дБ), а наскрізна пропускна здатність перевищує 18 кбіт/с, що є достатнім для телеметричних і сервісних сценаріїв у мережах із підвищеними вимогами до конфіденційності.

Стрімка цифровізація та поширення хмарних сервісів і розподілених IoT-середовищ актуалізують задачі, де однаково важливі і захист змісту, і приховування самого факту передавання. Класичне шифрування гарантує конфіденційність, але залишає характерні ознаки шифрованого

трафіку, що полегшує його фільтрацію, цензурування та профілювання. Стеганографія, навпаки, маскує передачу, проте без криптографічного шару є вразливою у разі виявлення прихованого вмісту. Запропонована композиція вирішує обидві проблеми одночасно: гомоморфне шифрування забезпечує семантичну конфіденційність і дає змогу виконувати базові обчислення над зашифрованими даними, тоді як контент-адаптивне вбудовування мінімізує статистичну помітність змін у носії, розподіляючи навантаження переважно у ділянках з високою текстурною складністю. Сформований конвеєр включає нормалізацію і сегментацію повідомлення, гомоморфне шифрування з параметрами, достатніми для 128-бітної безпеки, легке каналне кодування для підвищення завадостійкості, пакування у бітовий потік і вбудовування за картою важливості, яка обчислюється з локальних дисперсій або градієнтних енергій. Для скорочення «відбитків» застосовується рандомізація вибору носіїв і параметрів розміщення, а також легкі синхромаркери з низькою видимістю. На приймальній стороні виконується зворотна послідовність операцій — виявлення позицій, дефреймінг, корекція помилок і розшифрування. Експериментальна оцінка проводилась на стандартних наборах сіротоновальних зображень з різними роздільними здатностями та навантаженнями у діапазоні від 0,05 до 0,20 б/пк. Якість оцінювалась за PSNR та SSIM, невиявність — за кривими ROC/AUC і пороговими метриками сучасних детекторів, а стійкість — за бітовою та кадровою імовірностями помилки після типових спотворень каналу, як-от JPEG-перекодування, масштабування або часткове обрізання. Результати підтверджують типовий компроміс «ємність—непомітність»: зі зростанням навантаження поступово знижується PSNR, однак за навантажень до 0,2 б/пк якість зображень лишається візуально прийнятною, а показники виявлення на малих вибірках є низькими для класичних і ознакових детекторів. Водночас кінцева продуктивність конвеєра визначається параметрами гомоморфного шару — зокрема, розміром поліноміального модуля та набором модулів, серед яких найсуттєвіший внесок мають перетворення з числами NTT та операції масштабування у схемах з наближеними арифметиками. Порівняння типових варіантів показує, що для задач із наближеними реальними значеннями доцільними є схеми на кшталт CKKS завдяки більшій наскрізній швидкодії, тоді як для точних цілих обчислень раціональні BFV/BGV з дещо меншими ключами і співставною продуктивністю. Для підвищення надійності видобування після втратних перетворень корисним є застосування кодувань типу BCH у поєднанні з більш стійкими доменами вбудовування (наприклад, перетворення дискретного косинуса чи хвилькові коефіцієнти), що дозволяє зберегти баланс між ємністю каналу, якістю носія та детектовністю.

Запропонована конфігурація на комерційному залізі без спеціальних прискорювачів демонструє пропускну здатність понад 18 кбіт/с для потоків із навантаженням до 0,2 б/пк, чого достатньо для телеметрії, службового трафіку і синхронізаційних задач у системах, де небажано привертати увагу систем моніторингу трафіку. Практичні рекомендації включають обмеження навантаження в діапазоні 0,10–0,20 б/пк, рандомізацію вибору носіїв і параметрів вбудовування для зниження ризику формування стабільних шаблонів, узгодження параметрів гомоморфної схеми з вимогами до затримки та пам'яті, а також акуратну гігієну метаданих і шаблонів каналів. Сукупно це забезпечує двошарову оборону: семантична конфіденційність даних завдяки криптографії та прихованість самого каналу завдяки контент-адаптивному розміщенню. Обмеженням нинішньої реалізації є фокус на сіротональних зображеннях, відсутність апаратної оптимізації криптоядра і часткова оцінка проти сучасних глибоких детекторів, однак навіть у такій конфігурації система демонструє збалансовані показники «якість—стійкість—продуктивність» і технологічну готовність до інтеграції у телекомунікаційні рішення з підвищеними вимогами до конфіденційності та непомітності.

Compositional Models of IoT-Based Digital Twins

Redko D.I.^{1, 2}, Malynovska O.L.²

¹Institute of telecommunications and global information space of the NAS of Ukraine

²Charles University, Czech Republic

¹diredko@gmail.com, ²helen.malynovska@cuni.cz

The digital twin (DT) has become a central concept in existing and prospective projects in a diverse range of fields. Its appeal is straightforward: a well-calibrated virtual counterpart of a physical asset enables prediction, optimization, and decision support across a system's lifecycle. Recent reviews and industry analyses consistently highlight these benefits and the breadth of deployments and pilots now underway [1, 2].

The Internet of Things (IoT) has become a fundamental enabler of modern digital twin systems, providing data streams and connectivity that link physical and virtual entities [1, 2]. Because of its widespread adoption in this area, IoT represents a scientifically interesting domain.

Despite strong tooling for modeling, data integration, and deployment, achieving the desired levels of similarity and fidelity remains difficult [1, 3,

4]. Current practice often depends on bespoke modeling choices, ad-hoc calibration, and the individual skill of the developer rather than standardized, repeatable methods [1, 2, 4].

In our research we argue that achieving the desired levels of similarity and fidelity between a DT and its physical counterpart requires preserving identity at the level of their genesis structures [5].

Recently genesis structures and one of their possible formal representations as primitive programming algebras (PPA) have been studied in [5, 6]. Building on this formal basis, we investigate the capability of PPA to capture the genesis structures of IoT-based DTs.

Accurate modelling of modern IoT networks requires consideration of data types of higher complexity than natural numbers. Therefore, as part of our research, we have constructed PPA over pr-functions [5] operating on complex data types such as multidomain tuples and records. We have achieved several important theoretical results on which we can base our further research.

Overall, digital twins represent a rapidly evolving and conceptually rich area of research, offering significant potential for further theoretical development and practical innovation.

References

1. N. D. Pankratova, K. D. Grishyn, and V. E. Barilko, “Digital twins: stages of concept development, areas of use, prospects,” *System Research & Information Technologies*, no. 2, pp. 7–21, Jun. 2023, doi: 10.20535/SRIT.2308-8893.2023.2.01.
2. M. R. Abayadeera and G. U. Ganegoda, “Digital Twin Technology: A Comprehensive Review,” *International Journal of Scientific Research and Engineering Trends*, vol. 10, no. 4, pp. 1485–1504, Jul.–Aug. 2024, doi: 10.61137/ijrsret.vol.10.issue4.199
3. J. Bitencourt, A. Wooley, and G. Harris, “Verification and validation of digital twins: a systematic literature review for manufacturing applications,” *International Journal of Production Research*, vol. 63, no. 1, pp. 342–370, Jan. 2025, doi: 10.1080/00207543.2024.2357741
4. Y.-W. Kim, “Concepts of digital twin similarity, correspondence, and fidelity, including a fidelity design model,” in *Characterization of Digital Twin*, ETRI, Apr. 2024, pp. 80–125
5. S. V. Kudlai, M. O. Zylevich, P. O. Yahanov, and I. V. Redko, “Concept-Monad Model of Technological Environment of Programming,” *Electronic and Acoustic Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 45–49, 2020, doi: 10.20535/2617-0965.2020.3.3.198584

6. A. V. Horelov, I. V. Redko, and P. O. Yahanov, “Compositional basics in programmer activity” Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design, no. 3 (86), Ser. “Tekhnichni nauky,” pp. 11–19, 2015.

Інформаційно-аналітична підсистема підтримки рішень під час артилерійського ураження

Тимчук В., Тимчук О.

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного

E-mail: v_tymchuk@yahoo.co.uk

В роботі розглянуто підходи до створення підсистеми консолідованої обробки інформації в цілях ефективного command and control щодо об'єднаної вогневої підтримки. Запропоновано методологічні принципи інтеграції мілітарних апаратно-програмних платформ (МАПП) у єдиний інформаційний простір, що дозволяє підвищити швидкість, точність та достовірність ухвалення рішень на різних рівнях command and control.

У сучасних бойових діях інформаційна складова відіграє вирішальну роль. Інформаційне перенасичення, яке спостерігається у зонах бойових операцій, характеризується нерівномірністю за часом, простором і динамікою. Потoki даних формуються як протиборчими сторонами, так і численними допоміжними структурами — розвідкою, спостереженням, зв'язком, кіберпідрозділами. Виникає гостра потреба швидко зібрати, відфільтрувати, узагальнити та опрацювати чималі обсяги даних, що є ключовим для вироблення рішень для вогневого ураження.

Досвід російсько-української війни показав, що ефективність управління підрозділами значною мірою залежить від узгодженості апаратно-програмних рішень, рівня автоматизації, компетенції персоналу та здатності швидко адаптуватися до змін в інформаційній обстановці. Упродовж російсько-української війни, включно з Антитерористичною операцією та Операцією об'єднаних сил, обсяги доступної інформації та можливості її оперативної аналітичної обробки суттєво не відповідали. Це зумовлює потребу (під)системи консолідованої обробки даних в цілях постійної інтеграції на усіх рівнях інформаційної взаємодії — від сенсорних систем та інших платформ і розвідувальних пунктів до командних центрів.

Пріоритетне значення така підсистема має для системи об'єднаної вогневої підтримки (ОВГП) та, зокрема, для артилерії Сухопутних військ (СВ) України, які разом виконують 50...90% усіх вогневих завдань. Так, у контрзасобній боротьбі (а це і «класична» контрбатарейна боротьба, і, нині, контрдронова і контрбекова) швидкість і точність рішень визначають і результат операції, і втрати. Офіцер ОВГП (артилерійський командир, інша особа вироблення рішень на С2-центрі) обробляє розвідувальні дані з різних джерел, «синхронізовує» сенсори, обчислювальні модулі і комунікаційні системи в цілях вчасного, а краще ініціативного, таргетингу (визначення координат цілей з наступним (однотимчасним) ураженням).

У зв'язку з реаліями в структурах СВ України відсутні уніфіковані рішення для побудови мілітарних систем консолідованої обробки інформації, особливо на тактичному рівні — Delta, Virazh, Kropyva, Coffein, Echo та інші подібні (та неподібні) МАПП закривають інформаційно-цільові запити в ланках С2. Але через розподіленість джерел даних і різноманітність МАПП складність обробки зростає, посилюючись обов'язком діяти в умовах обмеженого часу та нестабільного зв'язку.

Запропонована (під)система передбачає використання методів онтологічного моделювання та ситуаційного аналізу, що дозволяють формувати єдину інформаційну базу для узгодження дій усіх елементів системи С2. Вона базується на принципах системо-системності, а саме модульності, масштабованості та багаторівневої взаємодії, де кожен компонент — сенсорний, комунікаційний, обчислювальний чи аналітичний — інтегрується через стандартизовані інтерфейси. Така архітектура дає змогу забезпечити гнучке оновлення програмних засобів, підключення нових джерел інформації та ефективний обмін даними між бойовими підрозділами.

Консолідація даних у (під)системі С2-центру базується на поєднанні алгоритмів машинного навчання, експертних моделей і евристичних правил ухвалення рішень — алгоритми оцінюють достовірність даних, визначають пріоритетність цілей (таргетинг), прогнозують можливі сценарії розвитку ситуації та автоматично формують рекомендації командирів. Особлива увага приділяється забезпеченню інформаційної безпеки, захисту каналів зв'язку й підвищенню стійкості системи до кіберзагроз.

Розробка методологічних основ побудови таких (під)систем дозволяє вирішити проблему надлишковості даних та їх фрагментарності. Своєю чергою, це створює передумови для побудови інтегрованих мілітарних систем нового покоління, здатних діяти в умовах інтенсивних

інформаційних навантажень та ефектів, спричинюваних противником, але все рівно забезпечувати вироблення рішень у реальному часі.

Таким чином, (під)система консолідованої обробки інформації є важливою складовою цифрової трансформації С2-систем (ураження вогневидами засобами, кіберзброєю, РЕБ тощо). Її впровадження підвищує оперативність реагування, точність ударів, ураження та інших ефектів, ресурсооптимальність і знижує ризики помилкових (недостатніх) рішень. У майбутньому розвиток цієї концепції має ґрунтуватися на глибшій інтеграції технологій штучного інтелекту, геоінформаційних систем, супутникового моніторингу та автоматизованих систем ситуаційного прогнозування.

Оцінка стану кіберзахисту з використанням базових індикаторів кібербезпеки

Худинцев М.М., Палажченко І.Л., Хоменко О.А.

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору

Національної академії наук України

E - mail: mykola.khudyntsev@icu-ng.org

Для оцінки стану кіберзахисту пропонується використовувати моделі, побудовані для наборів показників (індикаторів), визначених прийнятими в Україні нормативними документами, а саме:

- модель заходів кіберзахисту «1176» [1];
- модель заходів кіберзахисту «601» [2];
- модель заходів кіберзахисту «463» [3];
- модель заходів кіберзахисту «417» [4];
- модель заходів кіберзахисту «375» [5];
- модель оцінки зрілості кібербезпеки електричних мереж «908» [6],

а також узагальнюючу модель індексування LCSИ [7].

В рамках зазначених моделей проведення оцінювання здійснюється по N_D доменах (логічних областях оцінювання) і N_I показникам (параметрам, індикаторам) за N_L рівнями зрілості, в окремих випадках – ще по N_{SD} піддоменам (субдоменам) або objectives. Кількісні характеристики наборів параметрів деяких з розглянутих моделей наведені у Таблиці.

Таблиця. Набори параметрів моделей для оцінювання стану Кіберзахисту

Модель	Abbr.	N_D	N_{SD}	N_I	N_L
Cybersecurity Capability Maturity Model, version 2.1	C2M2	10	43	356	4
Smart Grid Maturity Model, version 1.2	SGMM	8	40	178	6
Порядок проведення огляду стану кіберзахисту КП, ДІР, ІВЗВЗ	«1176»	6		29	2
Методичні рекомендації щодо підвищення рівня КЗ КП	«601»	5	23	108	4
Методичні рекомендації щодо забезпечення КЗ АСУ ТП	«463»	2	23	107	5
Вимоги з КБ ПЕС КІ	«417»	5	23	102	4
Порядок огляду стану КБ ПЕС КІ	«375»	13			2
Методика оцінки зрілості КБ електричних мереж	«908»	10	43	356	4
Локальний індекс кібербезпеки	LCSI	3	82	503	2

Базові індикатори (індикатори кібергигієни) обираються за переліку індикаторів експертним шляхом. Використання базових індикаторів дозволяє спростити задачі моніторингу та оцінки стану кіберзахисту і збільшити кількість суб'єктів спостереження.

Головним показником моделі є рівень захищеності або зрілості кібербезпеки.

Індикатор моделі – значення показника (параметру), визначеного в рамках прийнятої моделі. Індикатори моделей мають чисельний вигляд або вигляд твердження (яке позначається текстом, умовним за змістом, наприклад, C1, MIL2, f.4 і т.п.).

Індекс моделі – інтегральний (усереднений за визначеною процедурою) індикатор моделі у випадку, коли усі індикатори моделі мають чисельний вигляд.

На першому етапі оцінювання доцільно дотримання такої послідовності дій:

- розробка структури індикаторів оцінювання (на прикладі індикаторів кібергігієни);
- проведення самооцінювання зацікавленими стейкхолдерами та визначення відповідного профілю захищеності (зрілості);
- декларативне дотримування стейкхолдерами політик та заходів, які відповідають актуальному та цільовому профілю;
- накопичення, систематизація та аналіз емпіричних даних.

Результати дослідження використовуються для оцінювання стану кіберзахисту суб'єктів страхової діяльності (страхувальників та страховиків).

Список використаних джерел:

1. Порядок проведення огляду стану кіберзахисту критичної інформаційної інфраструктури ..., Кабінет Міністрів України, Постанова від 11.11.2020 № 1176.
2. Методичні рекомендації щодо підвищення рівня кіберзахисту критичної інформаційної інфраструктури (2021). Адміністрація Держспецз'язку. Наказ від 06.11.2021 № 601.
3. Методичні рекомендації щодо забезпечення кіберзахисту автоматизованих систем управління технологічними процесами (2023). Адміністрація Держспецз'язку. Наказ від 29.05.2023 № 463.
4. Вимоги з кібербезпеки паливно-енергетичного сектору критичної інфраструктури (2022). Міністерство енергетики України. – Наказ від 15.12.2022 № 417.
5. Порядок огляду стану кібербезпеки паливно-енергетичного сектору критичної інфраструктури (2023). Міністерство енергетики України, Наказ від 16.01.2023.
6. Концепції впровадження “розумних мереж” в Україні до 2035 року (2022). Кабінет Міністрів України. Розпорядження від 14 жовтня 2022 р. № 908-р
7. Khudyntsev, M., Lebid, O., Bychenok, M., Zhylin, A., Davydiuk, A. (2023). Network Monitoring Index in the Information Security Management System of Critical Information Infrastructure Objects. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 809. Springer, Cham. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-031-46880-3_17

Методика оцінки інфраструктурної комфортності житлових об'єктів з використанням геоінформаційних технологій

Третьяк Д. В., Красовська І. Г.

Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут", E-mail: ines75ma@ukr.net

Сучасний ринок нерухомості вимагає переходу від суб'єктивних оцінок до кількісних інструментів, що інтегрують географічні дані. Традиційна оцінка житлових об'єктів за фізичними параметрами є неповною і не відображає реальної якості життя, яка критично залежить як від наявності інфраструктури так і від негативних факторів розташування (шум, екологія). Це зумовлює необхідність розробки об'єктивної та гнучкої методики, здатної на базі геоінформаційних технологій та математичного моделювання інтегрувати просторові дані для формування достовірного індексу інфраструктурної комфортності.

Методика оцінки інфраструктурної комфортності базується на двоблоковій зваженій моделі (окремо позитивні та негативні фактори). Блок-схема методики (рис. 1) деталізує комбінацію обробки геоданих та математичних розрахунків, які реалізуються в ГІС-середовищі.

1. Зважування та нормування.

- Позитивні категорії (Комфорт): Коефіцієнти $W(i)$ нормовані так, що їхня сума $\sum W = 1.0$, відповідно до пріоритетів більшості мешканців: Соціальна (0.35), Комерційна (0.30), Транспортна (0.25), Рекреаційна (0.10).

- Негативні категорії (Дискомфорт): Введено кілька незалежних негативних факторів (наприклад, Шум, Екологія). Кожна негативна категорія k має свій ваговий коефіцієнт $W(k)$ (від 0 до 1.0), що дозволяє гнучко коригувати вплив залежно від індивідуальної чи експертної важливості.

- Оцінка об'єктів (S): Кожен об'єкт всередині категорії має Базову оцінку (S) (наприклад, шкала від 1 до 10), що забезпечує дворівнєве зважування.



Рис. 1. Методика оцінки інфраструктурної комфортності

2. Просторова деградація та точність. Для розрахунку реальної відстані ($D(\text{real})$) використовується Аналіз мереж QGIS (ORS Tools/QNEAT3). Цінність об'єкта зменшується зі зростанням відстані за допомогою квадратичної функції зниження $F(D(\text{real}))$.

3. Фінальний розрахунок. Інтегральний рейтинг комфортності розраховується як різниця між позитивним та негативним блоками. Негативний блок віднімається від позитивного, що дозволяє отримати загальний рейтинг, який може мати негативне значення:

$$R_{\text{Total}} = \left(\sum_{i \in \text{Pos}} W_i \cdot \sum_j (S_{ij} \cdot F(D_{\text{real}})) \right) - \left(\sum_{k \in \text{Neg}} W_k \cdot \sum_l (S_{kl} \cdot F(D_{\text{real}})) \right)$$

де:

- $R(\text{total})$ – Фінальний інтегральний рейтинг.
- $i \in \text{Pos}$ – Індекс позитивної категорії (з $\sum_{W(i)=1.0}$).
- $k \in \text{Neg}$ – Індекс негативної категорії (з $W(k)$ від 0 до 1.0).
- $W(i), W(k)$ – Ваговий коефіцієнт категорії.
- $S(ij), S(kl)$ – Базова оцінка (Score) j-го об'єкта в категорії i.
- $F(D_{\text{real}})$ – Функція зниження від реальної відстані.

Апробація методики дозволить створити просторові карти ранжування житлових об'єктів.

Розроблена методика є гнучким, масштабованим та високоточним інструментом оцінки інфраструктурної комфортності, що інтегрує як позитивні, так і негативні фактори розташування. Це забезпечує найбільш об'єктивне ранжування житлових об'єктів. Практичне застосування методики, реалізоване через ГІС-технології, має високу цінність для ріелторського бізнесу, міського планування та інвестиційного аналізу. Для родин, що шукають житло, методика надає прозорий та об'єктивний інструмент для порівняння варіантів нерухомості на основі їх реальної якості життя та інфраструктурної доступності, допомагаючи приймати більш зважені рішення.

Інтегроване 3D-моделювання протипаводкових полігонів України на основі аерокосмічних та геоінформаційних технологій

Триснюк В.М. Охарєв В.О., Пресняков О.Б.

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору

Національної академії наук України

E - mail: trysnyuk@ukr.net

Представлено результати досліджень із побудови інтегрованої моделі протипаводкових полігонів України на основі супутникових даних і технологій геоінформаційного моделювання. Запропоновано методику 3D-моделювання паводкової небезпеки на прикладі Дністровського басейну, яка поєднує дані дистанційного зондування Землі, наземні гідрологічні спостереження, цифрові моделі рельєфу (DEM) та результати моделювання у середовищі ArcGIS і HEC-RAS. Показано ефективність використання багатоспектральних космічних знімків Sentinel-1, Sentinel-2 та Landsat-8/9 для ідентифікації заплав, аналізу гідрологічного режиму і прогнозування зон підтоплення. Запропонований підхід може бути основою для створення єдиної інформаційної системи управління паводковими ризиками на території України.

Сучасні кліматичні тенденції та зростання частоти екстремальних опадів зумовлюють підвищення ризику паводків на території України. Унаслідок деградації лісових екосистем, урбанізації заплав та неконтрольованої забудови водоохоронних зон, гідрологічна стійкість річкових басейнів знижується, а масштаби можливих підтоплень збільшуються. Тому актуальним завданням є створення науково обґрунтованих методів прогнозування паводкової небезпеки, що базуються на даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), геоінформаційних технологіях та цифрових моделях рельєфу.

В Україні сформовано декілька дослідних полігонів для вивчення паводкових процесів, серед яких одним із ключових є Дністровський протипаводковий полігон у межах території Журавно – Голешів. Тут вперше реалізовано повний цикл: збір та оброблення багатоспектральних і радарних супутникових знімків, побудову гіпсометричних карт заплав, створення цифрової моделі рельєфу масштабу 1:10 000, моделювання паводкових сценаріїв та картографування зон ризику. Основою розрахунків стали цифрові моделі рельєфу, створені за даними LiDAR-зйомки та супутникових DEM Copernicus 30 м.

Космічні апарати Sentinel-1 та Sentinel-2 програми Copernicus використовувались для моніторингу заплав і берегової лінії, аналізу вологості ґрунтів та визначення меж затоплення. Радарні знімки Sentinel-1 забезпечують виявлення водних поверхонь навіть за умов хмарності, що особливо важливо під час кризових ситуацій. Оптичні знімки Sentinel-2 та Landsat-8/9 застосовувались для побудови індексних карт NDWI, MNDWI та NDSI, що дозволяють диференціювати водні маси, заплавні луки й урбанізовані території.

Геоінформаційна складова дослідження реалізована у середовищі ArcGIS Pro та QGIS. Просторовий аналіз включав побудову шарів рельєфу, гідрологічної мережі, меж басейнів, зон стоку та елементів руслової системи. Для моделювання динаміки паводкової хвилі використовувалась гідродинамічна модель HEC-RAS 2D, що дозволила розрахувати параметри потоку (глибину, швидкість, час прибуття хвилі) та змоделювати поширення затоплення при підйомі рівня води на 1–12 метрів.

Отримані результати показали, що найбільш небезпечні ділянки розташовані у нижній частині заплави поблизу Журавно, де концентрація швидкостей потоку сягає 2,5 м/с, а глибина підтоплення — понад 4 м. Побудовані карти небезпеки дозволили здійснити ранжування території за рівнем ризику, враховуючи щільність населення, тип забудови, наявність інженерної інфраструктури та природоохоронних об'єктів.

Важливим аспектом є розроблення інформаційної підсистеми моніторингу паводкової ситуації з інтеграцією польових даних гідрологічних постів, метеоспостережень і супутникових спостережень у єдину базу даних. Використання хмарних сервісів (Google Earth Engine, Copernicus Open Access Hub) забезпечує оперативне оновлення моделей та автоматичне картографування зон затоплення у реальному часі.

Методика 3D-моделювання протипаводкових полігонів має кілька ключових етапів:

1. Збір і нормалізація даних — супутникові знімки, DEM, польові вимірювання, гідрологічні пости.

2. Побудова цифрової моделі басейну — рельєф, заплави, тераси, типи ґрунтів, покриття поверхні.

3. Моделювання паводкових сценаріїв — гідродинамічні розрахунки при різних рівнях води.

4. Оцінка ризиків і картографування — створення карт небезпеки та зонування території.

На основі одержаних результатів визначено пріоритетні напрями для управління паводковими ризиками: облаштування розвантажувальних заплавних полів, укріплення берегів, реконструкція дренажних систем, створення буферних зон та систем екологічного моніторингу.

Розроблена методика 3D-моделювання є придатною для масштабування на інші басейни — Тиси, Пруту, Сіверського Дінця, середнього Дніпра, що дозволить створити єдину систему протипаводкових полігонів України. Такі полігони можуть функціонувати як експериментальні майданчики для валідації супутникових моделей, перевірки прогнозів, відпрацювання технологій реагування на надзвичайні ситуації та прийняття управлінських рішень у сфері цивільного захисту.

Висновки. Інтегроване використання супутникових даних, геоінформаційних технологій і гідродинамічного моделювання забезпечує новий рівень точності в оцінюванні паводкових ризиків. Побудована методика дозволяє оперативно формувати карти затоплень, уточнювати межі небезпечних ділянок, прогнозувати наслідки підняття рівня води та визначати оптимальні заходи захисту. Впровадження системи 3D-моделювання протипаводкових полігонів підвищить ефективність моніторингу, сприятиме зниженню екологічних ризиків і зміцненню природної стійкості територій України в умовах змін клімату.

Розроблення інформаційно-аналітичної системи для підтримки прийняття рішень в он-лайн режимі

В. Г. Гуськова, Т.І. Просянкіна-Жарова, А.А. Халигов

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору

Національної академії наук України, E - mail:

guskovavera2009@gmail.com, t.pruman@gmail.com,

khalygovartem@gmail.com

В умовах війни особливо актуальними є питання підтримки прийняття рішень щодо забезпечення функціонування об'єктів критичної інфраструктури у критичних ситуаціях, в умовах ризиків та загроз різних типів, коли необхідно швидко опрацювати значні потоки даних для виявлення збоїв, аномалій, загроз і ризиків, реагування на них та прогнозування можливих наслідків, тощо.

Для вирішення цих задач запропоновано трирівневу архітектуру інформаційно-аналітичної складової системи підтримки прийняття рішень в управлінні безпекою об'єктів критичної інфраструктури. Рівень оброблення даних - Data Layer - виконує інтеграцію потоків даних з API, сенсорів, SCADA та відкритих реєстрів, використовує Apache Kafka для

буферизації повідомлень і Apache Flink для первинної аналітики. Рівень Analytics Layer являє собою аналітичне ядро з модулями очищення, нормалізації даних, класифікації та прогнозування. Основний блок прогнозування реалізовано на базі foundation-моделі TimesFM, яка забезпечує zero-shot та few-shot аналіз та прогнозування часових рядів даних, отриманих засобами Data Layer із системи моніторингу. TimesFM інтегровано у конвеєр ETL/ELT через Apache Airflow. Foundation-модель TimesFM 2.5 (200M) застосовується у режимах Zero-shot (прогноз без донавчання, використовуючи знання з великомасштабного попереднього тренування) та Few-shot ($k = 3-5$) (адаптація через in-context learning із кількох прикладів з домену). Модель працює через REST-ендпоінт POST /forecast/timesfm, отримуючи контекст довжиною 168 годин і прогножуючи горизонт у 24–48 годин із квантільними інтервалами 10–90 %. Для перевірки ефективності моделі використано Electricity Consuming Dataset (UCI / Monash / M4 Electricity subset). Knowledge Layer містить консолідовану базу даних та знань у TimescaleDB із підтримкою безперервних агрегатів, аналітичних запитів і DWH-інтеграції.

Дані про стан об'єкту з системи моніторингу надходять у Kafka, обробляються Flink-потоків та зберігаються в TimescaleDB. TimesFM використовується для прогнозування динаміки процесів, що мають місце на конкретному об'єкті на заданому часовому горизонті: година, доба, тиждень, тощо. Виявлені аномалії ($z\text{-score} > 3$), потенційні загрози, тощо, передаються у MLFlow-модуль TimesFM для побудови прогнозу та зворотного запису в fact_forecasts. На Frontend-рівні (React + Grafana) здійснюється візуалізація поточних даних і прогнозів у зручному інтерфейсі користувача. Backend (Python / FastAPI) реалізує API-шар для обміну даними між інтерфейсом, аналітичними модулями та сховищем. Data Layer (Kafka + Flink) відповідає за обробку телеметричних потоків у реальному часі, фільтрацію, буферизацію й передачу очищених даних до сховища. Storage-рівень (TimescaleDB + S3 Data Lake) забезпечує зберігання сирих і агрегованих даних та підтримує аналітичні запити. У AI Layer (TimesFM + LSTM) виконуються прогнозування часових рядів, виявлення аномалій і класифікація загроз. Завершує архітектуру модуль Explainability (SHAP), який пояснює вплив окремих факторів на результати моделей, підвищуючи прозорість та довіру до системи.

Обчислювальні експерименти виконано із використанням Electricity Consuming Dataset (UCI / Monash / M4 Electricity subset). Для оцінювання якості прогнозів використано метрики sMAPE (1), RMSE (2) та MASE (3) ($m = 24$, добова сезонність).

Таблиця 1 – Аналіз результатів прогнозування

Модель	sMAPE	RMSE	MASE	Коментар
ARIMA	12.3	0.86	1.00	точна для стабільних рядів
Prophet	11.5	0.80	0.94	враховує календар, але чутлива до трендів
LSTM	9.7	0.72	0.81	добре працює на великих вибірках
TimesFM Zero-shot	8.9	0.67	0.74	конкурентна без донавчання
TimesFM Few-shot (k = 3)	7.8	0.59	0.66	найкраща точність, +12–15 % покращення

Отже, Few-shot режим демонструє стабільне зниження похибок на 10–15 % відносно LSTM і до 25 % порівняно з ARIMA, при цьому не потребує повного перенавчання. Таким чином, TimesFM поєднує високу узагальнювальну здатність із мінімальними вимогами до навчальних даних, що робить її ефективним рішенням для систем моніторингу об'єктів критичної інфраструктури як універсальних zero/few-shot предиктори, перевагами яких є універсальність для нових доменів без перенавчання; швидке розгортання у потоковій аналітиці; підтримка квантільних прогнозів для оцінки ризиків; сумісність із існуючими ML-конвеєрами.

Список використаних джерел:

1. Лисов Б., Гуськова В., Просянікна-Жарова Т., Халігов А. Інформаційна технологія класифікації даних моніторингу систем і мереж передачі даних для виявлення кіберзагроз. Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Інформатика і моделювання. 2025. Т. 1, № 1 (13). С. 129-147. <https://doi.org/10.20998/2411-0558.2025.01.09>
2. Лисов Б. С., Гуськова В. Г., Халігов. А. А. Застосування підходів інтелектуального аналізу даних для попереднього аналізу кіберзагроз на об'єктах критичної інфраструктури. Наукові праці ДонНТУ Серія "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка". 2025.

№ 1(40). С. 28-35. <https://doi.org/10.31474/1996-1588-2025-1-40-28-34>

3. Berkowitz J. Few-Shot Learning Revolutionizes Time-Series Forecasting: Inside Google's TimesFM-ICF. URL: <https://joshuaberko-witz.us/blog/news-1/few-shot-learning-revolutionizes-time-series-forecasting-inside-google-s-timesfm-icf-1221>
4. Hyndman R.J., Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and Practice. Melbourne: OTexts, 2021. 442 p.
5. Abedi A., Rajkumar V. S., Ştefanov A., Palensky P., Towards Real-Time Distinction of Power System Faults and Cyber Attacks. IEEE General Meeting Power & Energy Society. Proceedings of the 2023 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM), Orlando, FL, USA, 16-20 July, 2023. IEEE, 2023. P. 1-5, <https://doi.org/10.1109/PESGM52003.2023.10253241>.

Ефективність зберігання даних визначає продуктивність сучасних СКБД

Цируль О. О.

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України
E - mail: tsyruloleksandr@gmail.com*

У сучасних інформаційних технологіях питання ефективного збереження, обробки та доступу до даних є одним із ключових. Зі зростанням обсягів інформації та вимог до швидкодії систем постає необхідність оптимізації способів її збереження у файлових системах. Від правильного вибору моделі зберігання залежить не лише продуктивність, а також надійність, масштабованість і стабільність роботи всієї інформаційної інфраструктури.

Одним із фундаментальних принципів організації зберігання даних є розподіл даних на сторінки фіксованого розміру. Ці блоки виступають базовими одиницями запису та читання в системах керування базами даних. Застосування такого підходу дозволяє підвищити ефективність доступу до даних, спростити керування пам'яттю та забезпечити узгодженість операцій.

Метою роботи є дослідження архітектури фізичного зберігання даних у системах керування базами даних, аналіз принципів організації

сторінок та записів, висвітлити базові проблеми та рішення, знайти баланс між надійністю, швидкістю та об'ємами кінечних файлів.

Враховуючи те, що сторінка є мінімальною одиницею введення-виведення, то вона використовується під час зчитування або запису даних з диска в оперативну пам'ять. У реляційних базах даних сторінка може містити кілька записів таблиці, частину індексу або службову інформацію. Фіксований розмір сторінок спрощує організацію буферного кешу, уніфікує операції читання та запису, а також забезпечує прогнозовану продуктивність системи.

Серед переваг блочного підходу можна виділити:

- оптимізацію роботи з пам'яттю та дисковими операціями завдяки стандартизованому розміру сторінки;
- можливість ефективного кешування сторінок у оперативній пам'яті;
- спрощення фрагментації та обслуговування даних;
- підвищення швидкодії при вибіркового доступі до таблиць та індексів.

Типова сторінка у системі зберігання даних складається з трьох основних частин: метаданих, тіла блоку та посилань (покажчиків). Кожна з цих частин виконує окрему функцію, необхідну для ефективного керування простором, ідентифікації вмісту та організації зв'язків між блоками.

Метадані блоку (Header / Metadata) містять службову інформацію, що описує структуру та зміст блоку. До неї входять ідентифікатор блоку (Block ID або Page ID), тип наповнення наприклад, записи, індекси чи системні розділи, а також обсяг вільного простору.

Тіло блоку є основною частиною сторінки, у якій безпосередньо зберігаються записи таблиць, кортежі, частини документів або фрагменти файлів. Структура тіла блоку залежить від типу даних та фізичної організації файлу. Наприклад, у сторінках, що містять дані таблиці, розміщуються рядки (tuples), у сторінках індексу вузли та посилання на відповідні записи, а в сторінках журналу транзакцій — метадані про зміни.

Таблиця зсувів (CTID) є динамічною й містить покажчики, які визначають точне місце розташування кожного запису в межах сторінки [1]. Кожен елемент містить інформацію про позицію та розмір запису, відповідно, пошук відбувається без необхідності переглядання всього вмісту сторінки. Це рішення істотно підвищує продуктивність операцій вставки, оновлення та видалення, знижуючи фрагментацію та витрати на перезапис сторінок.

Фіксований розмір сторінок спрощує організацію буферного кешу, уніфікує операції читання та запису, а також забезпечує прогнозовану

продуктивність системи. Microsoft SQL Server реалізує зберігання даних на рівні сторінок розміром 8 КБ [2]. Кожна таблиця або індекс складається зі сторінок, які об'єднуються у групи — екстенти (Extents) [2], що містять по 8 сторінок. Це дозволяє зменшити фрагментацію та забезпечує ефективне керування великими наборами даних. Метадані сторінок зберігають інформацію про тип сторінки, її належність до об'єкта бази та вільний простір.

У PostgreSQL принцип сторінкового зберігання реалізовано через так звані блоки (Blocks), які також мають розмір 8 КБ за замовчуванням [1]. У межах блоку розміщуються кортежі (записи таблиць) та службові дані. Для боротьби з накопиченням “мертвих” записів (які утворюються після оновлень) застосовується механізм VACUUM [3], який очищає сторінки та відновлює їхній вільний простір. Такий підхід дозволяє підтримувати стабільну продуктивність навіть при інтенсивних операціях вставки та оновлення.

На відміну від реляційних систем, NoSQL-бази (наприклад, MongoDB або Cassandra) [4] не завжди використовують фіксований розмір сторінок, проте також застосовують сторінкову організацію при роботі з внутрішніми файлами зберігання.

При проектуванні збереження даних на сторінках, важливим є визначити які дані потрібно зберігати, якщо структура завчасно відома, кожен атрибут має завчасно відомий розмір, кращим рішенням буде зберігати записи фіксованого розміру, це допомагає пришвидшити розрахунок позиції записів, пошуку та фільтрації атрибутів. Для прикладу, якщо запис у двійковому вигляді займає 50 байт, тоді наступний також займає 50 байтів та позиції атрибутів завчасно відомі, що зменшує час на пошук атрибутів у випадку послідовного їх розміщення. Фіксованої довжини (Fixed-Length): усі записи мають однаковий розмір. Проблемою можна назвати необхідність виділення простору на диску навіть у разі відсутності значень атрибутів та відсутня можливість використання складних типів як JSON, BSON та інших, розмір яких завчасно не відомо.

Для вирішення описаних раніше проблем, можна скористатись записати змінної довжини (Variable-Length), коли записи мають різну довжину; кожен запис має дескриптор або вказівник на початок і розмір. Такий підхід ефективніший при зберіганні строкових або текстових типів, але ускладнює навігацію та оновлення сторінки.

Для оптимізації простору на диску у випадку відсутності значень атрибутів, можна скористатись одним бітом перед початком значення ат-

рибуту, що збільшить розмір значень, але у перспективі частоті відсутності значень, призведе до значного збереження фізичного простору диску.

В раніше описаному зазначалось, що розмір сторінку є завчасно обмеженим, у такому випадку для збереження записів, що є більшими за обмеження однією сторінки, для збереження вмісту можна використати необмежену кількість сторінок ланцюгового типу, де кожна сторінка матиме свій сегмент запису та посилання на наступну сторінку. Проблема особливо властива для записів у яких присутні текстові поля чи BLOB файлів Також можна відділити об'ємний атрибут від основної частини на окрему сторінку чи навіть окремий файл у файлової системі, даних, що дозволяє зберігати основну таблицю компактною і зменшити фрагментацію.

Проектуючи базу даних, важливою задачею є визначення сфери застосування. При постійних запитах до великої кількості записів, але з обмеженою кількістю атрибутів, доцільним є використання Column-based підходу, який зберігає значення кожної колонки на окремій сторінці бази даних, тобто, колонки фізично відокремлені одна від одної. Такий спосіб зберігання дозволяє системі швидше виконувати аналітичні запити, що оперують лише частиною атрибутів. У цьому випадку зчитуються лише потрібні сторінки з даними відповідних колонок, що суттєво зменшує обсяг операцій зчитування та підвищує ефективність кешування. Крім того, Column-based підхід добре підходить для систем типу OLAP, де переважають операції читання, а не модифікації даних, оскільки оновлення одного запису вимагає зміни кількох окремих сторінок.

В свою чергу, Row-based підхід є більш універсальним, оскільки всі атрибути запису знаходяться поруч, що забезпечує швидкий доступ до повного набору даних одного запису. Це особливо ефективно в системах типу OLTP (Online Transaction Processing), де основними є операції додавання та зміни записів. Завдяки компактному розташуванню атрибутів у межах однієї сторінки бази даних зменшується кількість звернень до диску, а отже, підвищується продуктивність транзакційних операцій. Такий підхід також спрощує реалізацію механізмів блокування, журналювання змін та відновлення після збоїв, що робить Row-based зберігання базовим вибором для більшості класичних реляційних систем керування базами даних.

Висновки. У результаті проведеної роботи встановлено, що сторінковий підхід є фундаментальним принципом організації зберігання даних в системах керування базами даних. Його сутність полягає у поділі інформації на блоки фіксованого розміру, що забезпечує ефективне адресування, швидкий доступ до даних і полегшує управління пам'яттю.

До переваг блочного підходу належать уніфікованість, простота реалізації, ефективність при обробці великих обсягів інформації та можливість масштабування. Водночас недоліки, зокрема фрагментація, та резервування не використаного простору.

Перспективним є розвиток адаптивних та гібридних моделей зберігання, у яких розмір блоку або сторінки змінюється динамічно залежно від типу даних і характеру навантаження. Такі підходи дозволяють поєднати високу швидкодію із раціональним використанням ресурсів, що є актуальним для сучасних систем обробки великих даних та розподілених сховищ.

Таким чином, блочний принцип зберігання залишається універсальною основою для побудови сучасних інформаційних систем і продовжує відігравати ключову роль у розвитку технологій керування, збереження та обробки даних.

Список використаних джерел:

- 1) The PostgreSQL Global Development Group: Database Page Layout <https://www.postgresql.org/docs/current/storage-page-layout.html>
- 2) Microsoft 2025: Pages and extents architecture guide <https://learn.microsoft.com/en-us/sql/relational-databases/pages-and-extents-architecture-guide?view=sql-server-ver17#pages-and-extents>
- 3) The PostgreSQL Global Development Group: VACUUM <https://www.postgresql.org/docs/current/sql-vacuum.html>
- 4) SSD, Multi-streamed. "Optimizing MongoDB Using." Proceedings of the 7th International Conference on Emerging Databases: Technologies, Applications, and Theory. Vol. 461. Springer, 2017.

Майнінг криптовалют як одна із інтелектуальних технологій сталого розвитку

Бондарчук О.В., Мокін Б.І.

*Вінницький національний технічний університет,
email - alexey.bondarchuk@aleax.me*

Оскільки однією із умов сталого розвитку є дотримання енергетичного балансу, домогтись стійкості якого в умовах неперервного нарощення відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) можливо лише шляхом впровадження інтелектуальних технологій системного керування процесами в енергосистемах, які кооптують ВДЕ у свої замкнені кола, то перспективним напрямком наукових досліджень проблем сталого розвитку є пошук нетрадиційних регуляторів процесів в таких інтегрованих енергосистемах.

У нашій доповіді пропонується в якості одного із таких регуляторів використати майнінгові ферми криптовалют, інтелектуальні технології керування якими придатні для створення гнучкого навантаження для балансування сучасних енергосистем за допомогою механізму Frequency Containment Reserve (FCR).

У доповіді продемонстровано, що поєднання прогнозування виробітку сонячної генерації та алгоритмів оптимального керування навантаженням дозволяє інтегрувати процес майнінгу у частотне регулювання, зменшуючи ризики від коливань цін на електроенергію та криптовалюту, і запропоновано модель динамічного розподілу потужностей між продажем енергії на ринку, використанням її для майнінгу та можливим скидом залежно від відхилень частоти в мережі, прогнозованого виробітку та ринкових умов.

Наші дослідження базуються на результатах, отриманих в роботі [1], в якій зауважено, що оскільки у сучасних електроенергетичних системах стрімко зростає частка ВДЕ, що підвищує нестабільність виробництва електроенергії, то зростає потреба в механізмах FCR первинного регулювання частоти; на результатах, отриманих в роботі [2], в якій підкреслено, що криптовалютне майнінг-обладнання характеризується високою гнучкістю навантаження, коротким часом реакції та передбачуваним споживанням, що відкриває можливості для його інтеграції в системи частотного балансування на кшталт FCR, а також на окремих результатах, присвячених ринку криптовалют, отриманих в роботах [3],[4].

При проведенні досліджень враховано що, невеликі майнери Bitcoin вперше стали збитковими у періоди падіння цін, коли витрати на електроенергію перевищували доходи [3]; як показав аналіз доходів на кіловат-годину, значну частину часу майнінг залишався економічно нераціональним [4]; халвінг винагороди за блок істотно знижував прибутковість навіть для великих операторів [5]; попри тимчасові зростання ціни Bitcoin, загальна тенденція відображає скорочення маржі рентабельності майнінгу через конкуренцію та енергетичні витрати [6].

Отже за мету нашої роботи ми визначили дослідження можливості використання майнінгових потужностей як гнучкого навантаження в програмах FCR шляхом створення інтелектуальної системи керування, яка враховує динаміку цін на електроенергію та криптовалюту.

А наукова новизна нашого дослідження полягає у поєднанні методів прогнозування виробітку електроенергії ВДЕ з алгоритмами оптимального розподілу потужностей між майнінгом та наданням послуг FCR, що дозволяє: підвищити ефективність використання електроенергії за рахунок динамічного керування навантаженням; забезпечити стабільність частоти в енергосистемі без додаткових витрат на традиційні резерви; створити нову модель монетизації надлишків відновлювальної генерації через синергію енергетичного ринку та ринку криптовалют.

Список використаних джерел:

1. Bitcoin mining for EU electricity grids: an energy supply management tool // Open Dialogue Foundation. <https://en.odfoundation.eu/a/726092-bitcoin-mining-for-eu-electricity-grids-an-energy-supply-management-tools>
2. Leveraging Bitcoin Miners as Flexible Load Resources for Power System Stability and Efficiency (2023) / Nic Carter [та ін.]. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4634256
3. Frequency Containment Reserve: Key to Grid Stability // gridX Knowledge Hub. <https://www.gridx.ai/knowledge/frequency-containment-reserve>
4. Chart of the day: Small bitcoin miners went negative for the first time (2018) // iHodl. <https://ihodl.com/infographics/2018-10-10/chart-day-small-bitcoin-miners-went-negative-first-time>
5. Energy arbitrage: analyzing bitcoin mining's historical revenue per kWh (2022) // Hashrate Index. <https://hashrateindex.com/blog/energy-arbitrage-analyzing-bitcoin-minings-historical-revenue-per-kwh>
6. The Economics of Bitcoin Halving: A Miners' Perspective (2020) // Fidelity Digital Assets. <https://www.fidelitydigitalassets.com/research-and-insights/economics-bitcoin-halving-miners-perspective>

7. Is Bitcoin Mining Still Profitable? (2023) // Investopedia.
<http://www.investopedia.com/articles/forex/051115/bitcoin-mining-still-profitable.asp>
8. Spain's solar power surge sparks negative prices (2023) // Financial Times.
<https://www.ft.com/content/01d90c80-a819-4c10-99d1-34a7b64bd0c5>

Аналіз впливу емісії монет крипто-проектів на зміну ціни криптоактивів

Биль К. І.¹, Терентьев О.М.²

¹ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

² Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України
kirilbyl@gmail.com, o.terentiev@gmail.com

Емісія криптоактивів – це процес створення нових одиниць цифрових валют або токенів, що є основою функціонування будь-якої блокчейн-системи. Подібно до емісії грошей у традиційній фінансовій системі, емісія криптовалют визначає їхню кількість в обігу, рівень дефіциту та економічну цінність [1].

На основі даних сайту-агрегатору даних та новин CoinMarketCap [2] за період часу з 2013-04-28 по 2025-04-20 було досліджено питання – Чи є якась взаємодія між збільшенням або зменшенням циркулювання монет та їх вартістю?

В табл. 1 наведено результати аналізу інформації 1806 крипто-проектів, а в табл. 2 відповідне значення статистики хі-квадрат, на основі аналізу значень табл. 1.

Як можна побачити з табл. 2, значення статистики хі-квадрат дорівнює 27,55 а р-значення статистики хі-квадрат менше за критичне альфа, що дорівнює 0,05. З чого можна зробити висновок, що між є суттєвий статистичний зв'язок між циркулюючою пропозицією та зміною ціни криптоактиву.

Таблиця 1. Частотна таблиця, що показує зв'язок між циркулюючою пропозицією та збільшення/зменшенням ціни криптовалюти.

Циркулююча пропозиція	Ціна зменшилася	Ціна збільшилася	Загальна сума
Зменшилася	57	94	151
Залишилась незмінною	124	78	202
Збільшилася	863	589	1452
Загальна сума	1044	761	1805

Таблиця 2. Значення статистики хі-квадрат

Статистика	Кількість ступенів свободи	Значення статистики хі-квадрат	p-значення
Хі-квадрат	2	27,5534	<.0001

Висновки. Аналіз 1806 проектів виявив наступні цікаві факти:

1) Якщо циркулююча пропозиція залишається незмінною, то ціна криптовалюти з часом все одно зменшується у 61% випадків.

2) У випадку зменшення циркулюючої пропозиції, ціна криптовалюти збільшується у 62% випадків.

3) Збільшення циркулюючої пропозиції призводить до зменшення ціни криптовалюти у 60% випадків.

Список використаних джерел:

1. Howell, S. T., Niessner, M., Yermack, D. Initial Coin Offerings: Financing Growth with Cryptocurrency Token Sales // The Review of Financial Studies. – 33(9), 2019. — p. 3925-3974.
2. CoinMarketCap – <https://coinmarketcap.com/> (дата звернення: 29.10.2025).

Прискорення обчислювальних алгоритмів побудови топології мереж Байєса за рахунок використання властивості адитивності функції опису мінімальною довжиною

Дуда В.О., Терентьев О.М.

Мережі Байєса (МБ) – один із популярних методів інтелектуального аналізу даних, що представляють собою, причинно-наслідкові графові моделі, що описують залежності між змінними, на основі використання теорії Байєса [1].

Однією із ключових задач, при побудові топології мереж Байєса, є пошук оптимальної топології, яка найкраще відображає залежності між змінними в наборі даних.

Застосування ОМД-функції для побудови топології.

При повному переборі усіх можливих топологій задача належить до NP-задач (нелінійної поліноміальної складності). Тому, замість повного перебору усіх можливих топологій використовуються різноманітні евристичні підходи. Одним із таких підходів є застосування ОМД-функція (опису мінімальною довжиною) [1].

ОМД-функція записується як:

$$L(g, x^n) = H(g, x^n) + \frac{k(g)}{2} \cdot \log(n)$$

де $k(g)$ – кількість незалежних умовних ймовірностей для g -структури МБ, а $H(g, x^n)$ – це емпірична ентропія.

Особливістю ОМД-функції є адитивність кожного з її членів, що записується як вирази:

$$H(g, x^n) = \sum_{j \in J} H(j, g, x^n) \text{ та } k(g) = \sum_{j \in J} k(j, g)$$

З чого випливає, що:

$$L(j, g, x^n) = H(j, g, x^n) + \frac{k(j, g)}{2} \cdot \log(n)$$

де $k(j, g)$ – кількість незалежних умовних ймовірностей j -ї вершини:

Висновки. Наведену особливість декомпозиції у вигляді адитивних членів загального виразу, надає можливість обчислювати значення ОМД одразу не для всієї топології МБ, а індивідуально для кожної j – і вершини, а вже після цього з індивідуальних значень формувати узагальнене значення ОМД для всієї мережі.

При реалізації відповідного алгоритму для персонального комп'ютера, це дозволило суттєво заощадити обчислювальні ресурси, за рахунок того, що спочатку обчислюються індивідуальні значення фу-

нкції ОМД вершин, а далі замість того, щоб на кожній ітерації алгоритму побудови топології наново робити усі обчислення, використовувати заздалегідь підготовлені індивідуальні значення ОМД вершин, при конструюванні та перевірці нових топологій. Такий підхід дозволяє прискорити обчислювані алгоритми у майже десять разів.

Список використаних джерел:

1. Згуровський М.З. Байєсівські мережі в системах підтримки прийняття рішень (навчальний посібник) / Згуровський М.З., Бідюк П.І., Терент'єв О.М., Просянкіна-Жарова Т.І. – К: ТОВ “Видавниче підприємство Едельвейс”, 2015. – 300 с. – ISBN 978-966-2748-73-4
2. Grunwald P. A Tutorial Introduction to the Minimum Description Length Principle. // *Advances in minimum description length: theory and applications*. MIT Press, Cambridge, MA, USA. – 2005. – 80 p.

Розробка інформаційно-аналітичної системи формування метаданих про заклади позашкільної освіти на основі NLP

Аброскін Ю.Ю., Терент'єв О.М.

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України,
abroskin21@gmail.com, o.terentiev@gmail.com*

У сучасному інформаційному суспільстві значна кількість даних про освітні установи представлена у вигляді неструктурованих веб-сторінок. Для забезпечення зручного пошуку та аналітики потрібна автоматизована система, здатна формувати метадані про заклади позашкільної освіти. Технології Natural Language Processing (NLP)[1] та Named Entity Recognition (NER)[2] дають змогу автоматизувати процес вилучення релевантних даних з текстового контенту.

Структура та технічна реалізація системи.

Розроблена інформаційна система складається з трьох основних модулів, зображених на рисунку 1, а саме:

1. Модуль попередньої обробки тексту [3] – здійснює автоматичне сканування вебресурсів, що містять інформацію про позашкільні заклади. Для цього виконує очищення документу від HTML-коду, токєнізація, видалення стоп-слів, лематизація та нормалізацію тексту.

2. Модуль розпізнавання іменованих сутностей (NER) – здійснює виділення ключових об’єктів (назва закладу, тип, адреса, контактна інформація, керівник) з використанням словників предметної області та моделей машинного навчання.

3. Модуль генерації метаданих – формує структуру метаданих у форматі XML відповідно до стандарту Dublin Core [4], що забезпечує подальшу інтеграцію у бази даних чи каталоги відкритих даних.

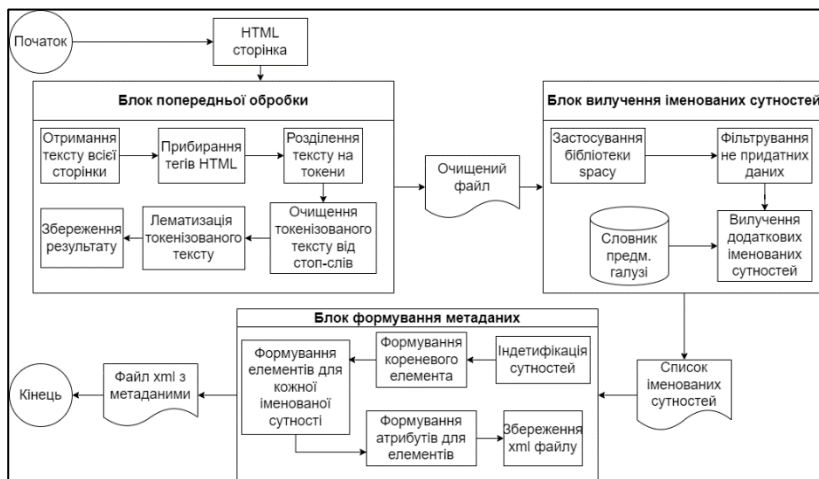


Рисунок 1. Методика формування метаданих на основі технологій обробки природної мови

Інструментальна реалізація виконана мовою Python із використанням бібліотек spaCy, BeautifulSoup та lxml [5,6,7]. Систему апробовано на реальних даних, зібраних із приблизно 2 000 текстових фрагментів із понад 80 веб-ресурсів управліннь освіти та закладів позашкільної освіти. Розпізнавання сутностей проводилось у напівавтоматичному режимі, з подальшою верифікацією вручну.

Отримані результати показали середню точність (precision) – 90,4%, повноту (recall) – 85,2%, а середній час обробки однієї вебсторінки – 1,2 с. Детальні показники ефективності моделі для різних типів сутностей наведено в таблиці 1. Найвищі результати досягнуто під час розпізнавання контактної інформації (телефонів і електронних адрес) – точність 94,3% та повнота 91,1%, що зумовлено чіткими формальними шабло-

нами таких даних. Нижчі значення для категорії PER (керівник) пояснюються варіативністю форматів подання імен у текстах. Отримані результати демонструють високу ефективність моделі. Досягнуті показники зумовлені оптимізацією етапу попередньої обробки текстів та використанням предметного словника, що підвищує точність розпізнавання сутностей.

Таблиця 1 – Результати тестування моделі розпізнавання сутностей

Тип сутності	Середня точність, %	Повнота, %
ORG (заклад)	92.1	88.4
LOC (адреса)	89.7	83.9
PER (керівник)	87.5	82.0
TEL/EMAIL	94.3	91.1
ACTIVITY	88.6	80.7

Висновки. Запропонована система спрощує процес формування метаданих про заклади позашкільної освіти, зменшуючи час обробки даних у десятки разів порівняно з ручним введенням. Отримані результати можуть бути використані для створення централізованих реєстрів закладів, побудови аналітичних панелей та автоматизованих освітніх каталогів.

Список використаних джерел:

1. Jurafsky, D., Martin, J. H. Speech and Language Processing. – Pearson Education, 2021. – <https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3/> (дата звернення: 20.10.2025)
2. Yadav, V., Bethard, S. A Survey on Recent Advances in Named Entity Recognition from Deep Learning Models / In Proceedings of the 27th International Conference on Computational Linguistics (COLING-2018). – p. 2145–2158.
3. Онищенко К., Данієль Я., Каменєв Р.. Аналіз методів обробки природної мови / Інформаційні системи та технології : матеріали 9-ї Міжнар. наук.-техн. конф., 17-20 листопада 2020 р. – Харків : Друкарня Мадрид, 2020. – С. 186–190. – <https://openarchive.nure.ua/handle/document/16164>
4. Matheis, C., VandeKamp, B., Bateman, M. Dublin Core Quick Start: An Intro Guide to Creating Metadata. – University of Iowa Pressbooks, 2024. – <https://pressbooks.uiowa.edu/dcquickstart/> (дата звернення: 20.10.2025)
5. spaCy Documentation. – <https://spacy.io> (дата звернення: 20.10.2025)
6. BeautifulSoup4 Documentation. – <https://beautiful-soup-4.readthedocs.io> (дата звернення: 20.10.2025)

7. lxml Documentation. – Retrieved from: <https://lxml.de> (дата звернення: 20.10.2025)

Інтелектуальна система рекомендацій культурних маршрутів та тематичних пам'яток на основі вподобань користувача

Герчук Д.В.

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України, Київ, Україна
E-mail: herchuck.denis@gmail.com*

Стрімкий розвиток цифрових технологій та штучного інтелекту створює нові можливості для інтеграції інтелектуальних систем у сферу культури та туризму. У сучасному суспільстві зростає потреба у персоналізованих підходах до пізнання культурної спадщини, адже користувачі прагнуть не просто отримувати загальні списки об'єктів, а відкривати маршрути, які відповідають їхнім інтересам, стилю життя, часовим обмеженням і навіть емоційному стану. Традиційні каталоги та туристичні сервіси зазвичай не враховують поведінкових патернів, контексту чи семантики культурних описів, що обмежує релевантність рекомендацій.

Запропонована у дослідженні концепція інтелектуальної системи рекомендацій спрямована на формування персоналізованих культурних маршрутів і добір тематичних пам'яток із використанням методів машинного навчання, аналізу природної мови (NLP) та моделювання поведінкових даних. Така система має інтегрувати кілька рівнів обробки інформації: збір даних про користувачів (вік, локацію, частоту відвідувань, історію пошуків), побудову моделей колаборативної фільтрації, контентно-орієнтованого аналізу описів і відгуків, а також контекстного ранжування, що враховує час, сезон, погодні умови та події в регіоні.

Особливістю підходу є включення NLP-компонента, який здійснює семантичний аналіз текстів описів пам'яток, тематичну класифікацію контенту та визначення емоційного тону відгуків. Це дозволяє створювати більш осмислені зв'язки між об'єктами культури та користувачами, а також формувати рекомендації не лише за статистичними збігами, а й за змістовними критеріями. Планується також розроблення адаптивного інтерфейсу користувача, який змінює порядок і форму представлення інформації відповідно до стилю взаємодії конкретного користувача.

Очікується, що створення подібної системи сприятиме розвитку культурного туризму, підвищенню зацікавленості населення у вивченні історико-культурної спадщини та формуванню єдиного цифрового простору для інтеграції музейних, освітніх і туристичних ресурсів. У подальшому результати дослідження можуть бути використані для побудови гібридної рекомендаційної архітектури, придатної до інтеграції у вебплатформи й мобільні застосунки культурного спрямування.

Список використаних джерел:

- Ricci F., Rokach L., and Shapira B., “Recommender Systems Handbook”, Springer, 2015.
- "Стратегія розвитку штучного інтелекту в Україні: монографія" А.І. Шевченко, С.В. Барановський, О.В. Білокобильський та ін. – Київ: 2023.
- "Інформаційні системи, комунікації і технології у туристичній індустрії" М.М. Цепенда, В.Й. Бурка – Чернівці: ЧНУ ім. Ю. Федьковича, 2024.
- GDPR 2018.

Data Structures and Route Reduction Procedures in the Problem of Distribution and Routing of Flows in a Communication Network

Vasyanin V.A., Trofymchuk O.M., Trukhin R.S.

Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, E - mail: conference.it-gis@gmail.com

In the problems of optimizing the distribution and routing of flows in communication networks, the input data is vehicle routes or data transmission channels [1, 2]. In terms of graph theory, a route is a simple path given by the enumeration of nodes and arcs of a network. Circular routes in which the initial and final nodes coincide are allowed. A set of routes can be initially specified or generated according to certain rules in the process of solving a problem. Because routes have different lengths in terms of the number of nodes (or arcs) included in them, shorter routes can coincide with longer routes, both in nodes and in arcs. For the distribution of flows in such problems, special data structures are used – abstract data types (ADT) [3-5], with the help of which the relationship between distributed flows and routes is described. Route reduction procedures can significantly reduce the number

of such connections in the case when the number of initial or generated routes in combinatorial optimization problems is very large.

The article discusses data structures and procedures for route reduction, which are used in algorithms for solving the problem of optimization of distribution and routing of flows [1, 6]. The developed algorithms for route reduction allow solving the problem of distributing flows when the number of specified routes is too many, and the amount of RAM of the computer is limited. Estimates of the complexity of algorithms for reducing routes by nodes and arcs, as well as the algorithm for forming a reference data structure, are obtained. The proposed algorithms were tested on networks with the number of nodes from 50 to 500 and the number of routes from 1225 to 124750, which showed their operability, good computational efficiency and they can be used in practical problems of distribution and routing of flows on large-dimensional networks.

REFERENCES

- [1] Trofymchuk O.M., Vasyanin V.A. Simulation of Packing, Distribution and Routing of Small-Size Discrete Flows in a Multicommodity Network. *Journal of Automation and Information Sciences*. 2015. 47(7). P. 15-30. DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v47.i7.
- [2] O.M. Trofymchuk and V.A. Vasyanin, "Choosing the Capacity of Arcs with Constraint on Flow Delay Time," *Cybernetics and Systems Analysis*. 2019. 55(4). pp. 561-569.
- [3] T. Cormen, C. Leiserson, R. Rivest, and C. Stein, "Algorithms: Construction and Analysis," 2nd Edition. Moscow: Williams Publishing House, 2005. 1296 p. (In Russian).
- [4] R. Sedgwick, "Fundamental algorithms in C++. Algorithms on graphs," St. Petersburg: DiaSoftUP LLC. 2002. 496 p. (in Russian).
- [5] M. Gary and D. Johnson, "Computing Machines and Hard-to-Solve Problems," Moscow, Mir Publ., 1982. 416 p. (In Russian).
- [6] Certificate of copyright registration for the work "Computer Program for Optimization of Distribution and Routing of Discrete Flows in a Multi-Product Communication Network," Applicant and owner V.O. Vasyanin; A. S. dated 20.07.2016 No. 66794, State Intellectual Property Service of Ukraine; application dated 25.05.2016 No. 67224 on registration of copyright for the work.

Спосіб обробки двовимірних зображень на основі векторної нелінійної фільтрації

Тулякова Н.О.¹, Трофимчук О.М.²

¹ Інститут прикладної фізики НАНУ, м. Суми, Україна,

² Інститут телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАНУ, Київ, Україна

Розробка алгоритмів підвищення якості зображень є актуальним напрямом цифрової обробки сигналів, оскільки ефективністю фільтрації визначається надійність інтерпретації зображень, точність оцінювання параметрів, успішне застосування автоматизованих систем аналізу інформації та технологій штучного інтелекту.

Уперше запропоновано спосіб обробки двовимірних зображень на основі векторної нелінійної фільтрації. Новизна полягає в представленні матриці пікселів у вікні фільтра як послідовностей векторів у горизонтальному, вертикальному та діагональних напрямках та застосування певного алгоритму векторної нелінійної фільтрації [1, 2] для отримання результуючих векторів. Значення компонентів векторів під час руху вікна по зображенню накопичуються як оцінки значень пікселів відповідно до їхніх координат. За отриманими стеками оцінок для кожного пікселя зображення визначається результуюча (усереднена) оцінка. Запропонований спосіб не потребує апріорної інформації та дозволяє розробляти високоефективні фільтри, що можуть використовуватися в структурі адаптивних та багатоступеневих алгоритмів.

Приклад застосування запропонованого способу з використанням векторного сигма-фільтру [3] для обробки тестового зображення радіолокаційної системи з синтезованою апертурою (РСА) наведений на рис. 1, де а – вхідне зображення зі спекл-шумом (стандартне відхилення $\sigma=0,6$); б – вихідне зображення, отримане в результаті застосування векторного сигма-фільтру. Спекл, характерний для радіолокаційних, ультразвукових та лазерних систем, виникає внаслідок взаємної інтерференції когерентних хвиль, відбитих від неоднорідної поверхні. Цей шум має мультиплікативну природу та впливає на інтенсивність сигналу, проявляється у вигляді зернистості зображення, що ускладнює його інтерпретацію. Порівняння показників ефективності фільтрації за критеріями пікового відношення сигнал шум (PSNR) [4], ступеня збереження границь (α) [5] та універсального індексу якості (UIQ) [6] для векторного сигма-фільтру (ВСФ) [2], сигнально-залежного векторного фільтру

(СЗВФ) [7] та найбільш популярних медіанного (МФ), центрально-зваженого медіанного (ЦЗМФ) [4], гібридного медіанного (ГМФ) [8] та сигма-фільтру (СФ) [9], наведене в Таблиці 1, показує істотну перевагу векторних нелінійних фільтрів, застосованих запропонованим способом.

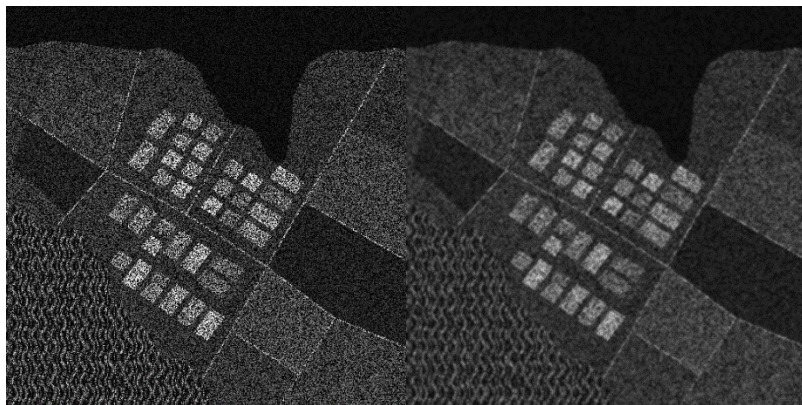


Рис.1

Таблиця 1

Фільтр, 5×5	Спекл-шум, $\sigma=0,3$			Спекл-шум, $\sigma=0,6$			Спекл-шум, $\sigma=0,9$		
	PSNR	α	UIQ	PSNR	α	UIQ	PSNR	α	UIQ
МФ	24,38	0,025	0,828	22,89	0,013	0,771	21,86	0,010	0,725
ЦЗМФ	24,52	0,127	0,836	22,80	0,086	0,771	21,67	0,070	0,720
СФ	24,28	0,258	0,842	21,96	0,200	0,757	20,66	0,178	0,701
ГМФ	24,53	0,141	0,838	22,71	0,097	0,770	21,53	0,080	0,716
СЗВФ	26,38	0,298	0,892	24,77	0,225	0,850	23,85	0,199	0,822
ВСФ	26,65	0,303	0,898	25,12	0,235	0,861	24,19	0,212	0,837

Список використаних джерел:

1. Alshatti W., Bolon P., Lambert P. A Class of Nonlinear Vector Filters Application to Multi-Spectral Image Filtering. Signal Processing VII: Theories and Applications. 1994. P. 860-862.
2. Astola J., Haavisto P., Neuvo Y. Vector Median Filters. IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process. 1990. Vol. 78, N 4. P. 678-689.
3. Lukac R., Smolka B., Plataniotis K.N., Venetsanopoulos A.N. Generalized adaptive vector sigma filters. 2003 Int. Conf. on Multimedia and Expo. ICME '03. Proc., Baltimore, USA, 2003. Vol. 1. P. I-537.

4. Astola J., Kuosmanen P. Fundamentals of Nonlinear Digital Filtering. – USA: CRC Press LLC, 1997. – 276 p.
5. Sattar F., Floreby L., Salomonsson G., Löfström B. Image enhancement based on a nonlinear multiscale method. IEEE Trans. On Image Processing. 1997. Vol. 6, N 6. P. 888-895
6. Wang Z., Bovik A.C. A universal image quality index. IEEE Signal Processing Letters. 2002. Vol. 9, N 3. P. 81-84.
7. Bezerianos A., Laskaris N., Fotopoulos S., Papathanasopoulos P. Data dependent weighted averages for recording of evoked potential signals. Electroencephalography and clinical Neurophysiology. 1996. P. 468-471.
8. Lee Y. Performance analysis of improved hybrid median filter applied to X-ray computed tomography images obtained with high-resolution photon-counting CZT detector: A pilot study. Nuclear Engineering and Technology. 2022. Vol. 54, N 9. P. 3380-3389.
9. Lee J.S. Digital image noise smoothing and the sigma filter. Computer Vision, Graphics and Image Processing. 1983. Vol. 24. P. 255-269.

Гібридна квантово-федеративна модель для виявлення рідкісних цільових груп у цифрових екосистемах

Фадєйчев С. В.

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України
email: serhii.fadeichev@itgip.org*

У роботі представлено новий підхід до аналітики користувацьких даних, що поєднує можливості квантових обчислень і федеративного навчання для виявлення малочисельних, але високоцінних цільових груп у цифровому маркетингу. Метою дослідження є підвищення точності прогнозування поведінки користувачів при одночасному забезпеченні захисту персональних даних відповідно до вимог GDPR.

Запропоновано гібридну архітектуру, у якій 75% обчислень виконуються у федеративному режимі, а 25% - на квантовій підсистемі, реалізований із використанням алгоритму пошуку Гровера. Такий баланс дозволяє зберегти локальну обробку персональних даних і водночас отримати прискорення пошуку цільових патернів завдяки квантовим операціям суперпозиції та інтерференції.

Для валідації моделі використано реалістичний датасет обсягом 1 млн записів, що охоплює 100 тис. користувачів. Серед них криптографічно приховано 300 високоцінних клієнтів (0,3% від загальної кількості) - пропорція, близька до реальних умов пошуку вузьких ринкових сегментів. Модель продемонструвала покращення виявлення таких користувачів до $79,5\% \pm 8,6\%$, тоді як звичайне федеративне навчання забезпечило лише $24,4\% \pm 5,5\%$, а класичний метод вибірки Томпсона - $4,6\% \pm 1,8\%$.

Під час випробувань на трьох комерційних кейсах (курси зі штучного інтелекту, мобільна гра, електронна книга з квантових технологій) за загального бюджету \$4500 і стандартної вартості верифікації \$10 за перевірку, квантово-федеративна модель ідентифікувала 239 реальних цінних клієнтів із середньою вартістю залучення \$18,86. Це у 17 разів ефективніше за базову вибірку Томпсона ($CAC = \$321,43$) і у понад 3 рази краще за класичне федеративне навчання ($CAC = \$61,64$). Рівень рентабельності інвестицій (ROI) сягнув +950%, перетворивши збиткову стратегію у високомаржинальну систему аналітики.

Статистичну достовірність підтверджено серією із п'яти незалежних експериментів із різними початковими умовами (seed 42–46). Рівень значущості ($p < 0,001$) та величина ефекту за показником Коена ($d = 4,66-11,6$) підтверджують, що результати не є випадковими, а ефект - практично значущим.

Розроблена система повністю відповідає вимогам європейського регламенту GDPR, оскільки вся персоналізована обробка відбувається локально на пристроях користувачів без передачі сирих даних. Для підвищення рівня кіберзахисту застосовано постквантові криптографічні стандарти NIST рівня 3: алгоритм Kyber-3 для безпечного обміну ключами та Dilithium-3 для автентифікації. Це гарантує захист системи від поточних квантових атак майбутніх поколінь обчислювальних систем.

На відміну від попередніх теоретичних праць у сфері квантово-федеративного навчання, у дослідженні проведено експериментальну перевірку працездатності моделі в умовах реальних маркетингових даних. Отримані результати демонструють синергетичний ефект від поєднання двох парадигм - квантових алгоритмів і розподіленого навчання, що забезпечує одночасно високу точність, масштабованість і конфіденційність.

Синергія квантових обчислень і федеративного навчання відкриває новий напрям у сфері аналітики даних, дозволяючи виявляти рідкісні високоцінні аудиторії без порушення приватності користувачів. Отримані результати свідчать, що квантово-федеративні алгоритми здатні

радикально підвищити ефективність цифрового маркетингу, фінансових і соціальних аналітичних систем, забезпечуючи одночасно безпечну роботу з конфіденційними даними у майбутній епосі квантових обчислень.

Висновки. Проведено розробку та експериментальну валідацію гібридної квантово-федеративної моделі для виявлення рідкісних цільових груп у цифрових екосистемах з розподілом обчислювального навантаження 75% федеративних та 25% квантових операцій.

Отримані результати демонструють підвищення точності виявлення високоцінних користувачів до $79,5\% \pm 8,6\%$ порівняно з $24,4\% \pm 5,5\%$ для класичного федеративного навчання та $4,6\% \pm 1,8\%$ для методу Томпсона, при зниженні вартості залучення клієнта до \$18,86 та досягненні ROI +950%.

Ці результати обумовлені синергетичним ефектом поєднання квантової суперпозиції для прискореного пошуку патернів та федеративної архітектури для збереження конфіденційності даних, що дозволяє впроваджувати систему в наукових та комерційних проєктах з дотриманням вимог GDPR та забезпеченням постквантового криптографічного захисту.

Інформаційна технологія для підвищення точності вимірювання параметрів швидкоплинних процесів

Войцеховська О. О., Мокін Б. І., Мокін О. Б.

Вінницький національний технічний університет

E - mail: o_voytsekhovska@vntu.edu.ua

Відомо, що при вимірюваннях параметрів швидкоплинних процесів будь-якої фізичної природи вихідні сигнали інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) містять в собі похибки, обумовлені впливом динаміки цих систем на процеси вимірювання.

Наприклад, якщо на протязі 10 секунд на виході ІВС з передаточною функцією

$$W(p) = \frac{1}{p+1} \quad (1)$$

було зафіксовано сигнал, математична модель якого має вигляд

$$y(t) = 5\sqrt{t}, \quad (2)$$

то в дійсності, як показано в нашій роботі [1], математична модель цього сигналу, а отже і реальної вимірюваної фізичної величини, матиме вигляд

$$y(t) = 6,09\sqrt{1,007t} \quad (3)$$

Як відрізняється графік вимірюваної величини, що характеризується моделлю (3), від графіка сигналу на виході ІВС, що характеризується моделлю (2), бачимо з приведеного нижче рисунку, запозиченого з нашої роботи [1].

Із приведених графіків видно, що програми цифрового оброблення даних вимірювання ІВС необхідно доповнювати програмами реалізації інформаційних технологій (ІТ) підвищення точності вимірювання параметрів швидкоплинних процесів (ІТПТВП).

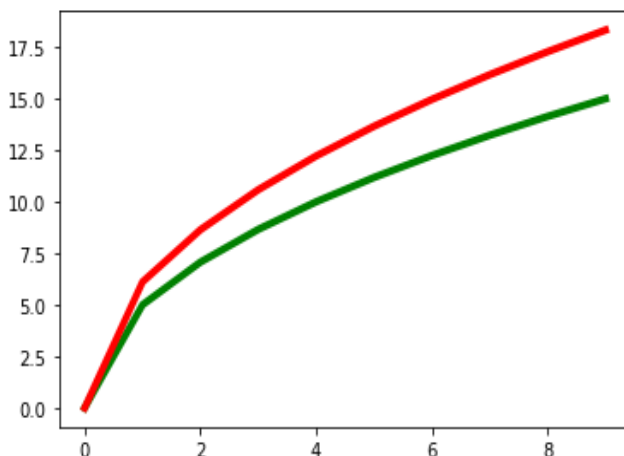


Рис. 1. Графіки сигналів на виході ІВС (нижня крива) та на її вході (верхня крива)

В нашій доповіді представлено один із варіантів реалізації ІТПТВП.

Наш варіант реалізації ІТПТВП, в основу якого покладено Фур'є-інтегральний метод ідентифікації (ФІМІ) динамічних систем і сигналів, запропонований в минулому столітті Б. І. Мокіним і детально викладений в роботі [2], базується на комп'ютерній програмі реалізації ФІМІ в задачі відновлення вхідних сигналів ІВС, створеній нами на мові Python [3].

Наша Python-програма відновлення вхідних сигналів ІВС у своїй структурі містить 4 частини, в першій з яких за реалізацією вихідного

сигналу $y(t)$, зафіксованою на відрізку часу T , визначаються коефіцієнти Фур'є m_i , n_i цього сигналу для значень $i = \overline{0, N}$.

В другій частині цієї Python-програми для цих же значень i за заданими частотними характеристиками $R(\omega)$, $Q(\omega)$ IBC, де

$$W(j\omega) = W(p)_{p=j\omega}, \quad W(j\omega) = R(\omega) + jQ(\omega), \quad (4)$$

визначаються їх значення на частотах $i\omega_1$, тобто $R(i\omega_1)$, $Q(i\omega_1)$, де

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{T} \text{ — частота першої гармоніки.}$$

В третій частині Python-програми згідно з алгоритмом ФІМІ з використанням значень m_i , n_i , $R(i\omega_1)$, $Q(i\omega_1)$ для кожного значення i із множини $\overline{0, N}$ розраховуються пари коефіцієнтів Фур'є a_i , b_i

$$a_i = \frac{m_i R(i\omega_1) - n_i Q(i\omega_1)}{R^2(i\omega_1) + Q^2(i\omega_1)}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, \quad (5)$$

$$b_i = \frac{n_i R(i\omega_1) + m_i Q(i\omega_1)}{R^2(i\omega_1) + Q^2(i\omega_1)}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, \quad (6)$$

вхідного сигналу $x(t)$, який моделюється рядом

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} a_i \cos i\omega_1 t + \sum_{i=1}^{\infty} b_i \sin i\omega_1 t. \quad (7)$$

А четверта частина нашої Python-програми з застосуванням нелінійного варіанту метода найменших квадратів будує математичну модель відновленого вхідного сигналу $x(t)$ IBC, еквівалентну нескінченній кількості гармонійних складових у виразі (7), уже очищену від 'похибок, що вносяться в процес вимірювання динамікою IBC.

Список використаних джерел:

[1] Войцеховська О. О., Мокін Б. І., Мокін О. Б. Інформаційна технологія реалізації Фур'є-інтегрального методу ідентифікації для відновлення вхідних сигналів інформаційно-вимірювальних систем. Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2025, №3. С. 90-99.

[2] Математичні методи ідентифікації динамічних систем: навчальний посібник / Б. І. Мокін, В. Б. Мокін, О. Б. Мокін. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 260 с.

[3] Python. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.python.org/downloads/>

Інтеграція нейронних мереж у SCADA-системи для інтелектуального моніторингу та прогнозування в нафтовидобувній галузі

Ошкодьоров Є.О.

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України,
E-mail: oshkodorov.e@gmail.com*

У статті представлено результати дослідження з інтеграції штучних нейронних мереж у структуру SCADA-систем з метою прогнозування параметрів у процесах розвідки та видобування вуглеводнів. Здійснено побудову багатопшарової нейронної мережі із вчителем для прогнозування технологічного параметра за даними сенсорів, отриманими у реальному часі. Проведено навчання моделі, обчислювальні експерименти та порівняння точності передбачень на основі реальних виробничих даних. Запропоновано концепцію впровадження модуля прогнозування в SCADA-систему для активного керування. Робота має практичну цінність для підвищення ефективності та безпеки об'єктів нафтовидобутку.

Сучасна нафтогазова галузь активно впроваджує технології інтелектуального моніторингу та прогнозованої аналітики, що є ключовими елементами концепції Industry 4.0. SCADA-системи (Supervisory Control and Data Acquisition) традиційно використовуються для збору даних з датчиків у реальному часі та керування обладнанням. Інтеграція методів машинного навчання (зокрема, штучних нейронних мереж) у SCADA дозволяє підняти ці системи на новий рівень – від простого контролю до прогнозованого керування процесами видобутку. Дослідження свідчать, що застосування нейромереж у нафтовидобувній сфері суттєво підвищує точність прогнозування технологічних параметрів (наприклад, тиск у пласті, продуктивність свердловин тощо) [4,6]. Зокрема, рекурентні нейронні мережі (LSTM, GRU) продемонстрували високі показники точності

при передбаченні дебіту свердловин і інших часових даних [1–3]. Це створює передумови для своєчасного виявлення відхилень і оптимізації режимів роботи, що в кінцевому підсумку зменшує операційні ризики та підвищує ефективність видобутку вуглеводнів.

Для моделювання було обрано нейронну мережу з вчителем (neural network with a teacher). В якості входу використовуються дані польових показників свердловини, отримані зі SCADA-системи моніторингу з сенсорів. Тренувальний набір даних містить кілька тисяч вимірювань параметрів питомої провідності, умовно позначених, як Zond_1–Zond_4.

Для прогнозування значень питомої провідності геологічного середовища на основі вхідних вимірювань із кількох зондів, зокрема, на основі значень провідності зонда 3 та зонда 4 ($x_1 = \text{Zond}_3$, $x_2 = \text{Zond}_4$) здійснювалося прогнозування параметрів зонда 1 та зонда 2 ($y_1 = \text{Zond}_1$, $y_2 = \text{Zond}_2$). Задачу можна подати у вигляді функціонального перетворення:

$$f: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2, f(x_1, x_2) \approx (y_1, y_2)$$

де f — це нейронна мережа, яка апроксимує залежність вихідних параметрів від вхідних.

Моделі реалізовано, як багатошаровий перцептрон (MLP) з одним прихованим шаром та нелінійною функцією активації ReLU:

$$\text{ReLU}(z) = \max(0, z)$$

Схематично архітектуру представлено на малюнку 2:

Архітектура багатошарової нейронної мережі (MLP)

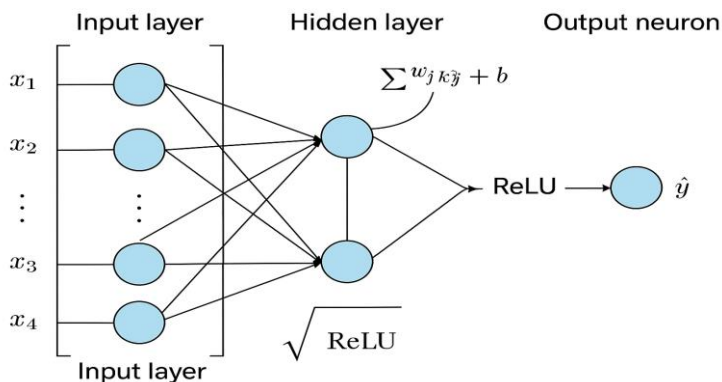


Рис. 2 Архітектура багатошарової нейронної мережі (MLP)

Кількість нейронів у прихованому шарі позначимо як h , а навчання мережі здійснюється методом зворотного поширення помилки (backpropagation) з оновленням ваг за допомогою градієнтного спуску:

$$w \leftarrow w - \eta \cdot \frac{\partial E}{\partial w}$$

де η — швидкість навчання, w — вектор ваг, E — функція помилки.

Для оцінки точності прогнозу використовувалася середньоквадратична похибка (Mean Squared Error, MSE):

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(y_{1i} - \hat{y}_{1i})^2 + (y_{2i} - \hat{y}_{2i})^2]$$

де N — кількість прикладів у вибірці, y_{1i}, y_{2i} — фактичні значення, $\hat{y}_{1i}, \hat{y}_{2i}$ — передбачені мережею.

Вхідними даними було використано реальні свердловинні записи питомої провідності у табличному форматі з чотирма параметрами даних: Zond_1, Zond_2, Zond_3, Zond_4.

Модель було реалізовано на мові програмування C++, з подальшою візуалізацією результатів. Для кожної пари (фактичного значення та передбачуваного значення) було побудовано графіки суцільних ліній, які дозволяють візуально оцінити точність апроксимації.



Рис. 4 Порівняння фактичних і передбачених значень зондів 1 та 2

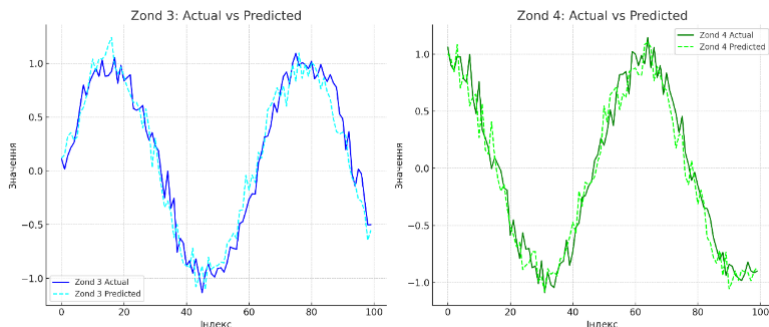


Рис. 5 Порівняння фактичних і передбачених значень зондів 3 та 4

Побудовані графіки демонструють високий ступінь апроксимації, де передбачуванні значення тісно узгоджуються з фактичними. Порівняльний аналіз демонструє, що модель досить точно відтворює динаміку провідності Zond_1 і Zond_2 на основі інших вимірювань, що підтверджує ефективність обраного підходу для задач автоматизованої інтерпретації геофізичних даних у SCADA-системах. Це підтверджує, що інтегрована неймережева система здатна завчасно попереджати про майбутні зміни технологічних показників. У практичному плані отримані результати дозволяють операторам нафтовидобувної установи за кілька годин передбачити, наприклад, падіння дебіту чи тиску і відповідно підготувати необхідні заходи (перегляд режиму роботи нагосу, планове обслуговування тощо).

Важливо, що інтегрована неймережева працює в режимі online та може періодично перенавчатися на нових даних, накопичених SCADA. Це забезпечує адаптивність моделі до зміни характеристик об'єкта (наприклад, падіння пластового тиску з часом). Для безпечної роботи передбачено механізми відмовостійкості: у разі недоступності модуля прогнозування SCADA-система переходить у штатний режим функціонування без прогнозів, аби не порушити процес керування.

Висновки. Проведена апробація неймережевого підходу до прогнозування параметрів у розвідці та видобутку вуглеводнів показала його ефективність і практичну значущість. Запропоновано сучасне формулювання задачі: інтеграція нейронних мереж у SCADA-системи, як засобу реалізації інтелектуального моніторингу на промислових об'єктах нафтовидобутку. Впровадження описаних рішень сприятиме підвищенню рівня безпеки та економічної ефективності нафтовидобувних процесів за рахунок переходу від реагування на події до проактивного управління.

Список використаних джерел:

1. Al-Shabandar R. et al. A Deep Gated Recurrent Neural Network for Petroleum Production Forecasting // Machine Learning and Applications – 3 (2021) – Art. 100013.
2. Amangeldy B. et al. Integrating Machine Learning with Intelligent Control Systems for Flow Rate Forecasting in Oil Well Operations // Automation – 5(3) (2024) – P. 343–359.
3. Azmi P.A.R. et al. A Review of Predictive Analytics Models in the Oil and Gas Industries // Sensors – 24(12) (2024) – Art. 4013.
4. Huang R. et al. Well Performance Prediction Based on Long Short-Term Memory (LSTM) Neural Network // J. Pet. Sci. Eng. – 208 (2022) – P. 109686.
5. Rashad O. et al. A Smart PLC-SCADA Framework for Monitoring Petroleum Products Terminals in Industry 4.0 via Machine Learning // Measurement and Control – 55 (2022) – P. 830–848.
6. Tariq Z. et al. A Systematic Review of Data Science and Machine Learning Applications to the Oil and Gas Industry // J. Pet. Explor. Prod. Technol. – 11 (2021) – P. 4339–4374.

Advantages of using hypersingular integral equations in modeling free-boundary flows

Hurzhii R., Verbolotskyi T.

Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine,
E - mail: roman.hurzhii@itgip.com

Modeling of the unsteady free-boundary flows is a persistent challenge due to their high sensitivity to boundary conditions, strong nonlinearity, and the emergence of new interface segments. Traditional grid-based numerical approaches—such as finite element and finite difference methods—require volumetric discretization, frequent remeshing, and may suffer from stability issues during strongly deforming interface regimes.

The aim of the study is to assess the applicability and advantages of hypersingular integral equations (HIE) for modeling incompressible, inviscid potential flows with free boundaries, in comparison to classical grid-based methods. The analysis focuses on interface-dominated phenomena, such as jet formation and free-surface deformation under external forcing.

Key considerations:

1) Boundary-only discretization: HIE-based formulations avoid interior meshing, which can reduce computational cost for exterior or unbounded domains and simplify handling of large interface deformations.

2) Methodological framework: The analysis employs the Method of Discrete Singularities (vortex-sheet/dipole representations) with proved stability, convergence, and approximation properties for the underlying hypersingular operators, enabling robust simulation of strongly deforming free surfaces.

3) Physical regime: Since flow separation and jetting are inherently viscous, they will be modeled through vortex-sheet coupling and surface-tension effects, not by the HIE formulation alone.

Performance will be evaluated in terms of accuracy, conditioning, and computational cost compared to representative grid-based methods. The study aims to identify regimes where hypersingular integral equations provide a clear advantage—particularly for exterior, potential-flow problems with strongly deforming interfaces—forming a basis for selecting efficient mathematical models in hydrodynamic simulations for engineering and environmental applications.

References

- 1) Dovgiy S. O., Lyashko S. I., Cherniy D. I. Algorithms of the Discrete Singularity Method for Computing Technologies. *Cybernetics and Systems Analysis*, 2017, Vol. 53, No. 6, pp. 950–962.
- 2) Dovgiy S. A., Lifanov I. K., Cherniy D. I. *Method of Singular Integral Equations and Computational Technologies*. Kyiv: Yuston, 2016, 380 p.
- 3) Verbovolskiy T. O., Hurzhii R. O., Cherniy D. I. Computational Technologies for Initial–Boundary Problems with a Free Boundary. In: *Mathematical Modeling and Information and Communication Technologies for Displacement and Recovery: Proceedings of the 23rd International Scientific and Practical Conference*, Kyiv, 12–13 November 2024. pp. 54–56.

Strategic Aspects of Environmental Safety of Ukraine's Lake and Wetland Ecosystems under Contemporary Anthropogenic Challenges

Zahorodnia S., Radchuk I.

*Institute of Telecommunications and Global Information Space,
National Academy of Sciences of Ukraine
Zagorodnya.s@gmail.com*

Lake and wetland ecosystems of Ukraine play a crucial role in ensuring environmental safety, regulating hydrological regimes, maintaining biodiversity, and sustaining the stability of natural landscapes. Contemporary anthropogenic challenges, including the intensification of natural resource use, climate change impacts and the consequences of military activities, exert significant pressure on aquatic ecosystems, resulting in their degradation. Wetlands act as natural filters, carbon sinks and buffer zones for water regulation, as well as important reservoirs of biodiversity. Their deterioration leads to the loss of vital ecosystem services required for sustainable territorial development, environmental balance and a safe living environment [1; 2].

Effective environmental safety of lake and wetland ecosystems requires an objective assessment of their ecological vulnerability and degradation risks. A comprehensive research methodology should combine baseline and selective monitoring, enabling the identification of reference sites with minimal anthropogenic impact that serve as control benchmarks for further assessments. Baseline monitoring allows the detection of long-term trends in ecosystem transformation, while selective monitoring provides timely detection of local disturbances and environmental “hotspots” [3]. The integration of contact methods (hydrochemical analysis, bioindication, soil- and water-ecological surveys) with remote and cartographic-analytical approaches ensures a holistic understanding of spatial and temporal ecosystem dynamics. The use of Geographic Information Systems (GIS) enables spatial modelling of environmental changes, analysis of wetland boundary dynamics, assessment of anthropogenic pressure intensity and visualisation of ecological risks [4; 5].

The relevance of this issue in Ukraine is reinforced by the increasing number of degradation cases recorded across lake and wetland ecosystems, particularly within the Polissia region, the Dniro–Buh floodplain system and the southern coastal territories. In several regions, military activities have become a catalyst for the loss of natural habitats, hydrological regime alter-

ations, spread of landscape fires, and contamination of water bodies with petroleum products, heavy metals and explosive residues, accelerating eutrophication processes and ecosystem degradation. Disruption of hydrological structures in selected lakes and wetlands has led to a reduction in their buffering capacity, shrinkage of wetland areas, decline in biodiversity and transformation of natural biocenoses, which increases environmental risks for surrounding territories and communities [6].

The conservation and restoration of lake and wetland ecosystems of Ukraine constitute an integral component of achieving the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 6 “Clean Water and Sanitation”, SDG 13 “Climate Action” and SDG 15 “Life on Land”. Wetlands possess substantial natural capacity for carbon accumulation and sequestration, contributing to carbon footprint reduction and strengthening landscape climate resilience [7-8]. Preserving wetlands as natural carbon sinks is a strategic tool for climate change mitigation, while their degradation may lead to the release of stored carbon into the atmosphere. Restoration of disturbed areas through nature-based solutions helps minimize anthropogenic impact and ensures the long-term functioning of aquatic ecosystems with a low carbon footprint.

Developing an integrated water resource management system based on the ecosystem approach, implementing nature-based solutions, improving regulatory frameworks for aquatic ecosystem protection and enhancing inter-agency coordination are essential conditions for strengthening environmental safety and ensuring sustainable territorial development.

References

1. Ramsar Convention Secretariat. Wise Use of Wetlands.
2. IPBES. Global Wetland Assessment Report.
3. UNEP. Environmental Security and Water Systems: Global Review.
4. European Environment Agency. Wetlands and Freshwater Systems Report.
5. IUCN. Ecosystem-Based Management for Water Security.
6. WWF-Ukraine. Status of Freshwater Ecosystems.
7. IPCC. Climate Change Mitigation: Role of Wetlands in Carbon Sequestration.
8. Oleksandr Trofymchuk, Vyacheslav Vishnyakov, Natalia Sheviakina, Viktoriia Klymenko, Serhii Slastin. Monitoring of fires and assessment of changes in the state of nature-protected territories of Ukraine as a result of military operations. International Multidisciplinary Scientific GeoConference – SGEM, 2022 (2), pp. 369 – 377.

On the implementations of stream ciphers based on dynamical systems of large girth

Ustimenko V. O.^{1,2}, Pustovit O. S.², Svyrydenko T.A..²

¹Royal Holloway, University of London

²Institute of telecommunication and global information space, NAS of Ukraine

E - mail: VasyL.Ustymenko@rhul.ac.uk, sanyk_set@ukr.net, ipz23-t.svyrydenko@nubip.edu.ua

Dynamical systems of large girth over commutative ring K were formally defined in [1] together with corresponding to them families of stream ciphers. These stream ciphers work with the space of plaintexts K^n and passwords of kind $(r_1, r_2, \dots, r_a)$ where $r_1 - r_{i+2} \in K^*$ and parameter s is taken from the interval $[2, r(n)]$ defined by $r(n)$ of kind $an+b$ where $a>0$, $a=O(1)$, $b=O(1)$. We refer to $r(n)$ as girth indicator of the dynamical system. The definition of dynamical system insures that different passwords as above produce distinct ciphertexts. It means that the only option to break the stream ciphers for the adversary who has no access to unencrypted information is to execute brute force search via the space of all possible passwords. So he/she has to investigate $t^2(1+p+p^2+\dots+p^{r(n)})$ options where t is the order of finite commutative ring K and p is the order of its multiplicative group.

If the length of password is $O(1)$ then the speed of the encryption is $O(n)$.

The popular commutative rings for the implementation of stream ciphers are finite fields F_q , $q=2^m$, $m \geq 1$ of order q with the multiplicative group of order $q-1$ and arithmetical ring Z_q of residues modulo q with the multiplicative group Z_q^* of order 2^{m-1} .

The first example of family of stream ciphers corresponding to dynamical systems of large girth was proposed in [2].

In the case of finite field F_q this is the encryption map induced by the walks on graphs $D(n, q)$ of large girth. The space of plaintexts is $(F_q)^n$ and $r(n)=\lfloor(n+3)/2\rfloor$.

It was implemented in cases F_{127} , F_{256} , Z_{256} and served for protection of communication networks and information systems in Fiji, Oman, Canada, Poland and Ukraine.

Authors presents new implementation of family of steam ciphers based on dynamical systems of large girth defined in terms of graph $A(n, K)$ (see [3] and further references) in case $K=Z_{256}$. We use we implement the modified encryption map via use of special hash function on K^n of complexity $O(1)$. This modification essentially improves the mixing properties of stream

cipher. Thus the change of single character of text or change of single character of password leads to the change 99% of ciphertexts characters.

Encryption function is a multivariate cubic map. So if adversary uses attacks with the interception of pairs plaintexts and ciphertexts then he/she need $O(n^3)$ such pairs and the complexity of adversarial attack will be $O(n^{10})$.

In case of even length of password we obfuscate the dynamical system via use of single nonlinear disturbance induced by polynomial $feK[x]$ of density $O(1)$ and degree d .

Such obfuscation does not affect presented above properties of the stream cipher but drastically increases its resistance to adversarial attacks with the access to unencrypted information. Adversary need interception of $O(n^{2d+1})$ pairs of kind \plaintext/ciphertext. The cost of adversarial attacks will be $O(n^m)$ $m=(2d+1)^2+1$. If $d \geq 5$ such attacks are unfeasible.

The software package will be presented at the conference.

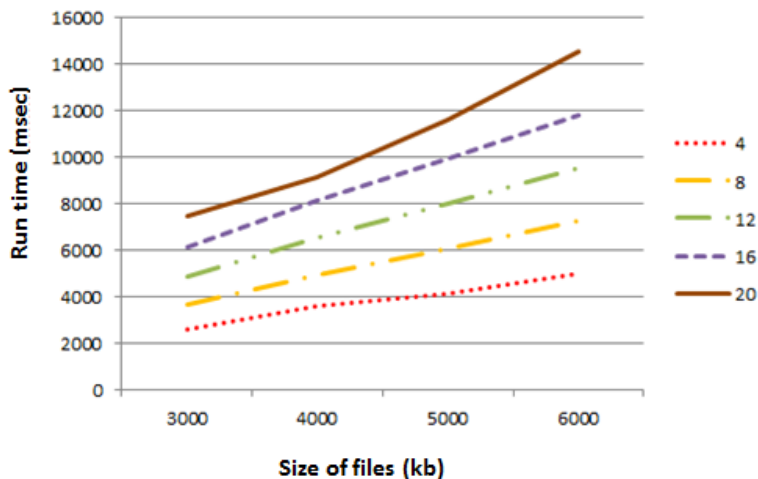


Fig. 1 Run time for the digest generation

References

- [1] V. A. Ustimenko, U. Romanczuk, On Dynamical Systems of Large Girth or Cycle Indicator and their applications to Multivariate Cryptography, in "Artificial Intelligence, Evolutionary Computing and Metaheuristics ", In the footsteps of Alan Turing Series: Studies in Computational Intelligence, Springer, Volume 427/2012, 257-285.

- [2] V. Ustimenko (1998), Coordinatisation of Trees and their Quotients, in the Voronoi's Impact on Modern Science, Kiev, Institute of Mathematics, 2, p. 125-152.
- [3] V. Ustimenko, O. Pustovit, On families of stream ciphers based on the approximations of regular forests, Proceedings of the 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP-2023) 22-24, November, 2023, Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, pp. 533-547.

On walks in infinite forest and algorithms of key establishment and encryption

V. Ustimenko^{1,2}, T. Chojceki³

¹*Royal Holloway, University of London*

²*Institute of telecommunication and global information space, NAS of Ukraine*

³*Maria Curie-Skłodowska University*

E-mail: Vasyl.Ustymenko@rhul.ac.uk, tymoteusz.chojecki@umcs.pl

Communication Theory widely uses finite commutative rings $(K, +, \times)$ for the representation of information pieces as tuples of kind $v = (p_1, p_2, \dots, p_n) \in K^n$ where coordinates p_i are elements of the alphabet K . Natural examples of commutative rings are modular arithmetic Z_{256} , finite field F_{256} order of which coincides with the size of binary alphabet. Family of commutative rings of kind Z_p for prime p and Z_{pq} for two prime numbers p and q are popular because of their use in Diffie-Hellman protocol and RSA algorithm.

Passwords in form of tuples v are used in symmetric encryption and as access data to use the resources of Information System. Diffie Hellman algorithm, which use generator a of cyclic subgroup in the multiplicative group Z_p^* , $(p-1, a)=1$ with the output b can be used for key establishment. Piece of information b can be naturally converted into the tuple in alphabet Z_q or F_q , $q=2^m$. because of each file in computer can be identified with the tuple over $Z_2=\{0,1\}$.

The security of Diffie-Hellman protocol (DH) rests on the complexity of Discrete Logarithm problem for Z_p^* . Theoretical option to solve this problem and the factorisation problem for integers was discovered by Peter Shor. It makes DH and RSA insecure in our Post-Quantum Era.

Our talk is dedicated to creation of new protocols for the key establishment with the resistance to adversarial attacks with the use of Quantum Computations. As an example we present the following algorithm.

We construct new platform for the implementation of protocols of Non-commutative Cryptography in terms of Symbolic Computations. Affine Cremona Semigroup ${}^n\text{CS}(\mathbb{F}_q)$ is defined as endomorphism group of polynomial ring $K[x_1, x_2, \dots, x_n]$ over the finite field $\mathbb{F}_q$. It acts naturally on the vector space $(\mathbb{F}_q)^n$ as semigroup of polynomial transformation.

Element of the semigroup σ can be given via its values on variables, i. e. as the rule $x_i \rightarrow f_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$, $i=1, 2, \dots, n$. This rule induces the map $\sigma': (a_1, a_2, \dots, a_n) \rightarrow (f_1(a_1, a_2, \dots, a_n), f_2(x_1, x_2, \dots, x_n), \dots, f_n(x_1, x_2, \dots, x_n))$ on the vector space $(\mathbb{F}_q)^n$. The computation of the composition is very costly because of the product of two elements of degree r and s has degree rs . Recall that degree of σ is the maximum of degrees of f_i . It means that n -th degree of nonlinear element usually has exponential size and its computation is unfeasible. We use the result on the interpretation of q -regular forest in terms of infinite system of quadratic equations [1]. We define an action of the semigroup $S(q)$ of walks of even length on the vector space $(\mathbb{F}_q)^n$ as the group $G(n, q)$ of cubic transformation of $\mathbb{F}_q$ for each n . The product of two cubic transformations from $G(n, q)$ is also a cubic transformation. The knowledge of reimage of $g_1, g_2 \in G(n, q)$ in $S(q)$ allows to compute the value of $g_1 g_2$ on v from $(\mathbb{F}_q)^n$ in time $O(n^2)$.

The protocol.: Correspondents use this semigroup and its invertible elements for the implementation of the following Twisted Diffie-Hellman protocol. Alice and Bob share element $g \in G(n, q)$ with its known reimage in $S(q)$ and pair of invertible elements h, h^{-1} from $G(n, q)$ with their reimages in $S(q)$. They select $v = (p_1, p_2, \dots, p_n)$. Alice takes positive integers $k(A)$ and $r(A)$ and forms the standard form of $h^{-r(A)} g^{k(A)} h^{r(A)} = g_A$ (list of its monomial terms). Bob takes $k(B)$ and $r(B)$ and forms $h^{-r(B)} g^{k(B)} h^{r(B)} = g_B$ in its standard form. They exchange g_A and g_B and compute collision element X as ${}^A g = h^{-r(A)} g_B^{k(A)} h^{r(A)}$ (Alice) and ${}^B g = h^{-r(B)} g_A^{k(B)} h^{r(B)}$ (Bob). Alice and Bob computes $X(v) = u$ and use it as their password. We prove that computation of u can be done in time $O(n^2)$. The description of the implementation of this postquantum secure algorithm can be found on IACR e-print Archive [2]. The figure below demonstrates the stabilisation of global density of the cubic multivariate maps of g_A and g_B with the growth of the lengths of their reimages in $S(q)$. So the adversary is not able to evaluate the length of these reimages and use this information for the recovery of $k(A)$, $r(A)$, $k(B)$ and $r(B)$.

Algorithm 2. We convert presented above protocol into the following cryptosystem for encryption. Alice and Bob have the same input data as in the protocol. They select parameters $k(A)$, $r(A)$, $k(B)$ and $r(B)$ as well. Instead

of $h^{-\tau(A)}g^{k(A)}h^{\tau(A)}=g_A$ of the protocol Alice sends its inverse $h^{-\tau(A)}g^{k(A)}h^{\tau(A)}=g'_A$ to Bob. He sends his g_B to Alice. She computes the same X as $^Ag=h^{-\tau(A)}g_B^{k(A)}h^{\tau(A)}$ but Bob computes $X^{-1}=h^{-\tau(B)}g'_A{}^{k(B)}h^{\tau(B)}$. So Alice and Bob can encrypt the plaintext fp from K^n via X and X^{-1} respectively. They use their algorithm's outputs to decrypt. They can compute the values of X and X^{-1} without computations of their standard forms because of their knowledge on the decomposition into generators h and g_B or h and g'_A respectively. That is why the complexity of both algorithms is $O(n^2)$. The postquantum security of these algorithms rests on the complexity of Conjugacy Power Problem for elements of ${}^nCS(K)$.

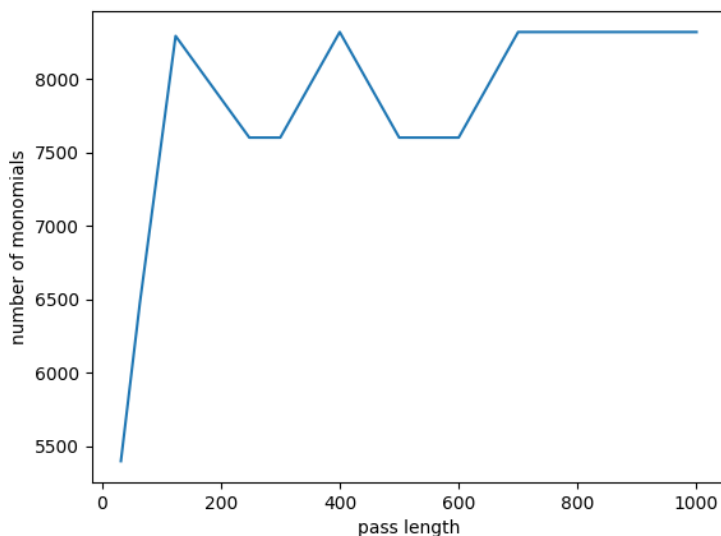


Fig. 1 Number of monomial terms (global density) of the cubic map induced by the graph, $n = 128$, F_q , $q=2^{24}$

References

- [1] F. Lazebnik, V. Ustimenko, Explicit construction of graphs with arbitrary large girth and of large size, Discrete Applied Mathematics 60 (1995), 275-284.
- [2] V. Ustimenko, T. Chojceki, New key establishment protocol based on random walks in infinite forest, IACR e[print Archive, 2025/1757

GIS60 & ГІС30

Нестеренко О. В.

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України,
e-mail: aleksandrnesterenkoua@gmail.com*

Геоінформаційні системи – ГІС (Geographic Information System – GIS) в наші часи є незамінним і поширеним інструментом опрацювання просторових даних і підтримки прийняття рішень. Їх історія як власне комп'ютерного застосування почалася з кількох проєктів у 60-х – 90-х роках минулого століття у Канаді, США та Великій Британії.

Пройшовши за приблизно 60 років кілька етапів розвитку – від піонерського (новаторського) до сучасного періоду споживання – геоінформаційні системи зазнали величезного прогресу. Сьогодні просторові виміри широко використовуються, і не лише проєктуючи Землю на плоскої поверхні карти, а й підтримуючи технології цифрових глобусів. Об'єктно-орієнтоване моделювання даних, що дозволяє використовувати успадкування та ієрархічні зв'язки, здатність враховувати як растрові, так і векторні структури, широкий спектр схем індексації, підтримка аналітики – усе це відносить сучасні ГІС до категорії передових інформаційних технологій.

Стосовно української частини історії ГІС можна казати про 30-річний період, адже починається вона з 90-х років з розвитку геоінформатики та експансії на наш ринок відповідного закордонного програмного забезпечення, у тому числі й того що вільно розповсюджується. Суттєвий внесок у поширення застосування ГІС на нашій території пов'язаний з розповсюдженням потужного програмного забезпечення від відомої компанії ESRI.

В межах загальної проблематики розросту застосування ГІС в багатьох видах діяльності актуальною є задача проведення досліджень, що мають відображати суспільно-технологічні часові тренди у вказаному напрямку. На їх основі стає можливим не лише створювати умови для забезпечення підвищення ефективності управління, а й для вибору та застосування новітніх технологічних засобів його підтримки. У цьому зв'язку корисні знання для теорії і практики застосування ГІС можуть надати систематизовані огляди публікацій світової наукової спільноти, що реєструються у міжнародних наукометричних базах даних, таких,

наприклад, як ресурси Scopus та Web of Science (WoS), а також вітчизняних джерел, зокрема з Національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського (НБУВ).

Якщо звернутись до ресурсів WoS за запитом "Geographic Information System" можна отримати близько 60 тис. результатів (за період з 1970 по 2024 роки). Розподіл публікацій по основних категоріях видань (галузям знань) свідчить, що основна кількість публікацій присвячена категоріям Environmental Sciences Ecology, Computer Science, Engineering та ін. Результати пошуку по країнах демонструють найвищі показники за кількістю публікацій у Китаї та США. Відповідний пошук у Scopus надає більш 100 тис. документів. Основні категорії видань присвячені також Environmental Sciences, Computer Science, Engineering, Earth and Planetary Sciences та ін. Щодо кількості публікацій домінують США та Китай.

Щоб оцінити вітчизняний дискурс наукових публікацій можна звернутись до можливостей пошукових сервісів НБУВ. У базі даних "Наукова періодика України" за запитом "геоінформ" можна знайти більше 700 результатів (з 2003 року), а в реферативній БД "Україніка наукова" – більше 2000 результатів (з 1998 року). Якщо розглянути галузеву тематику цих вітчизняних публікацій, треба вказати на переважання питань екології та природокористування, управління територіями, оборони та військової справи. В той же час технологічні напрямки в цьому корпусі відображені у дуже незначному обсязі.

Суспільний попит на високоякісні технології в умовах цифрової трансформації буде безперервно зростати. У зв'язку з новими викликами нарощуються й вимоги до бізнесової діяльності та ефективності рішень що приймаються. Проведений аналіз свідчить про існуючі розриви між технологічними трендами та засобами забезпечення опрацювання просторових даних. Чимало сучасних технологічних тенденцій в сфері ГІС відображені у вітчизняних публікаціях відносно невагомими. Основні причини цього полягають у повільності адаптації до поточних технологічних зрушень, а також в економічних труднощах запровадження й опанування сучасних інформаційних технологій. Ця контрверза породжує стримування інноваційної актуалізації економічної сфери країни, що негативно впливає й на темпи суспільного розвитку. Ключовим рішенням має бути значне підвищення рівня уваги керівництва бізнесових структур та науково-технічної спільноти до питань застосування ГІС в нових умовах цифровізації. Такий підхід може створити умови для об'єднання всіх учасників суспільних процесів в єдиній системі, і, як наслідок, дозволить в подальшому посилити економічний розвиток в країні.

Оцінка масштабів руйнувань в зоні бойових дій з використанням ГІС-аналізу та даних ДЗЗ

Бугаєць Д.О., Бутенко О.С.

Національний аерокосмічний університет «ХАІ»

Повномасштабна військова агресія російської федерації проти України призвела до значних руйнувань житлової та критичної інфраструктури, особливо у прифронтових районах. Оцінка масштабів цих руйнувань є одним із ключових завдань для планування відбудови територій, визначення рівня соціально-економічних втрат та документування наслідків воєнних дій.

Традиційні наземні методи обстеження зруйнованих об'єктів є небезпечними, трудомісткими та часто неможливими в умовах активних бойових дій. Тому актуальним стає використання сучасних методів дистанційного зондування Землі у поєднанні з геоінформаційними системами, які дають змогу оперативно збирати, обробляти та аналізувати просторові дані великого обсягу [1].

Метою роботи є підвищення оперативності та якості прийняття рішень щодо встановлення зруйнованої житлової забудови.

Для оцінки масштабів руйнувань в зоні бойових дій з використанням ГІС-аналізу та даних ДЗЗ було проведено етап збору та обробки геопросторових і ДЗЗ даних (рис.1).

Для дослідження, з відкритого ресурсу Humanitarian Data Exchange, було вивантажено шар адміністративно-територіальних кордонів України, за допомогою ресурсу DeepState було отримано динаміку змін ЛБЗ від початку повномасштабного вторгнення по сей день. Також було використано сервіси надання супутникових знімків Maxar та Planet Explorer, де було перевірено наявність супутникових знімків в архіві на територію зони інтересу від початку військових дій на дату проведення дослідження [2, 3, 4, 5].

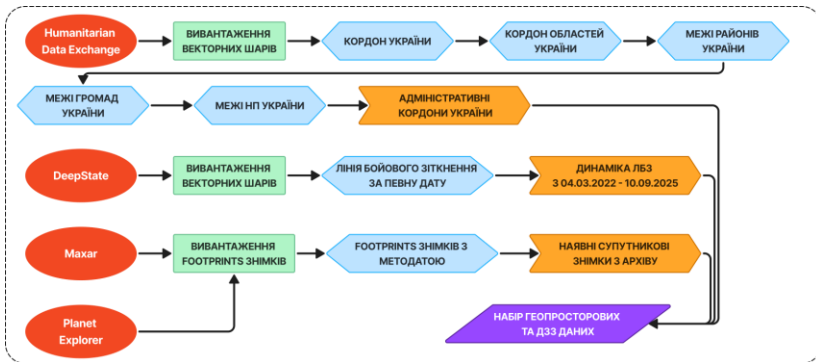


Рисунок 1 – Етап збору та попередньої обробки геопросторових і ДЗЗ даних для оцінки масштабів руйнувань

Далі було проведено оцінку масштабів руйнувань в зоні бойових дій з використанням ГІС-аналізу та даних ДЗЗ у програмному забезпечення QGIS (рис.2).

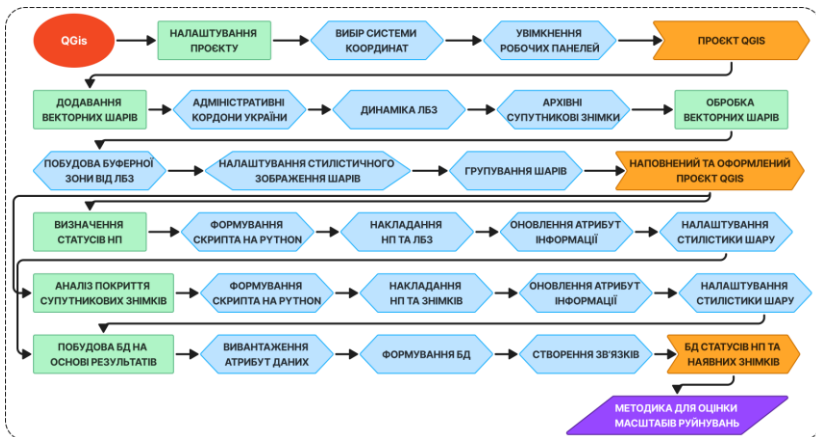


Рисунок 2 – Оцінка масштабів руйнувань в зоні бойових дій з використанням ГІС-аналізу та даних ДЗЗ

Першим кроком було налаштовано проєкт, визначено систему координат та підключено всі робочі панелі та плагіни. Далі було додано раніше завантажені шари, які необхідні для проведення

геопросторового аналізу.

Наступним кроком було визначено статус населених пунктів в залежності від лінії бойого зіткнення, а також побудовано буферну зону від ЛБЗ у розмірі 25 кілометрів, як потенційно сіра зона. Як результат було отримано населені пункти зі статусами: під контролем України, деокуповані, сіра зона та окуповані.

Далі було проведено геопросторовий аналіз та визначено, які населені пункти покриваються знімками, кількість цих знімків та ступінь покриття, як результат було отримано систему таблиць з побудованими зв'язками між ними, яке дає змогу визначити всі необхідні статуси та параметри для подальшого аналізу й оцінки масштабів руйнувань.

У результаті проведеного дослідження розроблено підхід до оцінки масштабів руйнувань житлової забудови на територіях, що зазнали впливу бойових дій, із використанням методів ГІС-аналізу та даних дистанційного зондування Землі. На основі поєднання просторових шарів лінії бойового зіткнення з DeepState, меж населених пунктів та супутникових знімків високої роздільної здатності Maxar та Planet створено базу даних, що відображає часову та просторову динаміку руйнувань у межах Харківської області.

Список використаних джерел:

1. Деякі питання проведення дистанційного обстеження знищених окремих категорій об'єктів нерухомого майна, які розташовані на територіях можливих бойових дій, для яких не визначена дата припинення можливості бойових дій, територіях активних бойових дій, територіях активних бойових дій, на яких функціонують державні електронні інформаційні ресурси, для яких не визначена дата завершення бойових дій [Електронний ресурс] // Офіційний вебпортал парламенту України. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/815-2025-p?utm_source=chatgpt.com#Text
2. Гуманітарний обмін даними [Електронний ресурс] // Humanitarian Data Exchange. – Режим доступу: <https://data.humdata.org/>
3. DeepStateMAP [Електронний ресурс] // DeepStateMap. – Режим доступу: <https://deepstatemap.live>
4. Maxar Connect, Powered by SkyFi. [Електронний ресурс] // Maxar Connect. – Режим доступу: <https://maxar.skyfi.com/welcome>
5. Planet Satellite Imaging | Planet [Електронний ресурс] // Planet Labs: Satellite Imagery & Earth Data Analytics. – Режим доступу: <https://www.planet.com/>

Використання даних дистанційного зондування Землі та ГІС для оцінки і прогнозування радіоактивного забруднення місцевості

Нагорний Є.І.

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
НАН України, м. Київ, Чоколівський бульвар 13.*

Нікітін А.А.

Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ, Україна

Сучасні умови техногенного навантаження та зростання ризиків аварій на ядерних об'єктах зумовлюють необхідність постійного моніторингу радіаційної обстановки та розробки ефективних інформаційних технологій для виявлення і прогнозування радіоактивного забруднення місцевості (РЗМ). У разі виникнення аварій на атомних електростанціях, руйнування сховищ або терактів на ядерних об'єктах можливе масштабне забруднення значних територій, що вимагає оперативного контролю та оцінки екологічних наслідків.

Виявлення і прогнозування РЗМ здійснюється за двоетапною схемою:

- перший етап — попередній прогноз за даними про джерело викиду та метеорологічні умови;
- другий — уточнення карти забруднення за результатами радіаційної розвідки та дистанційних спостережень.

Дані дистанційного зондування Землі (Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat-8/9, ICEYE) забезпечують оперативне виявлення змін у стані поверхні, вологості ґрунтів та атмосферних характеристиках, що впливають на поширення радіонуклідів. Геоінформаційні системи (ArcGIS, QGIS) використовуються для просторового аналізу, побудови карт ізоліній потужності дози випромінювання, моделювання динаміки хмари забруднення та визначення зон ризику для населення.

Запропоновано використання методу послідовної параметричної адаптації моделі РЗМ із залученням даних радіаційної розвідки та супутникових спостережень. Такий підхід дає змогу в реальному часі коригувати результати прогнозу, зменшуючи похибку визначення меж радіоактивного поля у кілька разів. При низькій щільності точок контролю метод дозволяє отримувати достовірні карти розподілу дози, що особливо важливо на ранніх етапах ліквідації аварій.

Інтеграція супутникових даних і наземних вимірювань у ГІС-середовищі дозволяє створювати динамічні моделі радіаційної обстановки, які враховують швидкість і напрямок вітру, рельєф місцевості, тип рослинності та сезонні фактори. Це відкриває можливість для автоматизованого прогнозування поширення забруднення і підтримки управлінських рішень під час кризових ситуацій.

Запропонована методика може використовуватись у системах цивільного захисту, підрозділах РХБ розвідки та екологічного моніторингу для своєчасного виявлення, оцінки й прогнозування наслідків радіоактивних аварій. Її впровадження сприятиме підвищенню ефективності реагування, зниженню екологічних ризиків та захисту населення на потенційно небезпечних територіях.

Список використаних джерел:

1. Бронштейн И.Н., Семедяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗОВ. – М.: Наука, 1986. – 544с.
2. Кармишин А.М. и др. Радиационная обстановка в ближней зоне Чернобыльской АЭС и динамика ее изменения. – М.: ВАХЗ, 1990. – 86с.

Аналіз методів комплексної оцінки різномірних і різночасових даних дистанційного зондування Землі для виявлення просторових змін у регіонах воєнного конфлікту

Бутенко О.С., Горелик С.І., Саул-Гоце Д.К.,

*Національний аерокосмічний університет ім.М.Є.Жуковського «ХАІ»,
d.k.saulhoze@student.khai.edu*

Зростання масштабів збройних конфліктів і супутніх екологічних наслідків вимагає створення сучасних аналітичних систем моніторингу територій, що зазнають значних просторових змін. У таких умовах особливе значення має застосування технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), здатних забезпечити оперативну оцінку стану природних і техногенних об'єктів.

Методи виявлення змін (Change Detection, CD) дозволяють відстежувати наслідки воєнних дій, оцінювати масштаби руйнувань, деградацію земель або зміну рослинного покриву. Для отримання достовірних результатів необхідна інтеграція різномірних за типом і часом даних, що формує потребу у комплексному підході до їх оцінки.

Актуальність дослідження полягає у підвищенні точності виявлення просторових змін за допомогою методів, що поєднують мультиджерельні (оптичні, радарні, гіперспектральні) та мультитимові супутникові дані. У регіонах воєнного конфлікту така інтеграція дозволяє зменшити вплив атмосферних перешкод, нерегулярності зйомок та відсутності польових даних.

Об'єктом дослідження є процес комплексної оцінки різнорідних і різночасових супутникових даних для виявлення просторових змін.

Предмет дослідження – методи та моделі інтеграції даних ДЗЗ для визначення динаміки змін у просторово-часовому аспекті.

Для досягнення поставленої мети проаналізовано сучасні підходи до обробки даних ДЗЗ. Класичні методи базуються на порівнянні спектральних індексів (NDVI, NBR, NDWI) або статистичній різниці між зображеннями. Алгоритми темпорального аналізу, такі як LandTrendr і BFAST, дозволяють моделювати часові ряди та виявляти коротко- й довготривалі зміни. Об'єктно-орієнтовані методи (OBIA) застосовуються для зменшення впливу шумів і підвищення точності класифікації. Сучасні моделі глибинного навчання – Siamese CNN, U-Net, Siam-Swin-Unet – демонструють високу ефективність при аналізі мультитимових зображень, особливо у поєднанні з ф'южн-методами SAR та оптичних даних. Такі підходи дають можливість отримувати деталізовані карти змін навіть у складних умовах спостереження.

Застосування комплексних методів дозволяє отримувати більш точну оцінку масштабів і характеру просторових змін у зонах бойових дій. Гібридний підхід (темпоральна сегментація + глибинне навчання + ф'южн даних) забезпечує оптимальне співвідношення точності та швидкодії обробки. Це створює наукове підґрунтя для розроблення геоінформаційних систем моніторингу наслідків воєнних конфліктів.

Метод комплексної оцінки різнорідних і різночасових даних ДЗЗ є ефективним інструментом для аналізу динаміки територій у зонах конфлікту. Його впровадження сприяє підвищенню достовірності моніторингу та прийняттю обґрунтованих управлінських рішень у сфері відновлення та планування територій.

Список використаних джерел:

1. Copernicus Open Access Hub (2022) / [електронний ресурс]. URL: <https://www.copernicus.eu/en/access-data/conventional-data-access-hubs>.
2. Hansen, M.C. et al. (2023). Global Forest Change (Version 1.11) / [електронний ресурс]. URL: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/UMD_hansen_global_forest_change_2023_v1_11.

3. Cheng, G., Li, Z., Han, J. et al. (2024). Change Detection Methods for Remote Sensing in the Last Decade. *Remote Sensing*, 16(2). DOI: 10.3390/rs16132355.
4. Cohen, W.B. et al. (2018). LandTrendr: A decade of Landsat-based forest disturbance detection and trends analysis. *Remote Sensing of Environment*, 202, 200–214.
5. Tang, Y., Ma, Y., & Zhang, L. (2024). Siam-Swin-Unet: Transformer-based deep learning framework for image change detection. *Scientific Reports*, 14(5563). DOI 10.1038/s41598-024-54096-8.

Методика створення оптимальних транспортних маршрутів з використанням геоінформаційних технологій в умовах обмеження апіорних даних

Красовська І.Г., Козюбенко А.С.

Національний аерокосмічний університет «ХАІ»

E- mail: ines75ma@ukr.net

Унаслідок широкомасштабних воєнних дій в Україні значна частина дорожньо-транспортної інфраструктури зазнала руйнувань. Виникла нагальна потреба у розробленні цифрових моделей транспортних мереж, які дозволяють оперативно оцінювати стан доріг, визначати оптимальні маршрути руху та планувати пріоритети відновлення пошкоджених ділянок.

З цією метою у середовищі ArcGIS 10.8 розроблена методика побудови та аналізу транспортної мережі на прикладі міста Ізюм Харківської області, що зазнало значних руйнувань у 2022–2023 роках (рисунки 1–3). Запропонована методика універсальна та може бути застосована для аналізу дорожньої інфраструктури будь-яких населених пунктів України, особливо тих, що перебувають на етапі післявоєнного відновлення.



Рис. 1. Фрагмент супутникового знімку Ізюма з оцифрованими ділянками дорожньої мережі

SHAPE*	road_cond	speed_kmph	time_min	quality_mult	quality_cost	impassable	SHAPE_Length
Полилінія	Гарна	50	0,333279	1	0,277732	0	277,732373
Полилінія	Пошкоджена	25	0,386042	2,5	0,402127	0	160,850673
Полилінія	Важкопрохідна	8	0,390897	5	0,260598	0	52,119814
Полилінія	Гарна	50	0,869412	1	0,72451	0	724,510034
Полилінія	Гарна	50	0,432923	1	0,360769	0	360,769129
Полилінія	Пошкоджена	25	0,183234	2,5	0,190869	0	76,347432
Полилінія	Гарна	50	0,097809	1	0,081507	0	81,507263
Полилінія	Гарна	50	0,022909	1	0,019091	0	19,090976
Полилінія	Пошкоджена	25	0,966345	2,5	1,008692	0	403,47696
Полилінія	Гарна	50	0,10092	1	0,150767	0	150,767068
Полилінія	Пошкоджена	25	0,203909	2,5	0,212405	0	84,962036
Полилінія	Гарна	50	0,323883	1	0,269903	0	269,902849
Полилінія	Пошкоджена	25	1,303063	2,5	1,357357	0	542,942975

Рис. 2. Створена атрибутивна таблиця за контактними даними та розрахунками

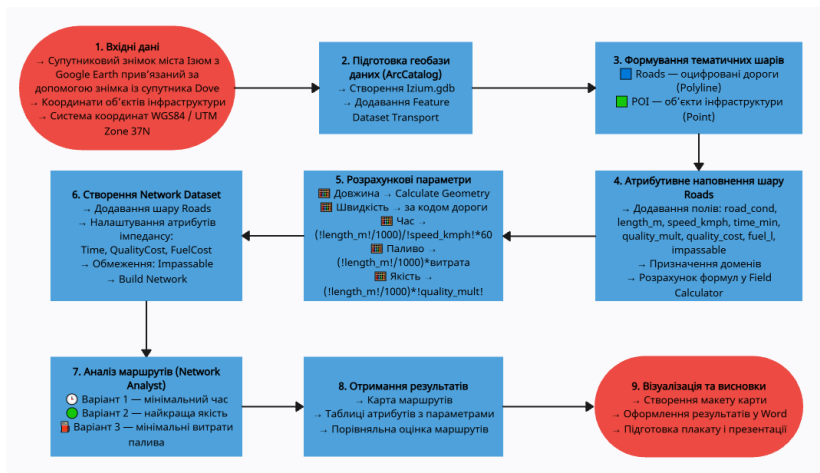


Рис. 3. Методика створення оптимальних маршрутів

Основною задачею дослідження є розроблення цифрової транспортної моделі міста Ізюм у середовищі ArcGIS 10.8, яка забезпечує можливість пошуку оптимальних маршрутів руху залежно від заданих критеріїв — часу подолання відстані, якості дорожнього покриття та витрат палива. Створення такої моделі дозволить оцінити реальний стан дорожньої мережі, визначити найбільш зруйновані ділянки, а також здійснити просторовий аналіз доступності об'єктів соціальної інфраструктури в умовах післявоєнного відновлення. У процесі дослідження здійснено низку розрахунків, що дозволять комплексно охарактеризувати транспортну систему міста Ізюм. Методика дозволяє визначити час пересування між вибраними точками дорожньої мережі у хвилинах, відстані маршрутів у метрах, а також розрахувати орієнтовні витрати пального в літрах для кожного сегмента шляху. Додатково обчислюється інтегральний показник якості дороги — параметр *quality_cost*, який відображає стан дорожнього покриття та рівень проїзності кожної ділянки. Важливим етапом є побудова зон транспортної доступності (Service Area) навколо ключових об'єктів інфраструктури, зокрема лікарень, аптек та автозаправних станцій, що дозволить визначити ступінь забезпеченості транспортною мережею різних районів міста.

У результаті використання методики буде сформовано актуальну геоінформаційну базу даних дорожньої мережі міста Ізюм, у якій усі дороги класифіковано за рівнем пошкодження та проїзності. На основі цієї бази будуть побудовані три типи маршрутів: найшвидший (з мінімаль-

ним часом руху), найякісніший (з найкращим станом покриття) та найекономічніший (з мінімальними витратами пального). Проведений аналіз транспортної доступності об'єктів соціальної інфраструктури дозволить не лише оцінити ефективність існуючої дорожньої системи, але й визначити пріоритетні напрямки для її відновлення. Отримані результати стануть підґрунтям для прийняття управлінських рішень, пов'язаних із реконструкцією вулично-дорожньої мережі та оптимізацією транспортних потоків у місті.

Методика проведення робіт з гуманітарного розмінування на основі різноманітних сенсорів та БПЛА

Горелик С.І., Левченко М.А., Ремезок С.Д.
Національний аерокосмічний університет «ХАІ»

Повномасштабна військова агресія Російської Федерації проти України призвела до масштабного мінування територій, що створює серйозну загрозу життю та безпеці населення, ускладнює відновлення інфраструктури, використання земельних ресурсів та повернення громадян до деокупованих населених пунктів. За оцінками міжнародних організацій, Україна є однією з найбільш замінованих країн світу, тому питання підвищення ефективності гуманітарного розмінування набуло стратегічного значення для національної безпеки [1].

Традиційні методи розмінування, що базуються на ручній роботі саперів, є надзвичайно небезпечними, трудомісткими та потребують значних часових і фінансових витрат. Використання БПЛА із різними типами сенсорів – оптичними, інфрачервоними, магнітометричними та георадарними – відкриває нові можливості для дистанційного обстеження територій, підвищення безпеки персоналу та прискорення процесу виявлення мінно-вибухових предметів [2, 3].

Метою роботи є розроблення методики проведення робіт з гуманітарного розмінування із застосуванням безпілотних літальних апаратів, оснащених різними типами сенсорів, з метою підвищення ефективності, точності та безпеки виявлення мінно-вибухових предметів на територіях, забруднених унаслідок військових дій.

Для досягнення поставленої мети було розроблено методику яка складається з трьох основних етапів (рис.1).

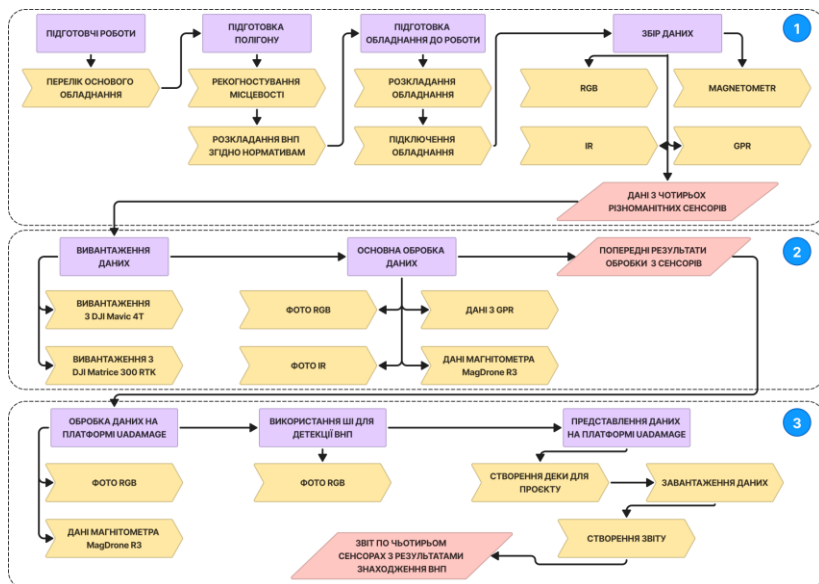


Рисунок 1 – Методика проведення робіт з гуманітарного розмінування на основі різноманітних сенсорів та БПЛА

Перший етап, це проведення польових робіт для збору даних з різноманітних сенсорів за допомогою БПЛА. Для виїзду на місцевість спочатку визначають обладнання, яке буде необхідне для проведення дослідження, далі, по приїзду на полігон, відбувається рекогностування місцевості, тобто його огляд. Наступним кроком відбувається розкладання ВВП згідно нормативної документації саперів, також розкладається все необхідне обладнання, для збору даних, та його підключення. Основою цього етапу є процес збору даних з чотирьох різноманітних сенсорів (рис.2).

Другий етап – камеральна обробка даних зібраних у результаті польових робіт. Цей етап складається з двох блоків, а саме вивантаження і основної обробки даних.

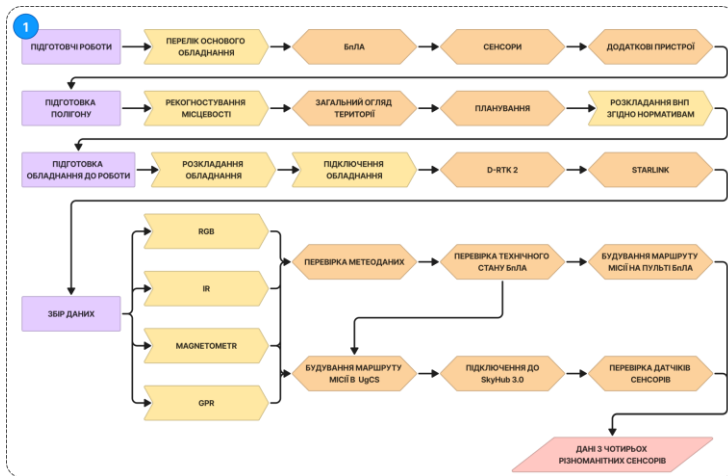


Рисунок 2 – Етап проведення польових робіт для збору даних з різноманітних сенсорів за допомогою БПЛА

Вивантаження відбувається з двох основних БПЛА, якими було проведено польові роботи. З DJI Mavic 4T і його SD-карти необхідно вивантажити RGB та IR аерофотознімки. З DJI Matrice 300 RTK, на якого було одягнуто сенсори георадар та магнітометр, необхідно вивантажити відповідні дані. У другому блоці проходить основна обробка даних, з RGB та IR аерофотознімків будуються ортофотоплани, а з даних магнітометру та георадару визначаються профілі з аномаліями, які і свідчать про наявність ВНП (рис.3).

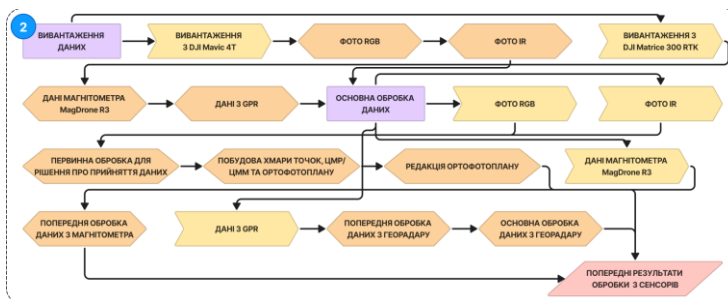


Рисунок 3 – Етап камеральної обробки даних

Третій етап, це підвищення ефективності гуманітарного розмінування на основі даних з БпЛА. Основну роль у цьому етапі відіграє платформа UADamage, на якій за допомогою візуальної інспекції і раніше побудованого ортофотоплану знаходяться ВНП в автоматичному режимі, через використання ШІ [4]. Платформа також дає змогу опрацювати дані з магнітометра та отримати растр з аномаліями, де закладені ВНП. Також даний ресурс дозволяє створити інтерактивний звіт з відображенням всіх результатів дослідження, додати необхідну атрибутивну інформацію до об'єктів та загальну інформацію до проєкту у відповідному вікні (рис.4).

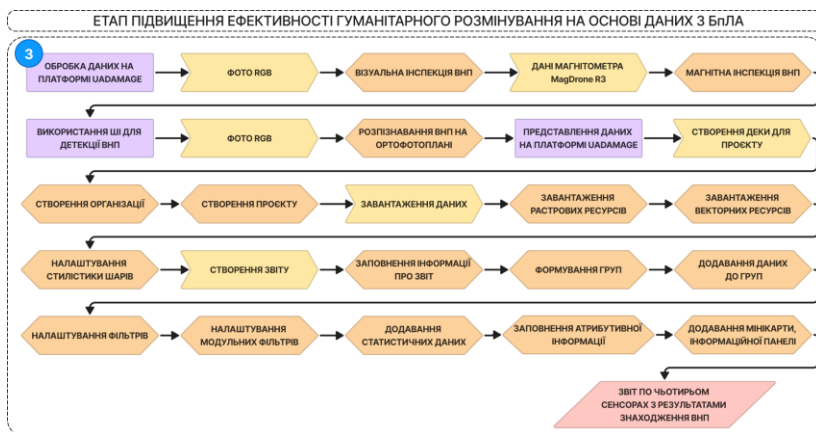


Рисунок 4 – Етап підвищення ефективності гуманітарного розмінування на основі різноманітних сенсорів з БпЛА

Розроблення методики гуманітарного розмінування із використанням безпілотних літальних апаратів, оснащених багатотипними сенсорами, є перспективним напрямом підвищення ефективності та безпеки обстеження територій, забруднених вибухонебезпечними предметами. Комплексне застосування RGB та інфрачервоних камер, магнітометрів і георадарів дозволяє отримувати багатовимірну інформацію про стан поверхні та підповерхневих шарів ґрунту, що забезпечує точніше виявлення потенційно небезпечних об'єктів.

Список використаних джерел:

1. Розмінуємо Україну [Електронний ресурс] // Головна | Розмінуємо Україну. – Режим доступу: <https://demine.gov.ua/>
2. MagDrone R3 - Ultraleichtes UAV-Magnetometer mit 2 Sensoren [Електронний ресурс] // SENSYS DE. – Режим доступу: <https://sensysmagnetometer.com/de/produkte/magdrone-r3/>
3. Ground Penetrating Radar (GPR) | US EPA [Електронний ресурс] // US EPA. – Режим доступу: <https://www.epa.gov/environmental-geophysics/ground-penetrating-radar-gpr/>
4. UADAMAGE MONITORING PLATFORM [Електронний ресурс] // UADAMAGE. – Режим доступу: <https://web.uadamage.com/>

Інтерактивна картографічна модель міжнародних залізничних маршрутів України

Андрєєв С.М., Ремезок С. Д.

Національний аерокосмічний університет

«Харківський авіаційний інститут»,

E-mail: s.d.velycho@student.khai.edu

Сучасні тенденції розвитку транспортної інфраструктури вимагають інтеграції геоінформаційних технологій у процеси просторового аналізу та візуалізації даних. Залізничне сполучення України з країнами Європи є важливим чинником економічного та соціального розвитку, тому створення інтерактивних картографічних моделей міжнародних маршрутів має високу практичну та наукову цінність. Такі моделі дозволяють досліджувати особливості транспортних зв'язків, оптимізувати логістику та формувати аналітичні інструменти для управління транспортною мережею [1].

Основою розробленого картографічного сервісу є інтерактивна карта, на якій відображено мережу залізничних маршрутів, що поєднують українські міста з європейськими столицями та великими транспортними вузлами (рис. 1). Для моделювання використано базу українських міст (Київ, Львів, Харків, Одеса, Дніпро, Мукачеве, Ужгород) [2] та європейських пунктів призначення (Варшава, Перемишль, Будапешт, Відень, Братислава, Бухарест, Кишинів, Кошице тощо) [3, 4]. У системі реалізовано кілька картографічних підложок — OpenStreetMap, CartoDB Positron та Esri WorldGrayCanvas, що дозволяє адаптувати картографічне зображення до аналітичних і візуальних потреб користувача.

Між містами прокладено маршрути, інформацію про які подано у вигляді масиву даних із параметрами: пункт відправлення, пункт призначення, тип вагона, країна та вартість проїзду [2]. Візуалізація маршрутів супроводжується кольоровим кодуванням. Це дозволяє швидко оцінити рівень вартості перевезень. При наведенні курсору на маршрут з'являється інтерактивне вікно (popup) з детальною інформацією про напрямок, відстань, тривалість подорожі та тип вагона.

У картографічному сервісі передбачено панель керування шарами, що дозволяє фільтрувати маршрути за країною призначення. При виборі певного напрямку відповідна лінія підсвічується на карті, а елемент у списку змінює свій стиль.

Реалізовано функцію обчислення відстаней між містами за формулою Гаверсінуса, що забезпечує точність визначення довжин маршрутів [5].



Рис. 1 – Лінійна анаморфозна модель залізничних маршрутів України з класифікацією за вартістю перевезень

Розроблена інтерактивна модель є прикладом успішної інтеграції картографічної візуалізації, програмування та аналітики транспортних даних. Вона дозволяє дослідити просторову структуру міжнародних залізничних маршрутів України, оцінити їх за напрямками та вартістю, а також розглядати Україну як важливий елемент європейської транспортної системи.

Список використаних джерел:

- 1) Геоінформаційні технології для інженерно-геодезичних вишукувань у процесі модернізації залізничної інфраструктури України. Андреев С.М., Горелик С.І., Нечаусов А.С., Даншина С.Ю., Прима А.С. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. №4 (30). 2024.–177с., С.39–58. DOI:<https://doi.org/10.30837/2522-9818.2024.4.015>
- 2) Укрзалізниця [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://uz.gov.ua>.
- 3) Trans-European Transport Network (TEN-T) [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/infrastructure-and-investment/trans-european-transport-network-ten-t_en.
- 4) EuroTrain – International Railway Connections in Europe [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eurotrain.net/en>.
- 5) Застосування технологій геоінформаційних систем для побудови картографічних моделей залізничних сполучень / С. М. Андреев, В. А. Жилін // Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. пр. / Нац. ун-т "Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка". – Полтава: 2021. Вип. 1 (63). – С. 4-16.

APPROACH TO EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF INFORMATION OPERATIONS

Pribyliev Y.¹

Bazarnyi S.²

¹ *National defence university of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

² *National defence university of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

E - mail: pribyliev@meta.ua, serhii.bazarnyi@edu.nuou.org.ua

Currently, there is no unified methodology enshrined in regulatory or guiding documents that would define the algorithm for evaluating the effectiveness of information operations (hereinafter referred to as IO). This leads to the use of different approaches in the departments that conduct IO and complicates the possibility of comparing the results obtained and generalizing practical experience.

One of the most common tools is the expert assessment method, where each expert has a specific coefficient of competence and reliability of conclusions. The survey results are further adjusted to account for differences between experts, which increases the accuracy of determining the effectiveness of IO. Another important source of information is sociological research of the target audience (hereinafter referred to as TA), which provides quantitative indicators of the effectiveness of communication activities. Among them, the key indicator is audience reach, which allows assessing the share of TA representatives who have come into contact with the information product. However, the accuracy of assessing the effectiveness of IO significantly depends on the choice of partial indicators.

In practice, the assessment of IO results is often limited to quantitative parameters (coverage, number of mentions, views), while qualitative changes in the behavior and attitudes of the TA remain unnoticed. In addition, a significant error arises due to the isolated analysis of IO without taking into account their interaction with other components, in particular cyber influence, fire damage, electronic warfare, etc. This significantly reduces the reliability of conclusions about the real effectiveness of information (psychological) influence.

Often, criteria and performance indicators are determined intuitively or situationally, without a system of agreed weighting coefficients, which makes the assessment overly subjective and insufficiently transparent. As a result, the effectiveness of IO is often determined after the fact, when the opportunity for prompt adjustment of information measures has already been lost.

The proposed approach is based on the assumption that the overall effectiveness of an IO can be determined by integrating partial indicators, each of which has its own weight reflecting its significance in achieving the operation's objectives. The following indicators are proposed:

- target audience coverage (number of views);
- target audience engagement (comments, reposts, interactions);
- reliability of the information source;
- degree of change in target audience behavior;
- speed of message dissemination.

Weighting coefficients are determined using expert assessment, taking into account the priority of each indicator. For example, if the goal of the operation is to change the behavior of the target audience, the corresponding indicator that has the greatest impact on the outcome of the operation is given the greatest weight. If the task is primarily to inform the target audience, then reach and repeat exposure to the message become key.

Calculating the integral efficiency indicator allows for comparative analysis between different IOs and also provides the ability to adjust measures in

real time. The advantage of the proposed approach lies in its adaptability, since the set of partial indicators can be changed according to the specific conditions of the IO.

A distinctive feature of this approach is the calculation of the reliability of individual partial indicators using an impact matrix, which allows the process of determining weight coefficients to be formalized. Indicators with low stability are given less weight, which minimizes the risk of obtaining an unreliable overall result. However, not all partial indicators are equally reliable and suitable for integration into a generalized IO performance indicator, as their values can vary significantly under the influence of organizational, methodological, and informational factors.

Although this approach does not yet have official status and is not enshrined in current regulatory documents, it can be applied in scientific and applied research devoted to analyzing the effectiveness of informational (psychological) influence on external and internal target audiences. In addition, this approach creates a promising basis for further improvement of the system for evaluating the effectiveness of information operations, taking into account the latest capabilities of information technologies in the field of monitoring and analytics, especially in the context of large-scale armed aggression by the Russian Federation against Ukraine.

Аналіз змін типів землекористування в Україні на основі супутникових класифікацій LULC

Підсадний С. Г., Охарєв В.О.

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України E-mail: sergiy.pidsadny@gmail.com*

Дослідження землекористування здійснюється у контексті управління земельними ресурсами, оскільки саме підходи до управління визначають просторову структуру та динаміку змін земного покриття. [1] В Україні характер управління зумовлений структурою володіння - від приватних присадибних і фермерських ділянок до великих агрокомпаній, комунальних земель територіальних громад, лісових господарств, природно-заповідних територій та водних об'єктів. [2] Юридичний статус земельних ресурсів цих суб'єктів часто зазнає змін, що супроводжується трансформацією земного покриття (LULC). Фактичний стан територій, відображений у даних LULC-класифікацій, часто не відповідає їхньому юридичному статусу. Аналіз кореляцій між цими змінами дає

змогу визначати сценарії управління, які можуть сприяти виникненню негативних екологічних процесів, зокрема зростанню викидів парникових газів. Збільшення рівня викидів від землекористування та втрата ролі ґрунтів як поглиначів вуглецю [3] свідчать про формування таких негативних сценаріїв. Одним із ключових чинників цього є розширення площ орних земель (клас *crops*) за рахунок територій з природною рослинністю (луки, чагарники, ліси, вологі екосистеми), що призводить до вивільнення запасів вуглецю з ґрунтів. [4] Для підтвердження цієї тенденції проведено оцінку змін площ природної рослинності на користь розораних земель. Подальший аналіз змін LULC на рівні громад дозволяє виявити сценарії управління, пов'язані зі зростанням антропогенного навантаження та збільшенням викидів.

1. Вибір моделі класифікації земного покриття та оцінка її точності.

Класифікації землекористування (LULC) у найбільш повному обсязі представлені продуктами ESRI Land Cover (ELC), Dynamic World (DW) та іншими, що базуються на супутникових даних Sentinel-2 з просторовою роздільною здатністю 10 метрів та повним покриттям за тривалий часовий період. Середня заявлена точність таких класифікацій становить близько 70%, хоча вона може відрізнятись залежно від регіону. Продукт Dynamic World який має найбільшу заявлену точність (73%), а також повне покриття за 2017-2024 рр., [5] було обрано як базовий для аналізу змін площ класів.

2. Оцінка приросту площі сільськогосподарських угідь за рахунок територій з природною рослинністю.

На основі стратифікованої вибірки (2168 точок) проведено верифікацію 8 класів за 2024 рік та додатково класу *crops* за 2017 рік для території України. Додаткова оцінка з використанням бібліотеки *scikit-learn* показала нижчий рівень точності порівняно із заявленою - 51,15% та (коефіцієнт Каппа = 0,44), що свідчить про помірну узгодженість верифікованих даних із класифікацією. Для підвищення надійності результатів було застосовано пост-класифікаційну статистичну корекцію площ (довірчий інтервал та бутстреп-метод) [6,7]. Приріст площі *crops* становив 6357-11792 км² (середнє - 9074 км²) та 6481-11882 км² (середнє - 9181 км²) відповідно. Враховуючи отриману точність, на цьому етапі локальний аналіз змін землекористування на рівні громад є передчасним, але результати вказують на тенденцію до збільшення таких класів на загальнонаціональному рівні та дають змогу визначити потенційно пріоритетні громади для подальших досліджень.

3. Значення показника частки розораних земель для формування оптимізаційних моделей землекористування.

Частка розораних земель є індикатором рівня екологічної стабільності території. Зростання цього показника прямо пропорційне зниженню коефіцієнта екологічної стійкості. При значеннях коефіцієнта нижче 0,33 більшість регіонів України вважаються екологічно незбалансованими. Це вимагає, зокрема, посилення контролю за незаконним розорюванням пасовищ і водоохоронних зон [8]. Водночас наявність регіонів з коефіцієнтом стійкості 0,38–0,69 [9] вказує не лише на особливості земельного потенціалу, а й на специфіку управлінських рішень на місцевому рівні.

Більшість оптимізаційних моделей землекористування передбачає скорочення площ орних земель і визначення для них допустимого відсоткового навантаження [9]. Показники ерозії ґрунтів у рівнинних районах України наближені до значень у гірських регіонах і суттєво перевищують природні темпи ґрунтоутворення [10], що додатково підкреслює важливість обмеження надмірного розорювання.

Список використаних джерел:

1. Martin, A. K., & Root, K. V. (2020). Examining land use changes to evaluate the effects of land management in a complex, dynamic landscape. *Environmental Management*, 66(2), 333-347. <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01316-2>
2. Третяк, А. М., Третяк, В. М., Курильців, Р. М., Прядка, Т. М., & Третяк, Н. А. (2021). Управління земельними ресурсами та землекористуванням: базові засади теорії, інституціалізації, практики [Монографія] / за заг. ред. А. М. Третяка. Біла Церква: ТОВ «Білоцерківдрук».
3. Spawn, S. A., Gibbs, H. K., & Lark, T. J. (2019). Carbon emissions from cropland expansion in the United States. *Environmental Research Letters*, 14(4), 045009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab0399>
4. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2024). *Ukraine: National inventory report 2024*. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Ukraine_NIR_2024.pdf
5. Çelik, D., & Altunel, A. (2025). Is Dynamic World a contender in global land-cover making race? A swift field assessment from Kastamonu, Türkiye. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 28, 205–213. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2025.04.002>
6. Pek, J., Wong, A., & Wong, O. (2017). Confidence intervals for the mean of non-normal distribution: Transform or not to transform. *Open Journal of Statistics*, 7, 405–421. <https://doi.org/10.4236/ojs.2017.73029>

7. Efron, B. (1979). Bootstrap methods: Another look at the jackknife. The Annals of Statistics, 7(1), 1–26. <https://doi.org/10.1214/aos/1176344552>
8. Koshkalda, I., Dombrovska, O., Stoiko, N., & Riasnianska, A. (2023). Land resource management system in the sustainable development context: Scientific and practical approaches. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1254(1), 012129. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012129>
9. Чеболда, І., Кузик, І., & Гавришок, Б. (2024). Геоекологічна оцінка та напрямки оптимізації землекористування територіальних громад (на прикладі Кременецького району Тернопільської області). Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Географія, 57(2), 174–184. <https://doi.org/10.25128/2519-4577.23.2.19>
10. Quinton, J. N., & Fiener, P. (2023). Soil erosion on arable land: An unresolved global environmental threat. Progress in Physical Geography: Earth and Environment, 48(1), 136–161. <https://doi.org/10.1177/03091333231216595>

Технологія оцінювання екологічної безпеки демілітаризованих територій із застосуванням БПЛА та ГІС

Шумейко В.О. Мосійчук Д.І.

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору

НАН України, м. Київ,

E - mail: taras24t@gmail.com

Запропоновано компактну технологію оцінювання стану демілітаризованих територій колишніх військових об'єктів на основі безпілотної аерозйомки, геоінформаційних систем і інтегральних індикаторів екологічного ризику. Описано послідовність робіт від планування польотів і мультиспектрального знімання до лабораторного аналізу проб, геостатистичного моделювання та картографування зон забруднення важкими металами і нітратами.

Сучасні процедури ОВНС недостатньо враховують специфіку колишніх військових об'єктів із тривалим накопиченням паливно-мастильних матеріалів і продуктів їх трансформації. Поєднання БПЛА, наземних вимірювань і ГІС забезпечує швидке та детальне виявлення осередків забруднення, шляхів їх міграції та оцінювання ризиків для населення і довкілля.

Польотні роботи виконують серіями місій над зонами впливу та контрольними ділянками. Планування забезпечує належне покриття для фотограмметрії; висота 50–120 м дає GSD 2–5 см/пікс. Використовують RGB-камери для ортофотопланів і ЦМП/ЦМР, мультиспектральні сенсори (red, green, red-edge, NIR) для вегетаційних і водних індексів, за потреби — тепловізори та LIDAR. Геодезична точність підвищується GCP і RTK/PPK. Обробка знімків формує ортофото, цифрові моделі та радіометрично нормалізовані мультиспектральні куби.

Індексний аналіз охоплює NDVI/SAVI/RECI (біофізичний стан рослин), NDWI/MNDWI (перезволоження і потенційні шляхи міграції), а також індикатори оголень ґрунтів. Із ЦМР розраховують ухили, кривину, індекс вологозатримання та дренажну мережу для оцінки ролі рельєфу й гідромережі в перенесенні поллютантів.

Польові відбори ґрунтів (за горизонтами 0–10, 10–30, 30–50 см) і рослинної фітомаси забезпечують лабораторне підтвердження спектральних ознак. Бази даних містять координати, умови відбору, результати аналізів та метадані. Статистична обробка включає описові показники, перевірку нормальності, кореляції «ґрунт—рослинність» і зв'язки із морфометрією та індексами. Для інтегральної оцінки стану ґрунтів розраховують приведений сумарний коефіцієнт концентрації, для рослин — комплексний індекс забруднення та коефіцієнти накопичення; це уможливорює зіставлення ділянок і відстеження вертикальної/горизонтальної міграції.

Просторове моделювання у ГІС (ArcGIS/QGIS) та геостатистичних пакетах (IDW/кригінг) дає карти ізоліній концентрацій за глибинами, зони ймовірних перевищень та сценарні карти ризику. До ГІС інтегрують шари геологічної будови (транзитний потенціал порід), густоти гідромережі, залісненості й вертикальної розчленованості — для переходу від компонентного опису до аналізу зв'язок «джерело—шлях—приймач».

Підсумкова категоризація рівня екологічної безпеки формуються в уніфікованій бальній шкалі. Інтегральний показник (умовно — Іреб) обчислюють як суму вагових балів за стан ґрунтів (приведений сумарний коефіцієнт концентрації), рослин (комплексний індекс забруднення), транзитний потенціал підстилаючих порід, площу «дзеркала» забруднення і густоту гідромережі; факультативно враховують залісненість і вертикальну розчленованість як чинники стійкості. Нижчі бали відповідають «задовільній/достатній» категорії (низькі концентрації, водотривкі або напівпроникні породи, розріджена гідромережа), вищі — «понижений/низький/дуже низький» (підвищені концентрації, водопроникна

основа, компактні «гарячі точки» або великі площі ураження і густа дренажна мережа).

Практичні рішення залежать від категорії. За «задовільної/достатньої» — регламентоване повторне використання з моніторингом та локальною біоре mediaцією. За «пониженої» — створення бар'єрів міграції, фітомеліорація, локальна санація й обмеження доступу. За «низької/дуже низької» — комплексні програми санації (видалення або стабілізація ґрунтів), інженерні протифільтраційні заходи, довготривалий моніторинг підземних вод і тимчасова консервація ділянок. Веб-ГІС із дашбордами ключових індикаторів підвищує прозорість, спрощує аудит і планування бюджетів на відновлення, а паспорти ділянок фіксують рівень безпеки, спектр поллютантів і допустимі види діяльності.

Переваги підходу — оперативність, сантиметрова деталізація, повторюваність і безпечність робіт у потенційно небезпечних зонах; обмеження — залежність від погоди, потреба у геодезичній та радіометричній калібровці, ризик хибних висновків без лабораторної верифікації. Тому рекомендовано гібридний дизайн моніторингу (БПЛА + пробі + геостатистика + ГІС), стандартизовані протоколи відбору, перехресну валідацію інтерполяцій та реперні ділянки для контролю трендів.

Висновки. Інтеграція БПЛА, ГІС і лабораторної аналітики забезпечує доказову, відтворювану та масштабовану оцінку стану демілітаризованих територій. Індексна категоризація спрощує комунікацію між експертами, органами влади і громадами, а сценарні карти ризику служать підґрунтям для своєчасних, пропорційних ризикам рішень щодо реабілітації та безпечного повторного використання таких територій.

Особливості моніторингу масивів підземних вод у суббасейні Ниžнього Дніпра

Саніна І.В., ekogeol@ukr.net,

Люта Н.Г., nlyuta@ukr.net,

Державна установа “Науково-інженерний центр радіогідроекологічних полігонних досліджень НАН України”,

Приходько С.М., Древіна Т.А.,

Інститут геологічних наук НАН України

Україна впроваджує принципи інтегрованого управління водними ресурсами за басейновим принципом, передбаченим Водною Рамковою

Директивою ЄС. Річкові басейни розглядаються як цілісні багатокомпонентні системи, для яких відповідно до ст. 13 Водного Кодексу України та Угоди про асоціацію Україна-ЄС розроблені плани управління річковими басейнами, що містять аналіз існуючого стану і заходи щодо досягнення доброго стану масивів поверхневих і підземних вод [1]. У рамках водної ініціативи Європейського Союзу для країн Східного партнерства автори брали участь у визначенні масивів підземних вод (МПЗВ) у басейні Дніпра [2].

Враховуючи значні розміри, управління басейном Дніпра здійснюється за суббасейнами (Прип'яті, Верхнього Дніпра і Десни, Середнього і Нижнього Дніпра), кожен з яких відрізняється певними особливостями формування підземних вод. Після підриву Каховської ГЕС 6 червня 2023 р. суббасейн Нижнього Дніпра привертає до себе особливу увагу через необхідність вивчення змін стану водних ресурсів, передовсім з огляду на той факт, що з середини минулого століття ліквідоване Каховське водосховище було активним чинником умов формування як ґрунтових, так і напірних МПЗВ. Руйнування греблі Каховської ГЕС призвело до перебудови гідродинамічної структури водоносної системи та обумовило зміни якості води.

У суббасейні Нижнього Дніпра автори визначили 3 групи безнапірних МПЗВ у четвертинних відкладах та 14 на яких ґрунтується централізоване водопостачання (у четвертинних, пліоценових, міоценових, палеогенових, верхньо-крейдових, альб-сеноманських, середньо-верхньоюрських, верхньотріасових, кам'яновугільних відкладах та архей-протерозойських породах). Хімічний склад вод МПЗВ у межах суббасейну Нижнього Дніпра є строкатим, а мінералізація часто перевищує нормовані показники, що потребує проведення водопідготовки. Проте порівняно з поверхневими підземні води мають низку переваг: вони переважно захищені від забруднення водотривкими верствами і до того ж є напірними, що робить їх надійним екологічно безпечного питного водопостачання.

Загалом у суббасейні Нижнього Дніпра в межах 31 територіальної громади семи адміністративних областей розвідано 1 213,101 тис. м³/добу питних підземних вод, з яких використовується 108,231 тис. м³/добу (8,92 %), тобто, існує значний резерв, який можна задіяти для водопостачання населення. В межах трьох водогосподарських ділянок, що знаходяться безпосередньо у зоні впливу Каховського водосховища, розвідано 696,510 тис. м³/добу підземних вод, з яких використовується 96,950 тис. м³/добу (13,92 %), що також свідчить про існуючі перспективи забезпечення населення питною водою за рахунок існуючих родовищ підземних вод.

Спостережна мережа державного моніторингу підземних вод на території суббасейну Нижнього Дніпра, за даними інвентаризації 2018 р., включала 19 спостережних пунктів (9 на безнапірні і 10 на напірні МПЗВ). Нині стан цих свердловин невідомий, вони потребують обстеження і за можливості - відновлення після припинення війни і звільнення окупованої території. У ПУРБ передбачено також організацію спостережень додатково в 45 спостережних пунктах, з них 18 на безнапірні і 27 – на напірні МПЗВ.

Спостережні свердловини слід облаштовувати за профілями для з'ясування впливу осушення водосховища на гідродинамічні і гідрохімічні показники ґрунтових і субґрунтових МПЗВ. Для характеристики напірних МПЗВ у порушеному режимі заплановано задіяти свердловини на експлуатаційних водозаборах з видобутком понад 100 м³/добу, де обов'язково повинен бути організований операційний моніторинг МПЗВ. Перелік контрольованих показників, крім 15 обов'язкових компонентів, визначених для підземних вод наказом Мінприроди від 06.02.2017 № 45, повинен бути доповнений з урахуванням специфіки річкового басейну, який для уразливих МПЗВ повинен включати ті сполуки, що потрапити в довкілля внаслідок воєнних дій (нафтопродукти, метали, органіка; характерні забрудники із зруйнованих промислових підприємств) [3]. Порогові значення хімічних елементів і сполук природного і переважно природного походження слід визначати на основі використання природних геохімічних фонів.

Висновки. Руйнування греблі Каховської ГЕС призвело до перебудови гідродинамічної структури водоносної системи регіону та обумовило зміни якості води. Відновлювати спостережну мережу моніторингу МПЗВ слід з урахуванням необхідності висвітлення змін їх кількісного і хімічного стану. На родовищах в зоні впливу Каховської ГЕС обов'язково слід забезпечити проведення операційного моніторингу підземних вод.

Підземні води напірних водоносних горизонтів є єдиним надійним захищеним джерелом господарсько-питного водопостачання. Використання води розвіданих родовищ для господарсько-питних потреб переважно є незначним, існує достатній резерв питних підземних вод і перспективи щодо забезпечення населення питною водою за рахунок розвіданих родовищ.

Список використаних джерел:

1. Порядок здійснення державного моніторингу вод, затверджений Постановою Кабінету Міністрів України від 19.09.18 р. № 758.
2. План управління річковим басейном Дніпра на 2025-2030 роки

https://davr.gov.ua/fls18/PURBDnipro7_ukr.pdf

3. Люта Н.Г., Саніна І.В., Приходько С.М., Древіна Т.А. Критерії оцінки хімічного стану масивів підземних вод.//Геологічна будова та корисні копалини України: Збірник тез всеукраїнської наукової конференції (Київ, 16-17 вересня 2025 р.). / НАН України, Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка. – Київ, 2025. – С.315-318.

Методи моніторингу поточного стану лісових екосистем та визначення тенденцій подальших змін з використанням даних ДЗЗ

Бутенко О.С., Горелик С.І., Сич Р.С.

*Національний аерокосмічний університет ім.М.Є.Жуковського «ХАІ»
r.s.sych@student.khai.edu*

Лісові екосистеми мають ключову роль у багатьох процесах, а саме: у регулюванні клімату, підтриманні біорізноманіття та забезпеченні сталого розвитку територій. Традиційні наземні спостереження є трудомісткими і географічно обмеженими, тому використання даних дистанційного зондування дозволяє швидко, об'єктивно і просторово узгоджено аналізувати динаміку лісових екосистем.

Актуальність визначається необхідністю розробки методів моніторингу, що поєднують оптичні, радіолокаційні (SAR) та лідарні дані для комплексного оцінювання стану та тенденцій змін лісового покриву, особливо в контексті природного відновлення, деградації або рекультивції територій.

Метою роботи є розробка та апробація методу моніторингу сучасного стану лісових екосистем та визначення тенденцій їх майбутніх змін на основі аналізу багатоджерельних даних дистанційного зондування Землі з використанням геоінформаційних технологій.

Об'єктом дослідження є лісові екосистеми, їх просторовий розподіл, структура та стан у межах визначеної території спостереження.

Предметом дослідження є методи, моделі та алгоритми моніторингу стану лісових екосистем та виявлення тенденцій їх змін на основі аналізу мультиспектральних, радіолокаційних та лідарних супутникових даних у геоінформаційному середовищі.

Найпоширенішим методом дослідження поточного стану лісових екосистем є аналіз оптичних супутникових даних (Sentinel-2, Landsat, PlanetScope) на основі розрахунку індексів рослинності, таких як NDVI,

EVI, MSAVI, NDWI та NBR. Ці індекси дозволяють оцінити фотосинтетичну активність, щільність рослинного покриву та вплив природних або антропогенних факторів.

Другий напрямок пов'язаний з використанням даних радіолокаційних (SAR) супутників, наприклад, Sentinel-1, завдяки активному випромінюванню не залежать від освітлення та хмарності. Радіолокаційні дані ефективні для аналізу структури лісового покриву, вологості та змін біомаси.

Технології LiDAR (LiDAR, GEDI) забезпечують тривимірну реконструкцію структури лісового покриву та точне визначення висоти, щільності крони та біомаси.

Також, варто зазначити, що в останні роки активно розвиваються методи машинного навчання та глибоких нейронних мереж (Random Forest, XGBoost), які використовуються для класифікації типів лісів, оцінки їх стану та прогнозування динаміки. Їх сила полягає в можливості поєднувати різні типи даних (оптичні, SAR, LiDAR), але такі підходи вимагають великих навчальних зразків та складної валідації результатів.

Для вирішення завдань моніторингу доцільно використовувати комбіновані схеми, що інтегрують оптичні (Sentinel-2), радіолокаційні (Sentinel-1) та лідарні (GEDI) дані в хмарних платформах, таких як Google Earth Engine. Такий підхід забезпечує комплексну оцінку поточного стану лісових екосистем та визначає тенденції їхніх майбутніх змін з високою просторовою та часовою точністю.

Список використаних джерел:

1. Yizhe Li, Xinqing Xiao (2025). Deep Learning-Based Fusion of Optical, Radar, and LiDAR Data for Advancing Land Monitoring. DOI: 10.3390/s25164991
2. Feng, X.; Fu, B.; Yang, X.; Lü, Y. Remote Sensing of Ecosystem Services: An Opportunity for Spatially Explicit Assessment. *Chin. Geogr. Sci.* 2010, 20, 522–535
3. Vyvlečka, P.; Pechanec, V. Optical Remote Sensing in Provisioning of Ecosystem-Functions Analysis—Review. *Sensors* 2023, 23, 4937.
4. European Union. Copernicus Land Monitoring Service 2022; European Environment Agency (EEA): Copenhagen, Denmark, 2022.
5. Karra, K.; Kontgis, C.; Statman-Weil, Z.; Mazzariello, J.C.; Mathis, M.; Brumby, S.P. Global land use/land cover with Sentinel-2 and deep learning. In *Proceedings of the 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS*, Brussels, Belgium, 11–16 July 2021.

Інтелектуальна пасивна локація прикордонних загроз: інтеграція сенсорних мереж, ДЗЗ та прогнозової аналітики для Чернігівщини

Триснюк Т., Берчун Я., Василенко В.

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору

Національної академії наук України,

E - mail: taras24t@gmail.com

Робота присвячена розробці та впровадженню інформаційної технології пасивної локації динамічних подій у прикордонній смузі Чернігівської області — регіоні, який із початку повномасштабної агресії російської федерації перебуває під постійним вогневим впливом. Метою дослідження є створення комплексної інтегрованої системи, яка дозволяє виявляти, класифікувати та прогнозувати динамічні події (обстріли, вибухи, переміщення техніки, пожежі) без використання активного випромінювання, що гарантує безпечність і прихованість функціонування у бойових умовах.

Система базується на поєднанні пасивних сенсорних технологій, супутникових даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), геоінформаційних систем (ГІС), алгоритмів аналізу часових рядів і штучного інтелекту. Архітектура рішення включає багаторівневу мережу сейсмічних, акустичних та електромагнітних сенсорів, модулі попередньої обробки сигналів, хмарні сервіси зберігання та аналітики, а також ГІС-інтерфейси для просторово-часової візуалізації даних.

Проблема контролю прикордонних територій Чернігівщини набула особливого значення після 2022 року, коли регіон зазнав масштабних руйнувань і систематичних артилерійських атак. Протягом 2023–2025 рр. фіксується зростання кількості обстрілів, у тому числі із застосуванням безпілотних літальних апаратів (БпЛА), касетних боєприпасів і запальних снарядів. Наслідками стали масштабні лісові пожежі, деградація ґрунтів, знищення транспортної інфраструктури, житлового фонду та об'єктів соціального призначення.

Традиційні методи активного спостереження (радіолокаційні чи оптико-електронні системи) мають обмеження — вони демаскують позиції операторів, потребують стабільного енергозабезпечення і часто стають об'єктом вогневого ураження. Пасивна локація натомість базується на реєстрації природних сигналів середовища — сейсмічних, акустичних, інфразвукових або електромагнітних — що виникають унаслідок діяльності противника. Це робить систему невразливою до контррозвідки, знижує ризик викриття та дозволяє вести моніторинг у режимі

цілодобового спостереження навіть в умовах радіоелектронної боротьби.

Науковим фундаментом роботи є синергетичне об'єднання чотирьох напрямів:

- сенсорні системи – для збору сейсмоакустичних сигналів;
- дистанційне зондування Землі – для підтвердження результатів і картографування пошкоджень;
- геоінформаційне моделювання – для просторового аналізу й візуалізації даних;
- прогнозна аналітика – для оцінки динаміки обстрілів і короткострокових прогнозів.

Розроблена система пасивної локації включає комплекс стаціонарних і мобільних сенсорних вузлів, які фіксують акустичні та сейсмічні коливання. Кожен вибух, постріл чи переміщення важкої техніки створює унікальний амплітудно-частотний відбиток, що реєструється і передається в базу даних. У результаті формується цифровий каталог сигналів, який містить спектри шумів різних типів об'єктів — від тракторів і цивільного транспорту до танків, мінометів і реактивних систем залпового вогню.

Дані проходять автоматичну попередню обробку — фільтрацію, нормалізацію, виділення ознак та їх класифікацію за допомогою алгоритмів машинного навчання. Для аналізу часових рядів застосовуються моделі ARIMA, Prophet та рекурентні нейронні мережі LSTM, які дозволяють прогнозувати частоту та інтенсивність атак із горизонтом від 7 до 14 днів. Середня похибка прогнозу не перевищує 10%, що підтверджує високу надійність моделі.

Система інтегрована з геоінформаційною платформою, де відображаються результати у вигляді теплових карт, полігональних моделей руйнувань і карт ризику. Використано мультиспектральні супутникові знімки Sentinel-2, Landsat-9 і комерційні дані високої роздільності Махаг, що дають змогу виявляти згорілі лісові масиви, руйнування будівель, вирви від снарядів і зміни рельєфу. Обробка супутникових даних здійснюється в середовищі ArcGIS Pro та Google Earth Engine із розрахунком індексів NDVI (вегетація) та NBR (вигорання). Це дозволяє створювати карти екологічних наслідків воєнних дій і планувати відновлювальні роботи.

У результаті аналізу часових рядів артилерійських атак у громадах Семенівській, Городнянській, Новгород-Сіверській та Сновській виявлено закономірності, що дозволяють класифікувати загрози за рівнем інтенсивності. Дані підтвердили хвильову структуру атак, де періоди

посилення активності змінюються відносним затишшям, а також сезонну залежність: взимку переважають артилерійські обстріли, влітку — підпали лісів і застосування БПЛА.

На основі ГІС-моделювання створено теплові карти вогневого впливу Чернігівської області, які чітко демонструють концентрацію атак у прикордонних районах. У Семенівській громаді визначено смугу підвищеної активності вздовж державного кордону, у Сновській — осередки поблизу транспортних вузлів і мостів. Полігональні моделі уражених територій дозволили визначити площі вигорання лісів і сільськогосподарських угідь — понад 12 тис. га лише у 2023–2024 рр.

В аналітичному ядрі системи реалізовано модуль підтримки прийняття рішень (DSS), який формує сценарні матриці для органів місцевого самоврядування, ДСНС і військових частин. Модуль використовує порогові значення ризику, автоматичне формування звітів і тригерні сповіщення для інтеграції в національну систему раннього оповіщення.

Технологія може бути інтегрована в державні системи моніторингу — зокрема в «Єдину державну систему цивільного захисту» та проект «ЕкоЗахист», який координує НАН України й Міндовкілля. Завдяки відкритій архітектурі система сумісна з іншими джерелами даних — Copernicus EMS, Sentinel Hub, NASA FIRMS, UN-SPIDER тощо.

Розробка має важливий гуманітарний вимір — вона сприяє підвищенню ситуаційної обізнаності громад, оптимізації евакуаційних маршрутів, розміщенню укриттів та оцінці рівня загрози для цивільного населення.

Висновки. Розроблена інформаційна технологія пасивної локації динамічних подій у прикордонних районах Чернігівської області є ефективним інструментом кризового моніторингу, що поєднує точність сенсорних вимірювань із потужністю ГІС-аналітики та прогнозних моделей.

Дистанційні методи дослідження оцінки впливу збройної агресії росії на екологічну безпеку природо-заповідних територій

Триснюк Т.В., Василенко В.М.

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору

Національної академії наук України,

E - mail: taras24@gmail.com

Подано інтегрований підхід до оцінювання екологічних наслідків збройної агресії російської федерації для природо-заповідних територій України на основі дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем. Використано мультиспектральні й радарні дані Sentinel, Landsat, PlanetScope та ICEYE у хмарному середовищі Google Earth Engine для побудови просторово-часових рядів, автоматизованої класифікації покриття й виявлення аномалій.

Збройна агресія росії спричинила багатовимірні порушення природних екосистем України, зокрема в межах заповідників, національних природних парків, біосферних та регіональних ландшафтних парків. Йдеться про знищення рослинного покриву під час пожеж і вибухів, вторинне забруднення ґрунтів та вод, фрагментацію середовищ існування, руйнування гідроспруд і деградацію прибережних зон. У зонах активних бойових дій польові обстеження обмежені або небезпечні, тому саме дистанційні технології відкривають можливість отримання репрезентативних, порівнянних у часі та просторі спостережень для доказового аналізу впливів і планування відновлювальних заходів. Центральним елементом запропонованої системи є побудова інтегрованого конвеєра обробки даних у хмарній платформі Google Earth Engine із застосуванням JavaScript та Python. На вході — добір архівних і оперативних супутникових знімків Sentinel-2 (MSI, 10–20 м), Landsat-8/9 (OLI/TIRS, 30 м), PlanetScope (3 м) і радарних продуктів ICEYE/Sentinel-1, прив'язаних до адміністративних меж і контурів природо-заповідних об'єктів. Первинний етап включає геометричну й радіометричну корекцію, маскування хмар і серпанку, сезонну нормалізацію й формування багаторічних мультичасових стеків за період 2021–2026 років, що дозволяє коректно зіставляти стан до та після воєнних впливів з урахуванням фенології.

Автоматизована обробка здійснюється шляхом поєднання некерованих і керованих методів класифікації. Алгоритм ISODATA використовується для первинної сегментації спектрально однорідних ділянок і виявлення грубих аномалій у часових рядах. Для підвищення точності тематичного дешифрування застосовуються Random Forest і Support

Vector Machines на навчальних вибірках, які формуються за результатами візуальної інтерпретації, відкритих OSINT-джерел, репортів екоорганізацій і, за можливості, польових верифікацій. Особливу цінність для природоохоронних акваторій і заболочених територій мають поєднання оптичних і радарних даних. SAR-знімки нечутливі до хмарності та дозволяють відслідковувати підтоплення, зміни шорсткості поверхні, коливання важкою технікою, формування траншей і фортифікацій навіть за несприятливих атмосферних умов. Інтеграція каналів VV/VH із оптичними індексами підвищує достовірність картографування класів «пошкоджені лісові масиви», «випалені ділянки», «деформований ґрунтовий покрив», «порушені водно-болотні угіддя», «техногенні плями». Для зменшення похибок, пов'язаних із різною геометрією зйомки, застосовуються методи крос-нормалізації та топокорекції, а на складних мозаїчних ландшафтах — морфологічні постпроцедури, що пригладжують «шум класифікації» без втрати дрібномасштабних деталей.

Сформована інформаційно-вимірювальна система включає модулі автоматизованого завантаження даних, оновлення часових стеків, перерахунку індексів, класифікації й генерації картографічних сервісів. У середовищах QGIS/ArcGIS створюються тематичні шари, які відображають просторову структуру порушень: осередки деградації рослинності, контури випалених територій, порушення ґрунтового покриву, трансформації гідромережі, потенційні зони замінування за непрямыми ознаками. На додачу формується інтерактивний веб-інтерфейс (Leaflet/Mapbox) для візуалізації динаміки індексів, завантаження статистичних зведень і порівняння стану довкілля за роками. Це дозволяє відповідним органам оперативно оцінювати екологічні ризики, планувати природоохоронні заходи й контролювати ефективність відновлення.

З методологічного погляду важливою є побудова просторово-часових моделей, що поєднують природні та антропогенні драйвери змін. Для цього застосовуються регресійні та машинно-навчальні підходи, які пояснюють варіації індексів інтенсивністю військової активності, типами ландшафтів, ґрунтовими умовами, близькістю до транспортної інфраструктури. Моделі дозволяють оцінювати ймовірність додаткових екологічних втрат у разі продовження антропогенного впливу, а також пріоритизувати ділянки для рекультивзації. Усі розрахунки супроводжуються валідацією: точність класифікації контролюється матрицями невідповідностей, коефіцієнтами Каппа, перехресною перевіркою на незалежних підмножинах; розраховуються довірчі інтервали для середніх змін індексів, оцінюються чутливість і специфічність щодо виявлення осередків пожеж і вирубок.

Практичний вихід дослідження — формування еколого-геоінформаційної моделі уражень природно-заповідного фонду з інтеграцією у національні реєстри пошкоджених територій і системи підтримки управлінських рішень. Модель забезпечує прозоре картографічне відображення структури та динаміки порушень, підтримує оцінювання екологічних ризиків і дозволяє формувати науково обґрунтовані рекомендації з пріоритизації відновлювальних заходів.

Технологічно система орієнтована на відкриті дані та масштабування: обчислювальні процедури в GEE дають змогу оперативно поширювати рішення на нові території, підключати додаткові датчики, зокрема гіперспектральні та термічні, а також інтегрувати дані безпілотних платформ і наземних сенсорів для підвищення просторової деталізації.

Висновки. Запропонована методологія дистанційного моніторингу демонструє технологічну готовність до застосування в умовах війни й поствоєнного відновлення. Вона забезпечує поєднання швидкодії, об'єктивності й відтворюваності оцінок, дозволяє кількісно описувати масштаби та характер екологічних порушень, формувати пріоритети реабілітації та контролювати ефективність природоохоронних втручань. Інтеграція результатів у національні інформаційні системи екологічної безпеки сприятиме підвищенню стійкості природно-заповідного фонду України.

Методика просторового моделювання покриття радіосигналу з використанням ГІС-технологій для геофізичних досліджень у задачах геологорозвідки

Шокот В.О., Гребень О.С.

Національний аерокосмічний університет «ХАІ»,

E - mail: 12vladshok@gmail.com

У сучасних геофізичних дослідженнях швидкість встановлення сейсмічних датчиків має вирішальне значення та впливає на темп геологорозвідки. Для їх монтажу необхідне винесення планових точок у натуру, що залежить від роботи геодезистів і якості зв'язку.

Сучасні GNSS-приймачі підтримують мережевий RTK, однак стабільне інтернет покриття є не всюди. Класичний RTK більш гнучкий щодо покриття радіосигналом, забезпечує вищу точність позиціону-

вання, а використання ретранслятора розширює зону дії сигналу. Основною проблемою залишається вибір місця для встановлення базової станції.

Таким чином, метою даного дослідження є аналіз можливостей розробки додатку з моделювання покриття радіосигналу на основі середовища розробки Google Earth Engine та мови програмування JavaScript.

У ході дослідження було реалізовано автоматизовану обробку SRTM даних та створення цифрової моделі місцевості в межах робочої площі. Зокрема, було додано шар доріг завдяки якому можна орієнтуватись на доступність до обраного місця встановлення базової станції. Головним чинником впливу на сигнал після рельєфу є ліси, тож було реалізовано автоматизоване завантаження шару лісів.

Вхідні данні для користувача перед вибором місця для встановлення базової станції представлені на рисунку 1.

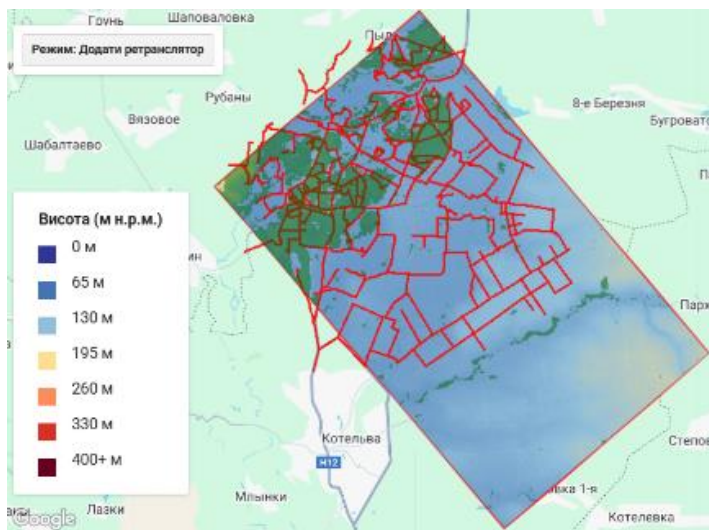


Рисунок 1 – Візуалізація вхідних даних роботи додатку

Моделювання сигналу відносно різниці у висотах базової станції та пікселів реалізовано згідно формули 1.1.

$$heightEffect = clamp\left(\left(\frac{H_{база} - H_{пікселя}}{150} * 0.7\right) + 0.5\right), \quad (1.1)$$

де, $heightEffect$ – значення впливу різниці висот між базовою станцією та пікселями;

$H_{\text{база}}$ – значення висоти базової станції;

$H_{\text{пікселя}}$ – значення висоти пікселя;

clamp – метод JavaScript (зберігає значення впливу);

150 – відповідає за нормалізування значення;

0.5 – значення коефіцієнту впливу на візуалізацію;

0.7 – коефіцієнт ваги впливу рельєфу візуалізацію.

Вплив вищезазначеної змінної на візуалізацію сигналу наведено на рисунку 2.

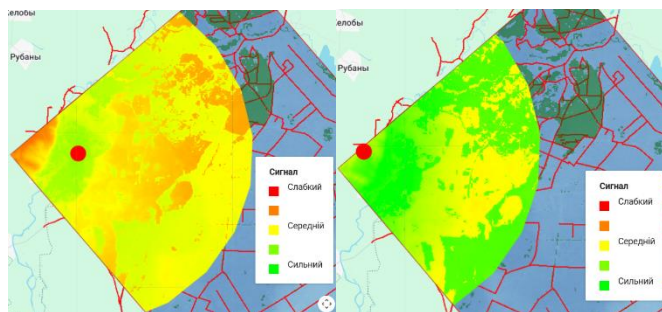


Рисунок 2 – Покриття радіосигналу при базовій станції в низині та на височині відповідно

Додатково було створено моделювання покриття радіосигналу з використанням ретранслятора. Головною умовою встановлення точки ретранслятора є знаходження її в межах сигналу базової станції. Слід зауважити, що додаток розроблявся під умови використання однакових радіомодемів, як на базовій станції так і на ретрансляторі. Приклад візуалізації покращення покриття радіосигналу з використанням ретранслятору наведений на рисунку 3.

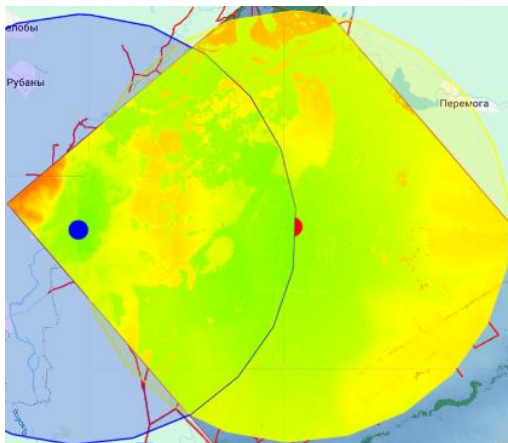


Рисунок 3 – Покращене покриття радіосигналу з використанням ретранслятору

При розробці додатку було досягнуто значних переваг у порівнянні з обиранням точок згущення планово-висотної мережі власноруч. Отриманий додаток у середовищі Google Earth Engine створює інтерактивну карту, що дозволяє користувачу моделювати покриття радіосигналу базової станції та ретранслятора. Після вибору режиму та натискання на карту користувач може розмістити базову станцію, а потім ретранслятор у межах зони дії її сигналу, щоб побачити, як формується зона сигналу. Модель враховує рельєф місцевості, наявність лісу та відстань, що впливають на силу сигналу і візуалізує результат де видно сильні та слабкі ділянки покриття.

Загалом, цей додаток полегшує вибору оптимальних точок для згущення планово-висотної мережі.

Моніторинг деградації водних об'єктів донецької області в умовах бойових дій на основі даних дистанційного зондування Землі

Ягодкін Д.С.,

d.s.yahodkin@student.khai.edu

Сухомлін Л.В.,

l.sukhomlin@khai.edu

Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут"

В умовах воєнного стану Україна зіткнулася з масштабними екологічними викликами, одним із яких є деградація водних об'єктів на територіях активних бойових дій та тимчасової окупації. Донецька область, що є одним із найбільш індустріально розвинених регіонів країни, зазнала значного погіршення стану водного середовища внаслідок руйнування інженерної інфраструктури, підтоплення шахт, потрапляння у водойми техногенних забруднювачів та припинення роботи систем водочиснення [1].

Втрата контролю над частиною територій унеможливила проведення традиційного екологічного моніторингу, що підвищує актуальність використання сучасних технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для оцінки стану довкілля. Дані супутникових спостережень дозволяють отримувати інформацію про просторові зміни водної поверхні, гідрологічний режим і потенційні осередки техногенного впливу навіть без фізичного доступу до території [2].

Проблема деградації водних ресурсів Донбасу має комплексний характер. Її основними чинниками є:

- неконтрольовані скиди шахтних і промислових вод, що містять солі важких металів, феноли, нафтопродукти;
- руйнування гідротехнічних споруд, що регулювали стік і водообмін;
- порушення систем меліорації та дренажу, які призводять до заболювання і вторинного засолення територій;
- зменшення природного притоку води внаслідок кліматичних коливань та антропогенного впливу.

Дані міжнародних моніторингових місій і екологічних організацій свідчать про критичне зниження якості поверхневих вод у басейнах Сіверського Дінця, Кальміусу та Кринки. Підвищення концентрації хімі-

чних забруднювачів створює небезпеку для біоти, а також становить загрозу для питного водопостачання регіонів, розташованих нижче за течією.

У післявоєнний період моніторинг стану водних ресурсів на основі ДЗЗ має стати одним із пріоритетних напрямів екологічного відновлення України. Зокрема, важливо:

- створити національну геоінформаційну базу даних деградованих водних систем;
- інтегрувати результати супутникового спостереження у державну систему екологічного моніторингу [3], [4];
- розробити алгоритми оцінки змін водного дзеркала, ступеня замулення та забруднення;
- забезпечити відкритий доступ до екологічної інформації для органів влади, науковців та громадськості.

Відновлення водного потенціалу Донбасу можливе лише за умови поєднання екологічної реабілітації з техногенною безпекою та гуманітарними заходами. Після деокупації необхідно буде провести детальне картографування водних об'єктів, оцінку рівня їх забруднення і визначення пріоритетних ділянок для рекультивації [3].

Таким чином, моніторинг деградації водних об'єктів із використанням технологій ДЗЗ є не лише науково-технічним завданням, а й елементом екологічної безпеки держави. Він створює основу для прогнозування наслідків воєнного впливу на довкілля, формування екологічної політики відновлення та забезпечення сталого розвитку територій України.

Список використаних джерел:

1. Єгоров В.В., Черниш О.Л. Вплив воєнних дій на стан водних екосистем східної України // Геоекологія. – 2023. – №2. – С. 60–67.
2. Лавренко Н.М., Коваленко О.М. Використання ДЗЗ у системі державного моніторингу природних ресурсів України // Землеустрій, кадастр і моніторинг земель. – 2024. – №1. – С. 45–52.
3. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». – Відомості ВР, 1991, №41.
4. Постанова КМУ № 827 від 30.03.1998 р. «Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля».

Екологічний моніторинг якості повітря: досвід використання геоінформаційних систем

Даншина С. Ю.

Національний аерокосмічний університет «ХАІ»,

e-mail: s.danshyna@khai.edu

Розвиток промисловості, індустріалізація, екологічні катастрофи, лісові пожежі, бойові дії та ін. – усе це стає причиною збільшення викидів у атмосферу. ВООЗ зазначає, що забруднення атмосферного повітря є однією з найсерйозніших екологічних проблем, яка загрожує здоров'ю людей, сприяє зміні клімату та втраті біорізноманіття.

Погіршення якості повітря пов'язують, насамперед, зі зростанням концентрації дрібнодисперсних частинок – $PM_{2.5}$, PM_{10} і шкідливими газами (NO_2 , сполуками CO), які мають ряд негативних ефектів на здоров'я людини, призводячи до формування та прогресу захворювань серцево-судинної, дихальної, ендокринної систем, алергічних реакцій, онкопатології та ін.

Для вирішення проблеми забруднення повітря уряди країн світу вживають заходи з посилення регулювання його якості, зокрема, реалізується постійний моніторинг для відстеження $PM_{2.5}$ (як найбільш пріоритетного забруднювача), а також інших забруднюючих речовин. Зазвичай, це відбувається за даними інструментальних вимірів, отриманих шляхом стаціонарних, маршрутних і пересувних постів спостереження. Прозорий доступ до цих даних здійснюють online через сервіси, які допомагають зрозуміти, як забруднено повітря впливає на людей або територію.

У світовій практиці найпоширенішими є декілька online-сервісів для отримання актуальної інформації про стан повітря у будь-якій точці світу. Розглянемо найвідоміші з них.

У межах програми ООН з довкілля (UNEP) спільно з IQAir створено перший калькулятор впливу забруднення повітря в режимі реального часу (<https://www.iqair.com/unep>). Він поєднує світові дані, отримані з перевірених приладів моніторингу якості повітря в 6475 пунктах у 117 країнах, територіях та регіонах. База даних визначає якість повітря за $PM_{2.5}$ та використовує штучний інтелект для щогодинного розрахунку впливу забруднення повітря на населення практично кожної країни (рис. 1).

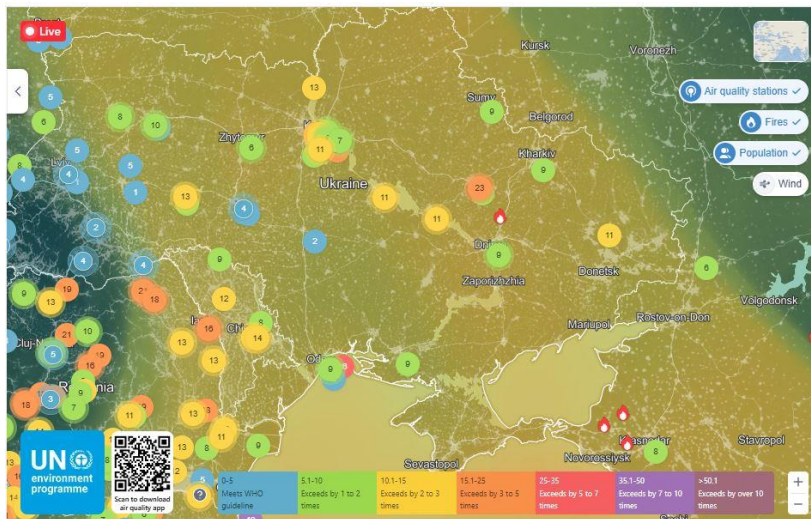


Рис. 1. Online-калькулятор впливу забруднення повітря (територія України)

Також відомим є результат сумісних зусиль Агентств з охорони довкілля різних країн – проект Всесвітнього індексу якості повітря (World Air Quality Index), який поєднує в єдину розподілену світову мережу понад 500 000 станцій спостереження за аерозолями (<https://aqicn.org/>). Результати виміру концентрації твердих частинок ($PM_{2.5}$ / PM_{10}), а також їх узагальнення в індекс якості повітря (AQI) публікують на візуальній карті в режимі реального часу (рис. 2).

Неважко помітити, що порівняно з іншими країнами світу реалізація системи моніторингу з використанням польових досліджень в Україні суттєво ускладнена. Це також підтверджує аналіз таблиць баз даних, розміщених на сервісах.

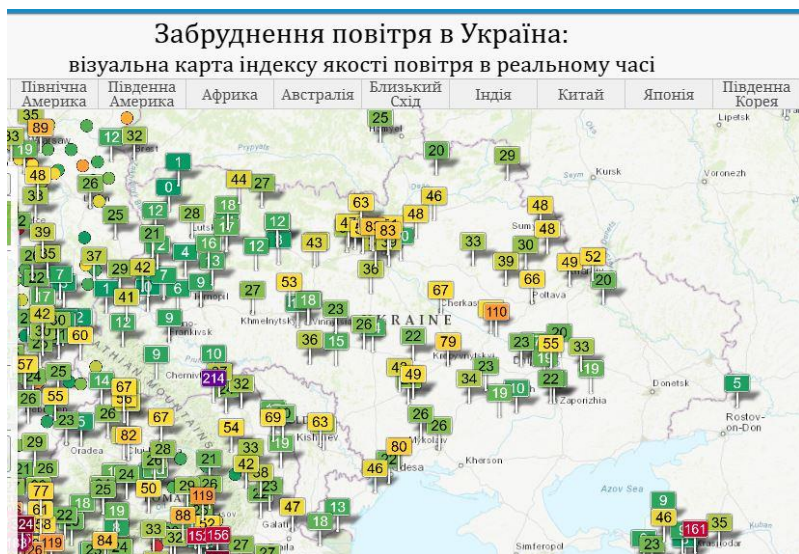


Рис. 2. Карта забруднення повітря (територія України)

Отже, стаціонарний метод контролю якості повітря хоч і є ефективним, але не завжди стабільний. Особливо важко підтримувати цю стабільність в умовах бойових дій на території певних областей країни. Тому для підвищення точності та надійності оцінок пропонується залучення додаткових джерел даних, зокрема, даних ДЗЗ, які можна поєднувати з наземними спостереженнями. При цьому, дуже складним стає питання обрання маркера якості. Як варіант, можливе використання супутникових систем дистанційного зондування, які вимірюють оптичну товщину аерозолію, для чого застосовують спектрорадіо-метричні технології або індексні підходи (наприклад, з використанням індексу NDSI). Недоліком цього підходу є те, що: хмарний покрив серйозно обмежує фактичне просторове охоплення товщини аерозолію; супутникові дані актуальні за часом лише в момент проходження супутника; використання індексів обмежено часом наявності індексної ознаки.

Методика оцінки негативних наслідків повені на прикладі Одеської області з використанням даних космічного моніторингу Землі

Жовтоштан Д.О., Бутенко О.С.

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є Жуковського "Харківський авіаційний інститут"
E-mail: dgetmanova45@gmail.com

Мета: підвищення ефективності оцінювання негативних наслідків повені з використанням даних космічного моніторингу Землі.

В роботі проведений аналіз методів оцінювання негативних наслідків повені, використовуючи оперативні та архівні дані космічного моніторингу Землі (ДЗЗ), на конкретному прикладі повені в Одеській області у визначений період (01.10.25-10.10.25).

Актуальність роботи зумовлена глобальною тенденцією до збільшення частоти та інтенсивності небезпечних гідрометеорологічних явищ, зокрема паводків і повеней, спричинених кліматичними змінами. Зміна клімату призводить до непередбачуваності опадів, зливових явищ та підвищення рівня моря, що створює пряму загрозу для прибережних та низинних регіонів. Необхідність аналізу конкретного випадку повені (01.10.25-10.10.25) дозволяє розробити практичну, часово-орієнтовану методику оцінки, яка може бути швидко адаптована для майбутніх подій. Аналіз існуючих методів показав доцільність розробки сучасної, науково обґрунтованої та технологічно забезпеченої методики, здатної оперативно та точно оцінювати наслідки повеней на прикладі високоризикового регіону — Одеської області. Ця методика має стати інструментом підтримки прийняття рішень для державних органів, страхових компаній та служб надзвичайних ситуацій.

Одеська область має високу природну та економічну вразливість до повеней, що підсилює необхідність точних і швидких методів оцінки. Значна частина території прилягає до Чорного моря та лиманів, що робить її вразливою до підтоплень внаслідок штормових нагонів та високих паводків на річках (наприклад, Дунай, Дністер). Регіон є ключовим транспортним та аграрним хабом (порти, сільськогосподарські угіддя). Швидка оцінка збитків критично важлива для відновлення логістики, посівних площ та мінімізації економічних втрат. Точна ідентифікація постраждалих населених пунктів і житлових об'єктів необхідна для оперативного надання гуманітарної допомоги та планування відновлювальних робіт.

Традиційні методи польового обстеження є занадто повільними та суб'єктивними. Використання даних космічного моніторингу Землі (ДЗЗ) забезпечує необхідну оперативність, об'єктивність та всеосяжність. Супутникові знімки дозволяють отримати миттєву оцінку масштабів катастрофи в режимі, близькому до реального часу, що є критично важливим для швидкого реагування. ДЗЗ надає геореференційні дані з високою просторовою роздільною здатністю, що дозволяє точно картувати межі затоплення, незалежно від погодних умов (особливо з використанням радарних супутників, як-от Sentinel-1). Використання даних космічного моніторингу Землі дозволяє охопити великі території (усе м. Одесу) без потреби фізичного доступу, що є неможливим під час самої повені. Також пропонується методика оцінки збитків базувати на зіставленні доаварійних (архівних) та післяаварійних (оперативних) супутникових даних. Ключові показники: Площа затоплених територій (сільськогосподарські землі, населені пункти), ідентифікація пошкоджених об'єктів інфраструктури (дороги, мости, будівлі). Пропонуються такі етапи реалізації методики оцінки негативних наслідків повені на прикладі Одеської області з використанням даних космічного моніторингу Землі (рис.1):

1.Збір та Попередня Обробка Даних ДЗЗ: Вибір відповідних супутникових сенсорів (наприклад, Sentinel-1/2, Landsat, комерційні супутники) з урахуванням хмарності та необхідної просторової роздільної здатності.

2.Картування Зони Затоплення: Класифікація зображень та створення тематичної карти з точними межами повені. Використання методів машинного навчання (наприклад, Random Forest, U-Net) для автоматизації цього процесу.

3.Інтеграція з ГІС-даними: Накладання карти затоплення на існуючі геоінформаційні шари (ГІС) Одеської області (кадастр, інфраструктура, демографія) для кількісної оцінки негативних наслідків.

4.Кількісна Оцінка Збитків: Розрахунок площі затоплених угідь, кількості постраждалих будівель, оцінка потенційних економічних збитків на основі прийнятих нормативів та вартості об'єктів.

Основні етапи методики показано на рис. 1

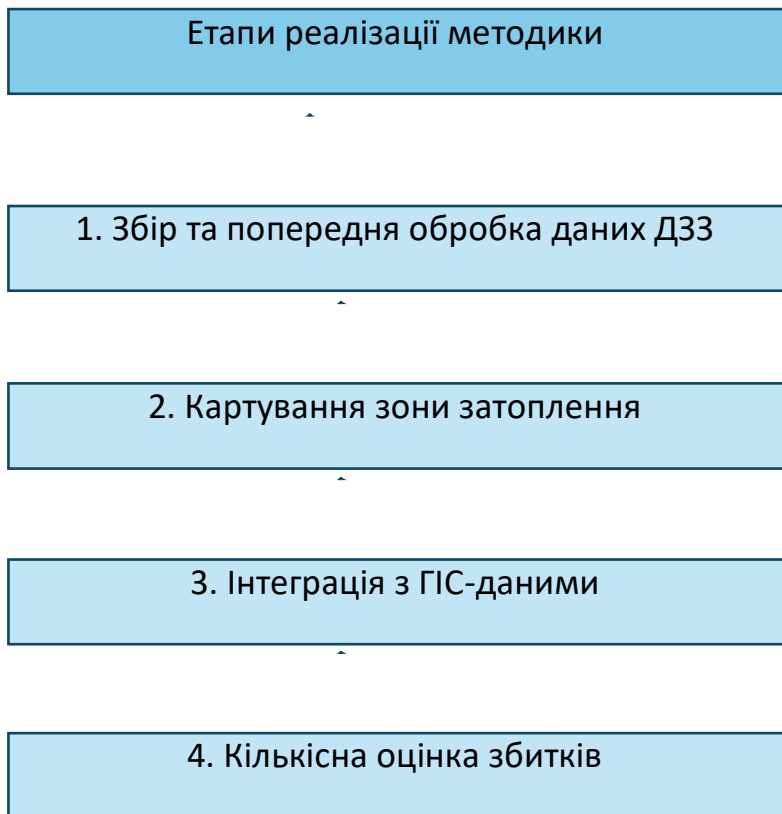


Рис. 1 - Етапи реалізації оцінки негативних наслідків повені на прикладі Одеській області з використанням даних космічного моніторингу Землі.

Також існують такі перспективи подальших досліджень як розширення методики для прогнозування та моделювання ризиків, зокрема оцінка вразливості різних територій Одеської області; інтеграція даних ДЗЗ із моделями гідродинаміки для більш точного прогнозування затоплення.

ВИСНОВКИ. Перевірка адекватності запропонованої методики за допомогою “метода аналогій” підтверджує свою високу ефективність як надійний інструмент для оцінки негативних наслідків повені:

1.Верифікація та Об’єктивність: Космічний моніторинг забезпечує незалежну та об’єктивну верифікацію масштабів катастрофи, що є критично важливим для страхових виплат, розподілу державної допомоги та запобігання фальсифікації даних.

2.Прийняття Рішень: Результати у формі геоінформаційних карт слугують надійною основою для органів місцевого самоврядування та ДСНС для пріоритезації аварійно-рятувальних та відновлювальних робіт.

3.Економічна Ефективність: Хоча первинні інвестиції у технології ДЗЗ можуть бути значними, оперативність та точність оцінки збитків дозволяють швидше відновити економічну діяльність та мінімізувати вторинні втрати, роблячи методіку економічно виправданою.

Методика оцінки, що ґрунтується на даних космічного моніторингу Землі, є незамінним інструментом в системі управління ризиками повеней в Одеській області. Вона забезпечує швидкі, точні та просторово-локалізовані дані, необхідні для ефективного реагування та планування довгострокових заходів із захисту від паводків.

Список використаних джерел:

1. Лавренко Н.М., Коваленко О.М. Використання ДЗЗ у системі державного моніторингу природних ресурсів України // Землеустрій, кадастр і моніторинг земель. – 2024. – №1. – С. 45–52.
2. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». – Відомості ВР, 1991, №41.
3. Постанова КМУ № 827 від 30.03.1998 р. «Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля».

Провідні фактори еколого-геологічного впливу масованих артилерійських обстрілів регіонів України

Є.О. Яковлєв

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України*

В межах рівнинної частини нашої держави виділяється три субширотні біокліматичні зони з домінуючими типами ландшафтів: на півночі - зона мішаних лісів (Полісся), південніше – Лісостепова та Степова зони, з яких 2 останні (Лісостепова та Степова) мають аномальні агро-техногенні порушення суцільності ландшафтів (розораність, забудова, гірничо-добувні комплекси, полігони відходів) і хімічне забруднення внаслідок масованих артилерійських обстрілів протягом російської агресії у 2022-2025р.р. [.....]. В цілому за вмістом токсичних важких металів рівень небезпеки еколого-геохімічного забруднення ґрунтових

ландшафтів як біологічно активної зони геологічного середовища (ГС) визначається наступним чином (табл.1) [1-3].

Табл. 1. Віднесення хімічних речовин, які надходять у ґрунти з викидів, скидів, відходів, до класів небезпеки згідно ГОСТ 17.4.1.02—83

Клас небезпеки речовин		Хімічні елементи та сполуки
1	Високо небезпечні	Арсен, кадмій, ртуть, селен, свинець, цинк, фтор, бенз(а)пірен
2	Помірно небезпечні	Бор, кобальт, нікель, молібден, мідь, стибій (сурма), хром
3	Мало небезпечні	Барій, ванадій, вольфрам, марганець, стронцій, ацетофенон

Численні дослідження свідчать, що у результаті масованих вибухів боєприпасів відбувається комплексне забруднення ґрунтів важкими металами. Найбільш показовим в цьому плані є небезпечне еколого-геохімічне забруднення ґрунтів за рік бойових дій під час Першої світової війни під Верденом (Франція) на площі 120тис.га (1200 кв.км). Завдяки захисним заходам площа цього забруднення на початок ХХІ ст. скоротилась до 100 кв.км (10 тис.га), але не суцільно. Слід відмітити, що оцінки збройного ландшафтно-геохімічного забруднення ландшафтів України до цих пір суттєво ускладнюються внаслідок того, що розроблені ГДК значно відрізняються один від одного.

За різними оцінками протягом збройних дій на території України (2022-2025р.р.) використано до 40 млн артилерійських снарядів (до 30 млн російською стороною), в т.ч. найбільш масового калібру 155 (152)мм. Кожний 155 (152)-мм снаряд, які переважно використовуються під час бойових дій, вміщує до семи кілограмів вибухової речовини (тротилу(TNT) $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$), а його корпус формує $G=36$ кілограмів $=36 \cdot 10^6$ мг сталених осколків (орієнтовна кількість до 2000 з розподілом на місцевості в радіусі $R \approx 400$ м). При цьому важкі метали снарядів є токсичними і перешкоджають активності мікрофлори ґрунту, що зменшує їх родючість та біогеохімічну захисну здатність. Еколого-геохімічна токсичність снарядних осколків підсилюється тим, що протягом довгого часу (до перших 1-2 десятиріч) глибина проникнення важких металів у ґрунт складає 2-5см. При початковій глибині забруднення $m=2$ см(0.02м) маса забрудненого поверхневого ґрунту m густиною $Y=1400$ кг/м³ у зоні радіусом $R=400$ м складе:

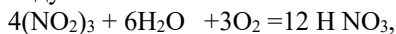
$$m=\pi R^2 \cdot m \cdot Y=3.14 \cdot (400)^2 \cdot 0.02 \cdot 1400=1.4 \cdot 10^7 \text{кг},$$

а питоме валове надходження снарядного металу від вибуху 1 снаряду буде дорівнювати:

$Сл=G:m=36\cdot10^6: 1.4\cdot10^7\approx2.6\text{мг/кг.}$

За наявними даними найбільшою міграційною здатністю характеризуються Hg, Zn, Mn, які, як правило, рівномірно розподіляються у шарі ґрунту на глибині 0-20 см. Pb та Cd частіше накопичується у поверхневому шарі (0-2,5 см), що обумовлює їх високий екотоксичний вплив

Виконаний аналіз дистанційних і картографічних матеріалів свідчить, що щільність артилерійських обстрілів має значні відмінності, що в цілому дозволяє виділити наступні 3 рівні еколого-геохімічної ураженості ландшафтів: точковий, територіальний, регіональний. В комплексі провідних еколого-геологічних факторів просторово-часового впливу масованих артилерійських обстрілів, як свідчать виконані дослідження [3], можна виділити наступні: механічні хімічні та фізичні впливи на ґрунтовий шар як біоактивну зону ГС. В загальному плані, на наш погляд, до них можна віднести гіпсометричні деформації ґрунтового шару, його локальні ущільнення та рихлення, погіршення поверхневого стоку, активізацію ерозійного зносу родючого шару (до 50 разів і більше відносно фонових значень), зменшення захищеності ґрунтових вод від поверхневого забруднення нітратними сполуками від розпаду TNT:



яке за експертними оцінками може досягти 20-30% масиву ґрунтових вод.

На нашу думку, навіть виконані попередні дослідження еколого-геохімічного забруднення ландшафтів у зонах інтенсивних бойових дій свідчать, що під час війни ґрунти є однією з найвразливіших екосистем.

За цих умов уявляється вкрай необхідним під час повоєнного відновлення першочергове виконання наступних науково-виробничих заходів:

1. Удосконалення методики відбору проб з врахуванням просторово-часових параметрів збройного руйнування земної поверхні.
2. Виконання стандартних ландшафтних еколого-геохімічних досліджень з метою визначення сучасних фонових концентрацій важких металів та форм їх еколого-геохімічного функціонування
3. Еколого-геохімічне удосконалення гранично допустимих концентрацій важких токсичних металів збройного походження у різноманітних ландшафтних геохімічних комплексах.
4. Обґрунтування мережі полігонів еколого-геохімічного моніторингу ландшафтів різного призначення.
5. Розробка моделей з оцінки змін еколого-геохімічних параметрів ландшафтів за умови збройних дій і повоєнного відновлення на основі

використання сучасних засобів ГІС, ДЗЗ та математичного моделювання.

6. Обґрунтування ландшафтно-геохімічних параметрів екологічно збалансованих (безпечних) технологій землекористування у зонах масштабного руйнівного впливу збройних дій.

Список використаних джерел:

1. Люта Н.Г. Біогеохімічні особливості забруднення території промислово-міської агломерації на прикладі м.Києва // Мінеральні ресурси України. - 2001.-№2.
2. Жовінський Е.Я. Регіональні геохімічні дослідження ґрунтів України в рамках міжнародного проекту з геохімічного картування сільськогосподарських та пасовищних земель Європи (GEMAS) // Пошукова та екологічна геохімія. – 2012. - № 1 (12). – С. 51—66.
3. Сплодитель А., Голубцов О., Чумаченко С., Сорокіна Л. Забруднення земель внаслідок агресії росії проти України.” Вид. Екодія”, 2023р., 154с.

Можливі підходи до еколого-економічної оцінки впливу інженерно-геологічних загроз на пошкодження (руйнування) будівель і споруд

Рогожин О.Г., Трофимчук В.О., Яковлев Є.О.

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України
E-mail: olexarog@gmail.com*

Виникнення інженерно-геотехнічних загроз у техногенно-геологічних системах (ТГС) будівельного походження визначається передусім змінами стійкості геологічного середовища як складової геосистеми в умовах техногенного впливу. Імовірність їх виникнення залежить від здатності геологічного середовища зберігати свою природну структуру, функціональні особливості та властивості саморегуляції під тиском зовнішніх і внутрішніх збурень природного й антропогенного походження.

Оцінка стійкості геологічного середовища є складним і недостатньо розробленим питанням екологічної геології через обмежену вивченість на території України накопичених наслідків зростаючого впливу техногенезу в умовах глобальних змін клімату та руйнівної російської агресії

на просторово розподілені ТГС. При цьому може спостерігатися згасання природних геосистем і виникнення нових, що не зустрічалися у природних умовах раніше. За попередніми спостереженнями, саме процеси формування таких ТГС у верхній зоні літосфери акумулюють більшу частину негативного впливу факторів господарської діяльності, змін клімату, а також – впливу забруднень і геомеханічних порушень через збройну агресію (до 80%).

Методом оцінювання стану геосистем може бути вимірювання еколого-економічних втрат (шкоди) як певного наближення до розрахунку чистої поточної продуктивності території, втраченої, зокрема, через надзвичайні ситуації. Її вартість в контексті завданої шкоди інтерпретується як ціна упущеної чистої вигоди [1, с. 28].

Врахування внеску інженерно-геотехнічного (геосистемного) фактору в економічну оцінку завданої шкоди є недостатньо дослідженим теоретичним питанням, зокрема в контексті оцінювання екосистемних послуг. Нам не вдалося знайти наукових публікацій на цю тему. Водночас у практиці оцінювання вартості об'єктів нерухомості емпірично напрацьовані методичні підходи, які уможливають явне врахування зазначеного фактору в розрахункових моделях шляхом введення параметру імовірності реалізації інженерно-геологічних загроз пошкодження/руйнування споруд і комунікацій на об'єктовому та регіональному рівнях.

На об'єктовому рівні грошову оцінку впливу інженерно-геологічного фактору у загальному випадку припустимо інтерпретувати як різницю ринкової вартості будівлі без (V) і з врахуванням (V_g) імовірності реалізації такої загрози, тобто як величину втрати вартості будівлі від цього (LV_g) за інших рівних умов: $LV_g = V - V_g$.

Ринкову вартість будівлі (V) припустимо розраховувати витратним методом [2], а врахування впливу інженерно-геологічного фактору здійснити відповідним коефіцієнтом. У загальному випадку цей коефіцієнт ($k_g = 1 - p_{gh}$) має відображати імовірність реалізації інженерно-геологічних загроз. Тоді:

$$V_g = [V_a \cdot (100 + I) \cdot (100 - WT) \cdot (1 - p_{gh})] / 10000 + V_I \cdot (1 - p_{gh}), \quad (1)$$

де: V_a – сума витрат на будівництво нового аналога оцінюваної споруди (вартість відновлення),

I – величина розумного прибутку інвестора у %,

WT – величина зношеності оцінюваного об'єкта (зворотна до величини залишкового ресурсу споруди) у %,

V_I – вартість земельної ділянки як незабудованої.

p_{gh} – сумарна імовірність реалізації інженерно-геологічних загроз

Потребують врахування ті загрози, які можуть спричинити пошкодження та/або руйнування будівельних конструкцій, а саме: природні та антропогенні сейсмічні струшування (інтенсивністю 6 балів і більше) та кожний з небезпечних екзогенних геологічних процесів (просадки, зсуви, карстові, суфозійні та техногенні провалля, активізовані підтопленням). Тобто, має розглядатися сумарна імовірність всіх цих факторів: $p_{gh} = p_s + p_p + p_l + p_{pr}$, де: p_s – імовірність сейсмічних струшувань, p_p – імовірність просадок, p_l – імовірність зсувів, p_{pr} – імовірність провалів (карстових, суфозійних, техногенних).

Але імовірність реалізації події на території оцінюваного об'єкту може бути строго розрахована лише для природної сейсміки [3, 4]. Пропонуємо наблизитися до вирішення цієї проблеми на основі логіки «експозиційного» та «сценарного» підходів. Перший полягає у заміні показника імовірності реалізації загрози показником ступеню ураженості (експозиції) нею певної території, другий (в нашому контексті) – у використанні різних показників і алгоритмів розрахунків для різних сценаріїв розвитку подій (наявність та/або реалізація різних загроз для стійкості споруд).

В рамках «експозиційного» підходу для загроз просадок, зсувів та провалів заміном показника імовірності їх реалізації може бути показник (коефіцієнт) експозиції (ступеню ураженості) ними території в межах периметру споруди (uk_i) та її земельної ділянки (ul_i) за результатами інженерно-геологічних досліджень. Відповідно, для споруди $p_{gh} \approx uk_{ghK}$, а для земельної ділянки – $p_{gh} \approx uk_{ghL}$. З урахуванням цього та інфляції до часу здійснення оцінки (i , у %) формула (1) набуває вигляду:

$$V_g = [V_a \cdot i \cdot (100 - WT) \cdot (1 - uk_{ghK})] / 10000 + [V \cdot i \cdot (1 - uk_{ghL}) / 100]. \quad (2)$$

Зрозуміло, що розмірність цих коефіцієнтів має бути уточнена за результатами практичних оцінок реальних об'єктів. Попереднім вирішенням цієї колізії може бути врахування лише максимального значення експозиції, тобто: $uk_{ghK} \approx p_s + uk_{max}$ та $uk_{ghL} \approx p_s + ul_{max}$. Оскільки найбільш негативним варіантом розвитку подій щодо порушення інженерно-геологічної безпеки споруди є фактичний прояв загроз на її території (сейсмічної події та/або небезпечних інженерно-геологічних процесів).

В разі фактичного прояву цих загроз може бути експертно визначений показник (коефіцієнт IN_i) ступеню пошкодження оцінюваної споруди, спричиненою кожним з цих небезпечних явищ, за напівкількісною (ранговою) шкалою пошкоджень, наприклад: слабкі (поодинокі тріщини, перекоси, розриви проводки тощо – 0,1), середні (тріщини у стінах, перекоси віконних та дверних коробок, розриви кабелів і трубо-

проводів тощо – 0,3), сильні (деформації фундаментів, стін, інших несучих конструкцій, масовий вивал вікон і дверей тощо – 0,5), руйнівні (масові розриви і часткове обрушення несучих конструкцій – 0,75), ніщівні (повне руйнування із масовим обрушенням несучих конструкцій – 1,0). В такому разі доцільно врахувати вплив лише тієї загрози, яка спричинить найбільші пошкодження споруди у формі $(1 - I_{N_{\max}})$. Тоді формула (2) набуває вигляду:

$$V_g = [V_a \cdot i \cdot (100 - WT) \cdot (1 - I_{N_{\max}})] / 10000 + [VI \cdot i \cdot (1 - u_{k_{ghL}}) / 100]. \quad (3)$$

Зрозуміло, що ніщівні пошкодження обнуляють балансову вартість будівлі та значно зменшують ціну земельної ділянки (наскільки – потребує спеціального дослідження). В разі відсутності пошкодження споруди внаслідок небезпечних геологічних процесів доцільно розглянути можливі в умовах України сценарії різних поєднань інженерно-геологічних загроз, що сформувалися під впливом підтоплення у різних екологічних та сейсмічних умовах, тобто доповнити «сценарний» підхід гео-екологічним.

На об'єктовому рівні традиційно розглядається загальна грошова оцінка взаємопов'язаного комплексу всіх інженерно геологічних загроз, наявних у цьому місці (їх інтегрального впливу). Тобто не відбувається спеціальне виокремлення впливу кожної загрози, оскільки задача визначення ринкової ціни споруди не потребує цього. Акцент тут робиться на можливих або вже реалізованих руйнівних наслідках та на ціні їх компенсації чи подолання у порівнянні з грошовою оцінкою без врахування таких загроз або їх реалізованих наслідків.

Отримана таким чином кількісна оцінка шкоди, завданої інженерно-геологічними загрозами, в разі її масового здійснення для багатьох об'єктів, кучно розміщених на визначеній території, може бути інтерпретована як певне наближення до величини втрат екосистемної послуги (функції забезпечення) несучої здатності геологічного середовища (підгрунтя) цієї території. Ця функція скінченна, вичерпна і важковідновна, аж до можливості у граничному випадку доведення геологічного середовища до стану практичної непридатності для будівництва за визначених бюджетних обмежень.

Відповідно, оцінка відновної вартості всіх будівель в межах певної території, але без врахування інженерно-геологічних загроз, задає максимальну оцінку екосистемної послуги забезпечення несучої здатності геологічного середовища цієї території.

Врахування в ціні цих будівель всіх потенційних інженерно-геологічних загроз знизить оцінку вартості цієї послуги до мінімального рівня.

Тоді різниця між максимальною і мінімальною оцінками задасть величину потенційної максимально можливої шкоди від порушення несучої здатності геологічного середовища.

Врахування в ціні будівель тільки реалізованих загроз на певну дату дасть реальну моментну оцінку послуги забезпечення несучої здатності території (її величина перебуватиме в діапазоні між максимальною і мінімальною оцінками). Причому різниця між цією і максимальною оцінкою дасть величину реально завданої шкоди від порушення несучої здатності підгрунтя (умовну ціну її відновлення).

На регіональному рівні оцінка економічної шкоди від реалізації інженерно-геологічних загроз (LVgr) потребуватиме визначення вартості всіх пошкоджених споруд і на території без (Vgr) і з врахуванням пошкоджень (VGr), тобто:

$$LVgr = Vgr - VGr, \quad (4)$$

Однак, такий простий підхід на основі узагальнення об'єктової інформації наражається на практично нездоланні труднощі в частині отримання вхідних даних, оскільки статистика пошкодження споруд небезпечними геологічними процесами в Україні централізовано не ведеться, а накопичення бази даних про це в розрізі окремих об'єктів не відбувається.

Тому доводиться використовувати опосередкований підхід, коли здійснюється грошова оцінка потенційної шкоди від ще не реалізованих загроз на основі аналізу доступної картографічної інформації про їх поширеність, інтенсивність та імовірність.

Ще однією складністю є недоступність даних про будинки і споруди в населених пунктах України, на територіях, що досліджується. Доводиться використовувати розрахунковий підхід на основі орієнтовних припущень щодо розподілу населення по садибних і багатоквартирних будинках в сільських і міських населених пунктах. Доводиться також вводити додаткові припущення щодо імовірності реалізації інженерно-геологічних загроз та можливих пошкоджень будівель і споруд внаслідок цього.

Через це регіональна економічна оцінка загроз сьогодні практично можлива лише в рамках еколого-сценарного підходу, на основі картометричного визначення поширених в Україні територіальних поєднань (комплексів) загроз як основи для оцінки потенційної шкоди в ареалах їх поширення.

Відповідно, мінімальна оцінка вартості споруд з врахуванням потенційних пошкоджень за j-тим сценарієм поєднання інженерно-геологічних загроз (VGr^j) становитиме:

$$VGr^j = Vgr^j \cdot i \cdot (1 - p_{gh}^j) / 100, \quad (5)$$

де: Vgr^j – мінімальна оцінка вартості усіх споруд в ареалі, експонованому j -тим сценарієм поєднання інженерно-геологічних загроз;

i – індекс інфляції з часу визначення нормативів c_1 та c_2 (середньої вартості садибних та багатоквартирних будинків);

p_{gh}^j – імовірність реалізації суми присутніх за j -тим сценарієм інженерно-геологічних загроз, коефіцієнт; зокрема: $p_{gh}^j = p_s^j + ul_p^j + ul_r^j + ul_{pr}^j$;

p_s^j – імовірність сейсмічних струшувань у ареалі поширення j -того сценарію, згідно з ЗСР-2004 ($p_s^j = 10^{-3}$);

ul_p^j – коефіцієнт ступеню експозиції (ураженості) території ареала поширення j -того сценарію реальними проявами просадковості;

ul_r^j – коефіцієнт ступеню експозиції (ураженості) території ареала поширення j -того сценарію реальними проявами зсувів;

ul_{pr}^j – коефіцієнт ступеню експозиції (ураженості) території ареала поширення j -того сценарію реальними проявами проваль.

У кожному із сценаріїв параметр $(1 - p_{gh}^j)$ конкретизується згідно з набором наявних у ньому інженерно-геологічних загроз. Причому на основі певних припущень можливо врахувати орієнтовну величину пошкоджень споруд для кожної інженерно-геологічної загрози відповідним коефіцієнтом in , оціненим за ранговою шкалою.

Описану вище схему можна реалізувати і для регіональної оцінки прибудинкових територій. Відповідно, оцінка прибудинкової земельної ділянки з врахуванням інженерно-геологічних загроз за тих самих припущень щодо імовірності і ураженості ними території, що й для споруд, становитиме:

$$VGr^j = Vgr^j \cdot i \cdot (1 - p_{gh}^j) / 100. \quad (6)$$

Тоді мінімальна регіональна оцінка потенційної економічної шкоди для споруд і прибудинкових ділянок від реалізації інженерно-геологічних загроз в ареалі поширення j -того сценарію поєднаного впливу цих загроз ($Lvgr_{min}^j$) дорівнюватиме:

$$Lvgr_{min}^j = Vgr^j + VGr^j - VGr^j - VGr^j. \quad (7)$$

Причому величину $Vgr^j + VGr^j = Egs_{max}^j$ припустимо інтерпретувати як оцінку максимально можливої суми екосистемних інженерно-геологічних послуг, яку територія в ареалі поширення j -того сценарію інженерно-геологічних загроз здатна надати, а величину $VGr^j + VGr^j = Egs^j$ – як наближення до оцінки реальної суми таких екосистемних послуг з зазначеної території (на час здійснення оцінки). Відповідно, щоб отримати величину суми інженерно-геологічних послуг якоїсь конкретної

екосистеми, достатньо виконати оцінку потенційної економічної шкоди для споруд і прибудинкових ділянок від реалізації інженерно-геологічних загроз для всіх сценаріїв поєднаного впливу таких загроз в межах території, яку займає ця екосистема.

Визначена нами оціночна вартість потенційної шкоди за всіма регіональними сценаріями поєднаного впливу інженерно-геологічних загроз в Україні для житлових будинків (садибних та багатоквартирних) становить до 8,8 \$ млрд. З урахуванням шкоди для прибудинкових земельних ділянок ця сума зростає до 120 \$ млрд. Зазначені величини припустимо інтерпретувати як мінімальну і максимальну оцінки потенційної економічної шкоди від інженерно-геологічних загроз в Україні, що відрізняються більше, ніж на порядок.

Висновки. На основі аналізу наявних методик оцінки вартості об'єктів нерухомості нами запропонована теоретична концепція оцінювання еколого-економічної шкоди від впливу інженерно-геологічного (геосистемного) фактору на об'єктовому та регіональному рівнях.

Згідно з нею, економічну оцінку негативного впливу геосистемного фактору, особливо в умовах збройної агресії, доцільно здійснювати на основі покомпонентно-порцепційного методологічного підходу у версії оцінки наслідків надзвичайних ситуацій. Його необхідно поєднати з екосистемним підходом, тобто ввести у предмет оцінки вартість втрати екологічних послуг. Причому екосистемний підхід слід розширити до геосистемного (біогеоценотичного) шляхом врахування впливу геологічного середовища як специфічних інженерно-геологічних послуг забезпечення несучої здатності підгрунтя споруд, будівель та комунікацій.

Список використаних джерел:

1. Barbier E., Acreman M., Knowler D., (1997) Economic valuation of wetlands: a guide for policy makers and planners. Ramsar Convention Bureau. Gland, Switzerland. 121 p.
2. Як проводиться оцінка будинку: необхідні документи та критерії оцінки. <https://pareto.com.ua/ua/blog/yak-provoditsya-ocinka-budinku/>
3. ДСТУ Б В.1.1-28:2010. Національний стандарт України. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Шкала сейсмічної інтенсивності. Київ: Мінрегіон-буд України, 2011, – 79 с.
4. Seismic risk and engineering decisions (1976). C. Lomnitz and E. Rosenblueth (ed). Developments in geotechnical engineering, vol. 15 : Elsevier, Amsterdam–Oxford–New York.

Видобування сланцевого газу та зміна клімату (аналітичний огляд стану досліджень)

Азімов О.Т.

ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України», azimov@casre.kiev.ua

Видобування сланцевого газу (СГ) супроводжується викидами парникових газів. Їх облік та скорочення важливі для мінімізації впливу видобування СГ на зміну клімату. Крім того, вуглецеві викиди мають враховуватися і з огляду на зобов'язання України в рамках Кіотського протоколу, Паризької кліматичної угоди та Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй зі зміни клімату (РКЗК ООН).

Ключовими джерелами викидів парникових газів у ході реалізації проєктів з видобування СГ є викиди метану (CH_4) під час видобування і транспортування (витоки) та, опосередковано, викиди двоокису вуглецю (CO_2) від використання енергії під час видобування СГ (непрямі викиди). Крім того, викиди CO_2 відбуваються під час спалення природного газу зі сланцевих родовищ кінцевими споживачами. На цьому етапі природний газ може бути заміником інших енергетичних ресурсів (наприклад, вугілля або біомаси), які відповідно мають вищий або нижчий показник емісії вуглецю.

Непрямі викиди залежать від типів та обсягів енергетичних ресурсів, які використовуються для видобування СГ. Такі енергетичні ресурси включають електроенергію, яка споживається на ділянці для роботи насосного обладнання, паливо та електроенергію для видобування та транспортування води, піску, відходів тощо. Кількість енергетичних ресурсів, які використовуються для видобування СГ, у свою чергу, залежить від конкретних геологічних умов та глибини залягання сланцевих порід. Враховуючи, що геологічні умови видобування СГ в Україні вважаються складнішими порівняно з умовами в Північній Америці, непрямі викиди парникових газів при видобуванні СГ можуть бути вищими, ніж у США та Канаді [1].

Витоки при видобуванні СГ відбуваються також у тому разі, коли разом із зворотною водою, яка повертається на поверхню через стовбур свердловини після проведення гідравлічного розриву, виділяється значна кількість метану. Додатково викиди CH_4 спостерігаються при розбурюванні пробок, що відокремлюють різні стадії гідравлічного розриву, перед тим як починається видобуток природного газу.

У дослідженні Роберта Ховарта (Robert W. Howarth) та ін. викиди метану на етапі повернення зворотних вод оцінені в середньому на рівні 1,6% від всього обсягу природного газу, який добувається зі свердловини. Викиди при розбуруванні пробок, які розділяють різні стадії гідророзриву, оцінені на рівні 0,33% від обсягу газу, що видобувається. Таким чином, загальні витоки метану внаслідок виконання гідравлічного розриву складають 1,93% від обсягу видобутку зі свердловини.

Загалом Р. Ховарт оцінює викиди метану в атмосферу при видобуванні СГ на рівні 3,6–7,9% від загального обсягу видобутку, тоді як при видобуванні традиційного природного газу рівень витоків оцінено на рівні 1,7–6%. Дослідник відзначає, що викиди парникових газів при видобуванні СГ є більшими, ніж при видобуванні традиційного природного газу і навіть близькими до викидів від використання вугілля. Експерти Національного управління океанічних і атмосферних досліджень (National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA) оцінили рівень витоків метану на рівні 4% і навіть на рівні 9%.

У серпні 2013 р. були оприлюднені результати іншого дослідження фахівців Національного управління океанічних і атмосферних досліджень та Інституту досліджень охорони навколишнього середовища Колорадського університету (Cooperative Institute for Research in Environmental Science). Дослідники використовували підхід контролю матеріального балансу і вимірювали концентрацію метану в повітряних потоках, які рухалися крізь територію видобутку СГ, на вході та на виході за межі території. За результатами вимірювання, витоки метану були оцінені на рівні 6–12% від всього видобутого природного газу. Вимірювання проводилися в лютому 2012 р. на території штату Юта.

Водночас, за іншими оцінками дослідників Массачусетського технологічного інституту, обсяги витоків метану внаслідок виконання гідравлічного розриву є меншими і складають 0,4–0,6% від загального видобутку природного газу, а на деяких родовищах досягають 0,8–1,0%. Дослідники наголошують, що їх оцінки є меншими, оскільки враховують використання технологій з уловлення CH_4 та його спалювання на факелах.

Приклад такої технології демонструє компанія Devon Energy Corporation на сланцевому родовищі Барнетт, де використовується метод екологічного закінчення буріння свердловини. Суть методу полягає в тому, що природний газ, який після виконання гідророзриву надходить разом зі зворотними водами, за допомогою сепараторів відокремлюється від води та подається в трубопровід замість того, аби потрапляти в атмосферу чи на факел [2].

Отже, видобуток СГ супроводжуватиметься викидами вуглецю в атмосферу. На підставі зазначених вище даних щодо витоків метану вже можна констатувати, що кількість викидів парникових газів в атмосферу під час активної фази видобутку СГ вимірюватиметься в мільйонах тон еквіваленту CO₂ на рік. Разом з тим, частина цих викидів може бути компенсована, оскільки видобутий природний газ може замінити паливо з вищим вмістом вуглецю (вугілля, мазут тощо). Безперечно, вже в найближчий час необхідне більш глибоке вивчення теми викидів парникових газів у ході видобутку СГ, оскільки саме зараз Україна є у процесі прийняття рішення щодо вступу в наступний період дії зобов'язань за Паризькою кліматичною угодою та РКЗК ООН.

Список використаних джерел:

1. <http://shalegas.in.ua/shale-gas-and-climate-change>
2. <http://devonenergy.com>

Інноваційні ДЗЗ/ГІС-технології при роботах і дослідженнях із по- водження з муніципальними відходами

Триснюк В.М.¹, Азімов О.Т.², Шевчук О.В.³

*¹Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
НАН України, Trofymchuk@nas.gov.ua, trysnyuk@ukr.net*

*²ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН Украї-
ни», azimov@casre.kiev.ua*

*³Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури Ук-
раїни, sov27041996@ukr.net*

Аналіз публікацій, в яких викладені основні можливості й практичні досягнення технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та географічних інформаційних систем (ГІС) під час вивчення земель з вже існуючими полігонами захоронення і сміттєзвалищами твердих побутових відходів (ТПВ), або ж такими, в межах яких потенційно можуть або аргументовано не можуть бути організовані об'єкти накопичення відходів, дозволяє класифікувати відповідні розробки саме на ці дві проблемно орієнтовані групи. Перша група стосується досліджень територій з депонованим в їх межах сміттям. Друга група розглядає території як перспективні для ведення побідної діяльності.

Отож, у роботах [Dikshit et al., 2001; Готинян та ін, 2007; Јосимовић и др., 2011; Pandey, 2012; Mussa, Suryabhagavan, 2019; Macalam et al.,

2023; Révolo-Acevedo et al.; 2023; та ін.] продемонстровано ефективність застосування інформаційних технологій у процесі вибору локальних ділянок для розміщення звалищ і полігонів муніципальних відходів, що є сприятливими за багатокритеріальними параметрами. Крім того висвітлюються приклади розробки (або дизайнування) внутрішньої інфраструктури нещодавно затверджених полігонів [Révolo-Acevedo et al., 2023], приклади контролю і керування за просторовим технологічно безпечним розподілом відходів і пов'язаним із ним фільтратом у межах їх окремих майданчиків [Jimoh et al., 2019; Singh, 2019; Азімов та ін, 2020; Azimov et al., 2020; Haripavan, Dey, 2023; та ін.].

За даними багатоспектральних космічних знімків здійснено оцінку можливості ідентифікації звалищ ТПВ (зокрема, й несанкціонованих) на фоні агроландшафтних екосистем, використовуючи при цьому як дані щодо спектрів відбиття земних покривів за даними ДЗЗ із побудовою спектральних профілів, так і дані з розрахованих на їх основі різноманітних індексів [Кохан, Москаленко, 2009; Азімов та ін, 2020; Azimov et al., 2020; Andreiev et al., 2022; Dancheva, Spasova, 2023; Gómez et al., 2024; та ін.]. Відповідні роботи мали теоретичне підґрунтя, що базувалося на відомостях про специфіку взаємодії електромагнітних хвиль різного діапазону з відмінними земними покривами [Кронберг, 1988; Advances..., 2009; Кохан, Востоков, 2009; Байрак, Муха, 2010; Campbell, Wynne, 2011; та ін.]. Все це є науково-методичним обґрунтуванням дешифрування і подальшого картографування несанкціонованих сміттєзвалищ у межах великих площ. Також у деяких публікаціях яскраво представлені факти виявлення горіння сміття на звалищах [Азімов та ін, 2020; Azimov et al., 2020] або ж наводяться моделі їх просторово-часового температурного моніторингу з метою запобігання займання відходів [Andreiev et al., 2022]. За оцінками, викладеними у роботі [Karimi et al., 2023], загалом за десятиліття 2012-2021 рр. у 56% досліджень місць накопичення відходів застосовувалися методи класифікації даних ДЗЗ.

На прикладі вже існуючих полігонів захоронення і звалищ муніципальних відходів наводяться результати екологічного геомоніторингу компонентів ландшафту в межах районів, що вже зазнають або ж є потенційно вразливими щодо впливу продуктами вторинного забруднення, утвореними на місцях локалізації ТПВ [Mor et al., 2006; Adeolu et al., 2011; Ohwohere-Asuma, Aweto, 2013; Ali et al., 2014; Новохацька, Крета, 2015; Azimov et al., 2018, 2019, 2020, 2023; Азімов та ін., 2019, 2020; Jimoh et al., 2019; Azimov, Shevchuk, 2020; Aweto et al., 2023; Abd El-Salam, Abu-Zuid, 2025; Kucheroва et al., 2025; та ін.], зокрема й

результати щодо рекультивованих полігонів [Pasternak et al., 2025]. Багато досліджень присвячено отриманню відповідної інформації з використанням новітніх даних ДЗЗ [Шевякіна та ін., 2019; Mancino et al., 2022; Азімов та ін., 2024; та ін.], зокрема й з безпілотних літальних апаратів (БПЛА) [Азімов та ін., 2020; Azimov et al., 2020; Shevchuk et al., 2021; Shevchuk, 2022; Азімов та ін., 2023; Sedano-Cibrian et al., 2023; та ін.]. Так, у роботі [Shevchuk, 2022] висвітлено результати отримання інформації з допомогою БПЛА не лише про площові параметри відходів на майданчиках одного з дослідних сміттєзвалищ, але й представлено їх у вигляді тривимірних моделей. Така покращена візуалізація дала можливість оцінити об'єми відходів у кількісному вираженні, що на цих майданчиках накопичені за час експлуатації.

Напрацьовуються загальні концептуальні підходи до створення системи інформаційної підтримки і забезпечення робіт і досліджень з використанням досягнень ДЗЗ/ГІС-технологій щодо поводження з геологічним середовищем у контексті депонування в його субстраті ТПВ для двох різновидних класів об'єктів видалення відходів – полігонів захоронення і несанкціонованих звалищ [Azimov et al., 2021; Khrushchov et al., 2021; Азімов та ін., 2023]. У вказаних публікаціях, у певній автономності від інших геосфер, літосфера та її взаємодія з місцями розміщення ТПВ розглядається як техно(антропо)генно-геологічна підсистема в рамках природно-техно(антропо)генної системи загалом.

Отже, на наш погляд, потребують подальшого розвитку ДЗЗ/ГІС-технології просторово-часового геомоніторингу змін структури компонентів ландшафту, контролю за процесом заміни одних екосистем іншими з аналізом відповідної динаміки, спостереження за землеустроєм загалом, а також прогнозування соціально-екологічних подій на територіях, що зайняті під полігони захоронення і звалища ТПВ та на прилеглих до них землях. Вочевидь отримані дані в подальшому можуть використовуватися як складова інформаційного ресурсу з метою оцінювання ймовірних економічних (фінансових) витрат, а отже й для аналізу проблем в організації роботи управлінських і господарських установ конкретних територій.

Інтегрована інтерпретація аерокосмічної та геолого-геофізичної інформації як засіб об'єктивного моделювання тектонічної будови території, перспективної для створення сховища водню в її надрах

Азімов О.Т.

*ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі
ІГН НАН України», azimov@casre.kiev.ua*

З позицій екології зберігання водню в пористих середовищах земних надр, зокрема й у соленосних відкладах, є безпечним. Соляні масиви володіють важливими позитивними властивостями: відсутність значних розривних порушень і зон тектонічної тріщинуватості, швидке відновлення, відносна водо- і флюїдонепроникність, сприятливі теплопровідні параметри порід, можливість створення ємності будь-якої форми. На ділянці розміщення підземного сховища пласт кам'яної солі повинен мати товщину не менше 50 м, а площа його поширення – дозволяти розмістити потрібну кількість резервуарів.

У контексті зазначеного вивчення надр з поширенням соленосних утворень комплексом методів наразі є актуальним. На наш погляд, цей комплекс повинен містити й блок аерокосмогеологічних досліджень (АКГД). Отож, нами дистанційними методами досліджувалася Ізмаїльсько-Кілійська ділянка, розташована фактично в межах території так званої «Водневої долини Одеси». Виконано проблемно орієнтоване дешифрування даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), зокрема структурно-геодинамічне дешифрування. Інтегрована інтерпретація результатів дешифрування здійснювалася з використанням аналітично оцінених і спеціально підготовлених апіорних матеріалів фондових й опублікованих джерел з інформацією стосовно особливостей геологічної будови території. З цією метою застосовано, зокрема, географічну інформаційну систему.

За результатами досліджень уточнено каркасну модель структурно-тектонічної будови території Ізмаїльсько-Кілійської ділянки та безпосередньо прилеглих до неї площ. Насамперед вона відображає розломно-блокові “поля” відповідного району.

Власне на території ділянки дешифровано відносно монолітний, структурно-тектонічно однорідний, геодинамічно стабільний (вочевидь з помірними додатними неотектонічними рухами) локальний блок земної кори, задовільний за своїми геометричними параметрами для будівництва в його межах підземного сховища водню в соляних пластах. У плані він має форму п'ятикутника. Його площа становить приблизно

10 км². Центральна частина блока локалізується в 7 км у напрямку на північний схід від с. Кислиця і приурочена до ур. Кислицької Плавні. Глибина залягання покрівлі верхньої (перекривної) частини теригенно-карбонатно-сульфатного літокомплексу в межах блока змінюється в діапазоні 400–500 м. У центральній його частині спостерігається язикоподібне тіло кам'яної солі з імовірною товщиною до 80 м.

Сприятливі ландшафтні умови блока для спорудження підземного сховища водню визначаються відсутністю на його площі селітебної забудови, об'єктів природно-заповідного фонду та гідрологічних об'єктів, а також його приуроченістю до відносно підвищених гіпсометричних позначок поверхні земного рельєфу в межах ур. Кислицької Плавні (у діапазоні 10–15 м) тощо.

Разом з цим у подальшому необхідно провести комплекс дистанційних і наземних методів досліджень блоку з метою деталізації його геологічної будови. З-поміж матеріалів ДЗЗ, зважаючи на набутий нами багаторічний досвід проведення АКГД, у процесі роботи потрібно використовувати дані багатоспектрального дистанційного знімання високої просторової, спектрометричної і радіометричної розрізненості (типу космічних знімків класу QuickBird, WorldView тощо, а також матеріали зйомок з безпілотних літальних апаратів).

Оцінка вмісту важких металів у забруднених унаслідок воєнних дій ґрунтах Київщини за даними геохімічного аналізу (з використанням даних ДЗЗ)

Курасьва І.В.¹, Дерюгіна О.В.¹, Азімов О.Т.²

¹*Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семеника НАН України, ki4412674@gmail.com, derugina.eln@gmail.com;*

²*ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України», casre@casre.kiev.ua*

Вплив воєнних дій має негативні наслідки для екосистем відповідних ландшафтів [1]. Зокрема, на ґрунти їх екологічний вплив є критичним. Основними наслідками впливу на ґрунти є фізична, хімічна та біологічна їх деградація, у них акумулюються забруднюючі речовини, наприклад важкі метали (ВМ). На територіях, у межах яких велись бойові дії або ж продовжуються воєнні заходи, у ґрунтового покриві відбувається первинне накопичення цих токсикантів із подальшим перерозпо-

ділом їх як власне у товщі ґрунту, так спостерігаються і переходи забруднювачів в інші компоненти довкілля: поверхневі й підземні води, рослинність.

Зазначене притаманне й ґрунтам Київської області, в межах якої в лютому–березні 2022 р. проходили активні воєнні дії. Зокрема, це характерно й для ґрунтових утворень району м. Буча. Таким чином, дослідження геохімічних особливостей ґрунтового покриву зазначеного району по закінченні бойових дій, які дозволили б оцінити його екологічний стан, є актуальним.

Отож, із верхнього гумусного горизонту ґрунтів району м. Буча в межах 10 площадок, що розташовані на умовному профілі північно-східного простягання (рис. 1), у 2023 р. відібрано відповідні зразки. Місця їх відбору визначалися так, щоб урахувати різні рівні потенційного забруднення ґрунтів ВМ за відносно однорідних ландшафтно-географічних умов території. Для цього застосовано дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), насамперед космічний знімок високої просторової розрізненості з супутника WorldView-2. Безпосередня ідентифікація на місцевості попередньо намічених площадок здійснювалася з використанням географічної інформаційної системи та GPS.

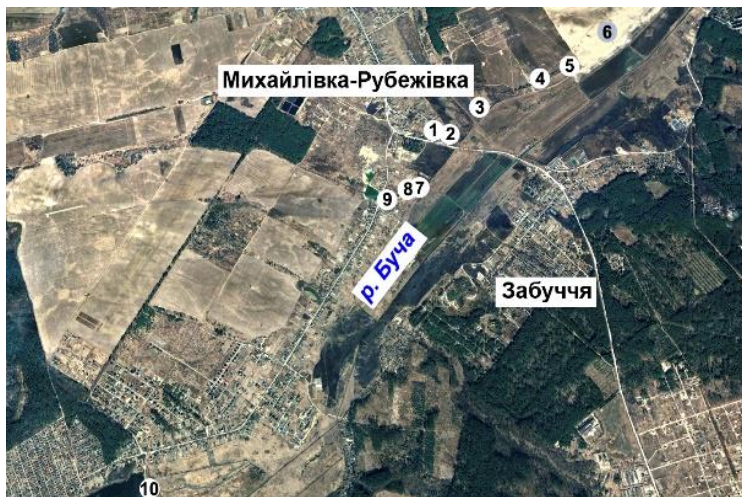


Рис. 1. Розташування площадок відбору зразків ґрунту в межах району м. Буча. Як підкладку використано космічний знімок, отриманий 21.03.2022 р. із супутника WorldView-2.

Для визначення валового вмісту ВМ у ґрунтах використано методи атомно-емісійного спектрального аналізу та мас-спектрометрії з індукційно зв'язаною плазмою. Оцінку екологічного стану ґрунтів отримано, порівнюючи ступінь забруднення їх ВМ як по відношенню до місцевого фонових ґрунту (тобто умовно чистого, відповідно до [2]), так і до гранично допустимих концентрацій (ГДК) вмісту відповідних мікроелементів.

У результаті дослідження визначено показники валового вмісту ВМ у відібраних зразках ґрунту (табл. 1). Зокрема, у ґрунтовому покриві, на глибині 0–10 см, спостерігається значний вміст ряду ВМ, імовірно зумовлений наслідками проведення бойових дій на території району м. Буча.

Таблиця 1 – Середні показники валового вмісту ВМ у гумусовому горизонті умовно чистих та забруднених ґрунтів району м. Буча, мг/кг

Ґрунт	Важкі метали						
	Ni	Cr	Zn	Co	Cu	V	Pb
Дерново-середньопідзолистий оглеєний; n – 23	$\frac{19}{16}$	$\frac{15}{10}$	$\frac{53}{38}$	$\frac{17}{10}$	$\frac{33}{14}$	$\frac{31}{18}$	$\frac{22}{8}$
ГДК валових форм ВМ у ґрунтах (за Постановою Кабміну України від 15.12.2021 р., № 1325)	85	–	100	–	55	150	32

Примітка: чисельник – валовий вміст ВМ забруднених ґрунтів, мг/кг; знаменник – валовий вміст ВМ в умовно чистих ґрунтах, мг/кг (відповідно до [2]); n – кількість відібраних зразків; «–» – ГДК не встановлено або дані не наведені

Отже, за результатами проведених досліджень у дерново-середньопідзолистих оглеєних ґрунтах району м. Буча встановлено, що валовий вміст свинцю (Pb) в них у середньому становить 22 мг/кг ґрунту, що більш ніж у 2,7 раза вище регіонального фону. Середній вміст міді (Cu) становить близько 33 мг/кг, що майже в 2,5 раза перевищує значення фону (табл. 1).

У зразках ґрунту, відібраних на території м. Буча, зафіксовано також високий валовий вміст хрому (Cr). Концентрація хрому становить

15 мг/кг у порівнянні із фоном – 10 мг/кг (табл. 1). Що стосується нікелю (Ni), його середній вміст у ґрунтах території громади становить 19 мг/кг, що не перевищує ГДК валових форм (85 мг/кг).

Валовий вміст цинку (Zn) у досліджуваних пробах ґрунту в середньому становить 53 мг/кг, що перевищує фонові показники майже в 1,4 раза (38 мг/кг) (табл. 1). Перевищення місцевого фону в досліджуваних ґрунтах зафіксовано практично у всіх відібраних зразках за ванадієм (V): його вміст сягає 31 мг/кг, тобто перевищує фон більш ніж у 1,7 раза.

Середній вміст кобальту (Co) в досліджуваних ґрунтах м. Буча становить близько 17 мг/кг, що незначно перевищує регіональне фонове значення (10 мг/кг).

Висновок. Отже, за результатами проведеної роботи встановлено, що середній валовий вміст мікроелементів у всіх досліджуваних зразках середньопідзолистих оглеєних ґрунтів м. Буча перевищує фонові показники. Зокрема, перевищення місцевого фону зафіксовано за свинцем та міддю (приблизно в 2,5 раза), за ванадієм (у 1,7 раза) та цинком (у 1,4 раза). Наведені результати у подальшому можуть бути використані для прогнозування екологічної обстановки на локальному та регіональному рівнях району м. Буча та прилеглих територій.

Список використаних джерел:

1. Сплодитель А. Голубцов О., Чумаченко С., Сорокіна Л. Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів: Результати аналізу. Київ: ГО «Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2023. 154 с.
2. Жовинський Е.Я., Кураєва І.В. Еколого-геохімічні дослідження об'єктів довкілля України. Київ: Альфа, 2012.

Рекультивация земель після військових дій як елемент забезпечення екологічної безпеки літосфери

**Клочко Т.О.^{1, 1}, Клименко В.М.¹,
Вишняков В.Ю.²**

¹Національний аерокосмічний університет «ХАІ», ²Національний університет оборони України ім. Івана Черняховського
t.klochko@khai.edu

Військові дії є одним із найнебезпечніших антропогенних чинників впливу на довкілля, що призводить до комплексних змін у структурі ландшафтів, забруднення ґрунтів та деградації природних екосистем.

Внаслідок вибухів, переміщення техніки, утворення вирв та насипів на значних площах формуються бelligеративні (військово-порушені) ландшафти, які потребують відновлення для запобігання подальшому поширенню деградаційних процесів.

Україна розташована у межах Східноєвропейської рівнини, що охоплює природні зони мішаних лісів, лісостепу та степу. Різноманіття ґрунтів визначає складність рекультиваційних заходів, оскільки кожен тип має власні екологічні й агрономічні особливості.

Для досягнення екологічної безпеки літосфери і ґрунтів – стану, коли літосфера і ґрунти не становить загрози для здоров'я людини та навколишнього середовища, а також мають здатність виконувати свої основні екосистемні функції, що включає в себе відсутність забруднень, збереження родючості та біорізноманіття, а також захист від ерозії та інших негативних впливів, необхідно розробити та виконати комплекс заходів.

Порушення земель у результаті створення земляних споруд є великими за розмірами та глибиною. Вони створюють пересічений рельєф, що вміщує опуклі та увігнуті форми. У результаті зверху можуть виявитися антропогенно перетворені ґрунти.

В залежності від положення відносно поверхні землі і порушень природного ландшафту, розробляють заходи рекультивації.

Всі виробки та відвали після їх завершення робіт мають бути рекультивовані таким чином, щоб максимально відновити початковий рельєф місцевості.

Земляні роботи зазвичай супроводжується значними деструктивними змінами ландшафту, ерозією, руйнуванням природних екосистем та забрудненням ґрунту та води. Рекультивація таких спотворень передбачає відновлення пейзажів, збереження та відновлення ґрунтового покриву, висадження дерев та рослинності, створення водойм, моніторинг впливу на водні ресурси та рослинний світ.

Відновлення земель після техногенних порушень складна екологічна задача, що може бути розтягнутою в часі та просторі.

Відновлення земель виконують наступним порядком:

- Первинне лаштування спотворених угідь для цілей подальшого користування (Технічна рекультивація). Проводиться очистка та вирівнювання поверхні, на яку за необхідності наносять ґрунти. Заповнюють вигнуті форми рельєфу, розчищають завали, глибокі виїмки перетворюють на водойми або інші споруди.

- Улаштування рослинного покриву (Біологічна рекультивація). Проводиться відновлення плодючості ґрунтів, формування рослинних екосистем.

Напрями рекультивації порушених земель вибираються в залежності від плану подальшого користування: для відпочинку, для аграрного, промислового, заповідного використання.

Світовий погляд пропонує проводити рекультивацію та консервацію. Рекультивація ґрунтується на заходах, що враховують тип земель, рельєфні, кліматичні особливості і таке інше для видалення небажаних фізико-хімічних забруднень та відновлення біотичної складової.

Консервація ґрунтується на природному відновленні екосистеми, залишив її у тому вигляді, в якому вона знаходилась на момент пошкодження. Землі зазвичай виводяться із користування на період самоочищення на невизначений термін.

Рекультивація земель після військових дій є ключовим елементом забезпечення екологічної безпеки літосфери та стабілізації стану довкілля. Комплексне застосування технічних, біологічних і інформаційно-аналітичних технологій підтримки рішень дозволить ефективно планувати заходи з відновлення, моніторингу та сталого використання природних ресурсів у постконфліктних регіонах.

Список використаних джерел:

1. «Земельний кодекс України.
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>. Дата звернення 22.05.2025 року.
2. Закон України Про охорону земель.
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text>. Дата звернення 29.05.2025 року.
3. ДСТУ 7941:2015 Якість ґрунту. Рекультивація земель. Дата звернення 29.05.2025 року.

Аналіз методів визначення тенденцій змін екологічного стану довкілля

Багнюк М. А.

Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут"

Оцінка тенденцій змін екологічного стану довкілля є ключовим напрямом сучасних екологічних досліджень, що дозволяє виявити закономірності деградації або покращення природних систем, визначити

вплив антропогенних факторів та обґрунтувати ефективні заходи управління. Сучасна екологічна наука пропонує широкий спектр підходів і методів, спрямованих на кількісне та якісне визначення тенденцій змін - від класичних статистичних методів до комплексних моделей, що враховують взаємозв'язки між природними, соціальними та економічними компонентами середовища. Застосування цих методів є необхідним для формування об'єктивних висновків щодо стану екосистем і розробки ефективної екологічної політики на різних рівнях - від локального до глобального.

В роботі розглянуто основні підходи та методи, що використовуються для визначення тенденцій змін і оцінки екологічного стану. Проаналізовано їхні принципи, переваги та обмеження, а також можливості практичного застосування в контексті сучасних екологічних викликів. Представлено основні типи методів, зокрема статистичні, індикаторні, моделювальні та інтеграційні підходи, які разом формують методологічну основу для комплексної оцінки стану довкілля та прогнозування його подальшого розвитку.

СТАТИСТИЧНИЙ ТРЕНД-АНАЛІЗ ЧАСОВИХ РЯДІВ (ПІКСЕЛЬ-ЗА-ПІКСЕЛЕМ АБО ПО ЗОНАХ)

Аналіз часових рядів супутникових даних є одним із ключових підходів для виявлення тенденцій змін екологічного стану довкілля. Традиційно, при цьому доречним є використання статистичних методів, зокрема тих, що дозволяють оцінити напрям, силу та значущість змін певних показників у часі. Застосування таких методів дає змогу виявити як довгострокові тренди (наприклад, поступова деградація рослинного покриву), так і короткострокові аномалії, спричинені природними чи антропогенними чинниками (пожежами, військовими діями, техногенними катастрофами). Для аналізу використовуються як класичні статистичні інструменти (наприклад лінійна регресія, оцінки Тейла-Сена, непараметричні кореляційні коефіцієнти), так і спеціалізовані методи, що враховують сезонність та циклічність динаміки супутникових індексів.

Особливу роль у такому підході відіграють вегетаційні та термальні індекси, розраховані за даними багатоспектральних супутникових знімків (Landsat, Sentinel тощо). Вони забезпечують узагальнені числові показники стану рослинності та ґрунтово-земної поверхні, які можуть бути безпосередньо піддані статистичному аналізу. Таким чином, поєднання методів статистичного тренд-аналізу з індексами на кшталт NDVI, EVI, LST та іншими дозволяє отримати комплексне уявлення про просторово-часові зміни екологічних умов.

Статистичні методи виступають універсальним інструментом для виявлення закономірностей у часових рядах, тоді як індекси, розраховані за даними ДЗЗ, забезпечують змістове наповнення цього аналізу. У сукупності вони дозволяють кількісно оцінювати екологічні зміни та формувати об'єктивну картину просторово-часових процесів у довкіллі. У подальшій частині подано перелік трьох основних індексів, що найчастіше використовуються для дослідження екологічних змін, із зазначенням їхніх характеристик, сфери застосування та обмежень:

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index (Нормалізований різницевий вегетаційний індекс); Формула: $(NIR - Red) / (NIR + Red)$; Найкраще для: загальної оцінки «зеленості» та кількості живої рослинності. Використовується для моніторингу сезонної динаміки, деградації після пожеж чи бойових дій.; Обмеження: насичується у щільних лісових покриттях; чутливий до атмосферних умов і ґрунту.

EVI - Enhanced Vegetation Index (Покращений вегетаційний індекс); Формула: $G * (NIR - Red) / (NIR + C1 * Red - C2 * Blue + L)$; Найкраще для: оцінки рослинності у зонах з високою біомасою, менш чутливий до атмосфери ніж NDVI.; Використання: відстеження відновлення лісів після катастроф.; Обмеження: складніша формула, потребує синього каналу.

(M)NDWI - Normalized Difference Water Index / Modified NDWI (Нормалізований різницевий водний індекс / модифікований); Формула: $MNDWI: (Green - SWIR) / (Green + SWIR)$; Найкраще для: картографування води, паводків, змін водосховищ.; Використання: фіксація підтоплень після руйнування дамб, моніторинг змін водної інфраструктури.; Обмеження: базовий NDWI плутає воду з забудовою; MNDWI це зменшує.

КЛАСИЧНІ МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ЗМІН (CHANGE DETECTION) МІЖ ДВОМА АБО БІЛЬШЕ НАБОРАМИ ДАНИХ

Виявлення змін (Change Detection, CD) є однією з базових та найбільш поширених задач дистанційного зондування Землі. Сутність цього підходу полягає у визначенні відмінностей між двома або більше наборами зображень однієї й тієї ж території, отриманих у різні моменти часу. Методи CD дозволяють кількісно оцінити просторово-часові трансформації земного покриття та об'єктів, що відбуваються під впливом як природних процесів (сезонність, ерозія, пожежі), так і антропогенних факторів (урбанізація, військові дії, техногенні аварії).

Класичні підходи CD ґрунтуються на порівнянні окремих пікселів або агрегованих об'єктів між часовими зрізами, що дає змогу отримати картину змін різної деталізації залежно від роздільної здатності даних.

У найпростішому вигляді аналіз може здійснюватися шляхом арифметичних операцій над значеннями спектральних каналів (наприклад, різниця або відношення між зображеннями), тоді як більш розвинені методи враховують багатовимірну структуру спектральних даних (аналіз векторів змін) чи здійснюють попередню класифікацію земного покриття з подальшим порівнянням результатів. [1]

До їх переліку входить піксельне виявлення змін (PBCD), об'єктне виявлення змін (OBOD), виявлення різниці (Image Differencing), пропорційне ділення (Ratioing), аналіз змінних векторів (Change Vector Analysis / CVA), після-класифікаційне порівняння (Post-Classification Comparison).

Завдяки своїй універсальності класичні методи CD широко застосовуються для моніторингу довкілля, виявлення наслідків катастрофічних подій та оцінки динаміки землекористування. Водночас вибір конкретного алгоритму залежить від характеристик вхідних даних (роздільна здатність, кількість спектральних смуг, наявність сезонних змін) та від завдань дослідження. У подальшому розділі подано основні класичні методи виявлення змін, які становлять основу для сучасних і більш комплексних підходів до аналізу багатотемпоральних супутникових даних.

КЛАСИФІКАЦІЯ ТА МАШИННЕ НАВЧАННЯ

Сучасні підходи до аналізу супутникових даних дедалі частіше ґрунтуються на методах класифікації та алгоритмах машинного й глибокого навчання. На відміну від класичних статистичних методів та простих алгоритмів виявлення змін, машинне навчання дозволяє враховувати велику кількість спектральних, просторових та контекстуальних ознак, що суттєво підвищує точність інтерпретації даних дистанційного зондування. Ці методи можуть бути використані як для побудови карт земного покриття та моніторингу стану довкілля, так і для спеціалізованих задач, зокрема виявлення руйнувань внаслідок бойових [2] дій чи природних катастроф.

Використання керованих алгоритмів класифікації потребують наявності навчальних вибірок і дозволяють отримати високоточні результати при правильному підборі даних, тоді як некеровані алгоритми застосовуються у випадках обмеженої інформації про територію. Окремо виділяють методи навчання з підкріпленням, які набувають популярності завдяки здатності адаптивно вдосконалювати свої рішення у процесі аналізу даних.

Застосування глибоких нейронних мереж, зокрема згорткових архітектур (CNN) та умовно-змагальних мереж (Conditional GANs), відкриває нові можливості у виявленні змін, оскільки такі моделі здатні ефективно навчатися складним нелінійним залежностям та узагальнювати

інформацію з різних джерел. Завдяки цьому машинне та глибинне навчання посідає ключове місце серед сучасних інструментів моніторингу довкілля за даними ДЗЗ.

ІНТЕГРОВАНІ І СИНТЕТИЧНІ ІНДЕКСИ ТА БАГАТОВИМІРНІ ПІДХОДИ

Інтегровані та синтетичні індекси становлять окремий клас методів оцінки стану довкілля, які ґрунтуються на поєднанні кількох супутникових показників у єдину узагальнену метрику. Такий підхід дає змогу подолати обмеження, властиві окремим індексам (наприклад, NDVI, EVI чи LST), і отримати більш комплексну характеристику екологічного стану території. Об'єднання показників зеленості, вологості, сухості та температури дозволяє сформувати інтегральні оцінки, що краще відображають взаємозв'язки між різними компонентами екосистем.

Одним із найбільш відомих прикладів є екологічний індекс RSEI (Remote Sensing Ecological Index), який інтегрує кілька супутникових параметрів у рамках єдиної багатовимірної моделі. Іншим поширеним напрямом є застосування методів зведення багатовимірних даних — таких як головні компоненти (PCA), метод аналізу ієрархій (ANP) чи ентропійні підходи — для побудови синтетичних показників. Ці методи дозволяють отримати зважену оцінку стану довкілля, уникаючи надмірної залежності від одного конкретного індексу.

Інтегровані підходи особливо актуальні в умовах складних екологічних змін, де вплив антропогенних і природних факторів накладається один на одного. Використання багатовимірних моделей забезпечує більш точне відображення просторово-часової динаміки, а також сприяє створенню карт екологічної якості територій для цілей моніторингу, планування та оцінки наслідків воєнних чи техногенних подій.

ФРЕЙМВОРКИ ДЛЯ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ І УПРАВЛІННЯ

Окрім безпосередніх методів аналізу супутникових даних, важливу роль у дослідженні екологічних змін відіграють концептуальні фреймворки, що забезпечують структуровану інтерпретацію результатів та інтеграцію різних типів інформації. Такі підходи не є методами дистанційного зондування в класичному сенсі, проте вони широко застосовуються для оцінки стану довкілля, оскільки дозволяють поєднувати кількісні показники, отримані з ДЗЗ, із соціально-економічними, управлінськими та політичними аспектами.

Серед запропонованих фреймворків варто відзначити модель DPSIR (Driving forces–Pressures–State–Impact–Response) [3], яка описує причинно-наслідкові зв'язки між антропогенними навантаженнями та станом екосистем, а також концепцію SEEC (Social–Ecological–Environmental–Complexity)[4], що акцентує на інтеграції соціальних і

природних систем. Використання таких структур дозволяє не лише інтерпретувати результати аналізу супутникових індексів, але й формувати на їх основі управлінські рішення для сталого розвитку та відновлення довкілля.

В результаті аналізу розглянутих методів та алгоритмів визначено що тільки синтез розглянутих методів та алгоритмів дає можливість отримати комплексну оцінку стосовно екологічного стану об'єктів спостереження.

Список використаних джерел:

1. Cheng, G.; Huang, Y.; Li, X.; Lyu, S.; Xu, Z.; Zhao, H.; Zhao, Q.; Xiang, S. Change Detection Methods for Remote Sensing in the Last Decade: A Comprehensive Review. *Remote Sens.* 2024, 16, 2355. <https://doi.org/10.3390/rs16132355>
2. Holail, S., Saleh, T., Xiao, X., Xiao, J., Xia, G.-S., Shao, Z., Wang, M., Gong, J. & Li, D. (2024). Time-series satellite remote sensing reveals gradually increasing war damage in the Gaza Strip. *National Science Review*, 11(9), nwae304. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwae304>
3. Liu, L., Li, J., Wang, J., Liu, F., Cole, J., Sha, J., Jiao, Y., & Zhou, J. (2022). The establishment of an eco-environmental evaluation model for southwest China and eastern South Africa based on the DPSIR framework. *Ecological Indicators*, 145, 109687. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109687>
4. Wang, B.; Yu, F.; Teng, Y.; Cao, G.; Zhao, D.; Zhao, M. A SEEC Model Based on the DPSIR Framework Approach for Watershed Ecological Security Risk Assessment: A Case Study in Northwest China. *Water* 2022, 14, 106. <https://doi.org/10.3390/w14010106>

Існуючі технології захисту міського середовища від перегріву поверхонь і зменшення теплового навантаження на прибудинкову територію

Святогоров І.О., Волошкіна О.С., Ткаченко Т.М.

*Київський національний університет будівництва і архітектури,
tallarh@gmail.com, voloshkina.os@knuba.edu.ua,
tkachenkoknuba@gmail.com*

Отримані в попередніх дослідженнях прогнольні оцінки для м.Києва свідчать про суттєве збільшення теплового індексу та частоти днів з екстремальним тепловим стресом [1]. За допомогою даних Copernicus

Climate Change Service, Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського та інструментарію OriginPro8 визначено прогнозну динаміку температури за звичайним та за вологим термометром у липні для території м. Києва для різних періодів: 1991–2020 рр. – 21,9°C і 23,853°C; 2021–2030 рр. – 24,136°C і 26,24°C; 2030–2050 рр. – 26,371°C і 28,918°C. Розрахунки теплового індексу за стандартною методикою свідчать, що вже у 2050 році він підвищиться майже на 30%, а ризик для здоров'я населення на прибудинковій території при відносній вологості повітря 80% буде трактуватися як «високий» за загальноприйнятою світовою шкалою WBGT. при інших рівних умовах міської території.

У зв'язку з цим посилюється останнім часом зростання інтересу до пасивних методів охолодження дворових територій, в тому числі таких як кут розташування будівлі при квартальній забудові території відносно сторін горизонту, обладнання будинку навісами (маркізи), шторами або жалюзіями, облаштування водних об'єктів на прибудинковій території, таких як фонтани або басейни; зелені покрівлі дахів, нанесення світловідбивних фарб, фотонічні відбиваючі панелі, зелені насадження тощо. Застосування технологій «зеленого» будівництва для зниження температурного показника відкритого повітря та зниження теплового стресу повинні передбачатися вже на рівні проектної стадії квартальної забудови з врахуванням прогнозного впливу спекотних місяців року на здоров'я населення

З метою вибору оптимального захисту населення урбанізованих територій в умовах глобальних кліматичних змін авторами роботах [2,3] проведені розрахунки на основі удосконаленого програмного комплексу TownScore [4] для типових міських житлових споруд, що дозволяють визначати найбільш ефективну модель формування житлових кварталів для зниження температури поверхні внутрішнього двору під час планування територій нових мікрорайонів.

Порівняння різних типів існуючої квартальної житлової забудови (точкової, периметральної, рядкової, П-подібної) в спекотний літній період в залежності від їх орієнтації на міській території відносно сторін світу дозволяє визначати відсоток затінення підстильної поверхні двору упродовж світлового дня. А завдяки додатковому впливу на тепловий купол міста шляхом впровадження інноваційних енергоефективних технологій охолодження будівель в спекотні місяці року в поєднанні з заходами на прибудинковій території можна суттєво знизити величину прогнозованого ризику для здоров'я населення через величину теплового індексу та підвищити комфортність проживання в містах.

Список використаних джерел:

1. Святогоров, І. (2024). Посилення теплового стресу для населення урбанізованих територій на фоні глобальних кліматичних змін. Екологічна безпека та природокористування, 49(1), 49–59. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.1.49-59>
- 2. Voloshkina, O., Tkachenko, T., Sviatohorov, I., Bereznyska, Y. (2024). The influence of urbanbuilding orientation on the risk of heat stress from being in the courtyard area during the peaksummer period. Sci. Rev. Eng. Env. Sci., 33 (4), 388–400. DOI: [10.22630/srees.9953](https://doi.org/10.22630/srees.9953)
3. Ткаченко Т., Святогоров І. Розпланування територій під житлову забудову за умови створення теплокомфортного житлового середовища. Техніка будівництва. 2025. Вип. 42. С. 161-169. <https://doi.org/10.32347/tb.2025-42.0518>. URL: <http://tehbud.knuba.edu.ua/article/view/332090>
4. Teller, J., & Azar, S. (2001). Townscope II – A computer system to support solar access deci-sion-making. Solar Energy, 70 (3), 187–200. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00097-9](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00097-9)

Методика оцінки впливу забруднення повітря за допомогою IoT технологій

Гончаренко А.В., Сорока І.В., Волошкіна О.С.

Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА), E - mail: honcharenko.av@knuba.edu.ua

Військові удари ракет і дронів спричиняють масштабне забруднення повітря токсичними газами (CO, CO₂, NO_x, SO₂) і дрібнодисперсним пилом (PM_{2.5}, PM₁₀), що може довго залишатися в атмосфері та негативно впливати на здоров'я людей. Спостереження в Україні фіксували багаторазове перевищення гранично допустимих концентрацій під час обстрілів, що становить серйозну екологічну та медичну загрозу. Для реагування на ці виклики розроблено систему моніторингу якості повітря на основі Інтернету речей (IoT) та штучного інтелекту (ШІ). Вона дає змогу в реальному часі оцінювати рівень забруднення навіть у зонах, де пошкоджено стаціонарні пости спостереження. Отримані дані використовуються для оперативного інформування населення, а також для оцінки кліматичних ризиків у будівництві — зокрема під час післявоєнної

відбудови міст. Інтеграція IoT і ШІ дозволяє враховувати екологічні фактори на етапі проектування, роблячи міські території більш стійкими до забруднення та кліматичних викликів.

Методи

Підхід до оцінювання. Запропонована методика поєднує мережу датчиків IoT для збору екологічних даних та алгоритми AI для їх аналізу і прогнозування. Основні етапи реалізації системи такі:

1. Збір даних за допомогою IoT-сенсорів.
2. Моделювання та аналіз даних.
3. Алгоритми штучного інтелекту.
4. Прийняття рішень та візуалізація.

Завдяки сценарному моделюванню можливих катастрофічних подій запропонована інтегрована система IoT+AI дозволяє прогнозувати та запобігати надзвичайним ситуаціям природного чи техногенного характеру. Поєднання даних сенсорів з нейромережевими моделями формує основу експертної системи для оцінки наслідків вибухів і вироблення рекомендацій.

Результати

Моніторинг викидів під час обстрілів. Розгорнуті IoT-мережі датчиків вже демонструють високу ефективність в умовах міських боїв.

Аналіз та моделювання забруднення. Дані, зібрані IoT-сенсорами під час реальних обстрілів, дали змогу валідувати результати комп'ютерного моделювання. Розрахунки показали, що пікова концентрація діоксиду сірки (SO_2) в умовах нейтральної стратифікації атмосфери спостерігається на відстані близько 500 м від епіцентру вибуху і перевищує гранично допустиму норму приблизно в 1,9 раза ($0,95 \text{ мг/м}^3$). Це свідчить про утворення локальних осередків високих концентрацій токсичних газів під час вибухів.

Висновки. Використання технологій IoT та AI відкриває нові можливості для оцінки і пом'якшення наслідків забруднення повітря, спричиненого військовими діями. Проведені дослідження демонструє, що інтегрована система датчиків і алгоритмів здатна своєчасно виявляти небезпечні концентрації забруднювачів, прогнозувати їх розповсюдження та надавати науково обґрунтовані дані для прийняття рішень, що дозволяє оперативно реагувати. Отримані дані про стан атмосфери є цінними і для довгострокового планування – вони стають основою оцінки кліматичних ризиків у будівництві при післявоєнному відновленні міст.

В підсумку, поєднання IoT та ШІ для екологічного моніторингу в умовах війни є потужним інструментом як для негайного спостереження за якістю повітря, так і для стратегічного планування кліматично стійкої відбудови.

Список використаних джерел:

1. Гончаренко А.В. Методика оцінки впливу забруднення повітря на основі визначення кліматичних ризиків в будівництві. Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії. КНУБА, Київ, 2025.
2. Sagaidak D.A., Bogolyubov V.M. Наукове обґрунтування систем екологічного моніторингу регіонального рівня в умовах війни. *Biological Systems: Theory and Innovation*, 14(1-2), 2023 bioscience.com.ua.
3. Сопов Д. та ін. Сучасні системи моніторингу атмосферного повітря та напрямки їх удосконалення. *Екологічні науки*, 1(52), 2024 bioscience.com.ua.
4. Honcharenko A.V., Sopov D. Innovative IoT and AI Solutions for Urban Environmental Safety during Military Operations. *Proceedings of IEEE SAIC*, 2022.
5. Dolzhenkova O.V. та ін. Наслідки впливу ракетних ударів на стан атмосферного повітря в Україні. *Екологічні науки*, 1(52), 2024.

Інформаційна технологія комплексного моніторингу полігонів твердих побутових відходів

Шевчук О., Василенко А.

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
НАН України, м. Київ.*

E - mail: sov27041996@ukr.net

Сучасна екологічна політика України вимагає переходу до цифрових методів управління відходами та створення регіональних систем моніторингу сміттєзвалищ. В умовах децентралізації та активного розвитку територіальних громад зростає потреба у впровадженні єдиної геоінформаційної платформи, яка дозволяє відстежувати стан полігонів, оцінювати динаміку забруднення навколишнього середовища й оперативно реагувати на критичні ситуації.

Інформаційна система екологічного моніторингу (СЕМ) орієнтована на комплексну інтеграцію даних з різних джерел — дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), безпілотних літальних апаратів (БПЛА), сенсорних мереж, лабораторних спостережень і польових вимірювань.

Науково-технічна реалізація системи комплексного моніторингу передбачає побудову багаторівневої бази даних, у якій поєднуються:

- просторові шари, створені у середовищі ArcGIS, що відображають розміщення полігонів, гідромережу, транспортні магістралі, санітарно-захисні зони;

- тематичні карти концентрації забруднювальних речовин у повітрі, воді та ґрунті;

- статистичні та медико-екологічні показники населення прилеглих громад.

Центральним завданням системи є оцінка екологічного ризику, який формується під впливом техногенних процесів на полігонах відходів. У ГІС-середовищі реалізується можливість багатошарового аналізу, просторової інтерполяції, побудови цифрових моделей рельєфу та оцінки дренажних потоків, що визначають напрямки міграції поліутантів. На основі цих даних здійснюється класифікація полігонів за рівнем небезпеки, інтенсивністю газоутворення, температурними аномаліями і показниками фільтраційного впливу на ґрунтові води.

Застосування дистанційних технологій забезпечує оперативність збору даних та їх періодичне оновлення. Космічні знімки Sentinel-2 і Landsat 8/9 використовуються для визначення площ активних ділянок, меж рекультивації, виявлення самозаймань і термальних плям. Використання БПЛА дає змогу отримати високодетальні ортофотоплани (з роздільністю 3–5 см/пікс), що дозволяє контролювати висотні зміни мас відходів і точність виконання рекультиваційних робіт.

Інформаційна аналітика системи забезпечує формування прогнозних моделей розвитку екологічної ситуації. За допомогою часових рядів та індексного аналізу визначаються тенденції зміни температури, вологості, газоутворення, а також ризику підтоплення або зсувних процесів. На основі результатів прогнозування створюються інтерактивні карти, які відображають ступінь небезпеки для кожного сміттєзвалища, та розробляються рекомендації для місцевих адміністрацій щодо пріоритетності заходів з утилізації, санації чи закриття полігонів.

Регіональні системи моніторингу інтегруються в єдину екологічну мережу області, яка взаємодіє з державними центрами обробки інформації. Такий підхід забезпечує оперативний обмін даними між громадами, органами екологічного контролю, підприємствами сфери ЖКГ і службами цивільного захисту. На базі створених баз даних реалізується

можливість перспективної екологічної оптимізації територій: прогнозується навантаження на природні ресурси, визначаються найбільш вразливі ділянки та плануються природоохоронні заходи.

Для підвищення ефективності управління відходами в територіальних громадах необхідно розробити схеми санітарного очищення, що враховують маршрути транспортування, місця розміщення контейнерних майданчиків і оптимізацію логістики. Важливо створювати цифрові паспорти полігонів, які містять геометричні параметри, тип відходів, період експлуатації, стан гідроізоляції, наявність дренажних систем і результати екологічного моніторингу. Це дозволить підвищити контроль за дотриманням норм безпеки та забезпечити прозорість роботи підприємств з управління відходами.

Аналіз динаміки концентрації органічних екотоксикантів в поверхневій воді річки Дніпро

Горбань М.В. *

**Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, mygorban_27@ukr.net*

Річка Дніпро – третя за довжиною в Європі та найбільша в Україні, простягається на понад 2200 км та охоплює водозбірну площу понад 500 тис. км². Протікаючи територією десяти областей, р. Дніпро забезпечує водою мільйони людей, слугує джерелом зрошення сільськогосподарських угідь, відіграє важливу роль у функціонуванні промислових підприємств, а також використовується для виробництва електроенергії на каскаді гідроелектростанцій. Крім того, вона має значення як транспортна артерія та важливий рекреаційний ресурс.

Однак інтенсивне антропогенне навантаження, зокрема, скиди побутових, промислових та сільськогосподарських стічних вод, призводить до забруднення поверхневих вод р. Дніпро, в тому числі, органічними екотоксикантами. Ці речовини, зокрема, пестициди, нафтопродукти, феноли та інші сполуки, можуть чинити вагомий вплив на водні екосистеми, накопичуватись у трофічних ланцюгах та створювати загрозу для здоров'я людини.

У цьому контексті вивчення динаміки концентрації органічних екотоксикантів у воді р. Дніпро набуває особливої актуальності. Такий ана-

ліз дозволяє не лише оцінити екологічний стан річки, а й розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо її охорони та раціонального використання.

Хлорорганічні пестициди (ХОП), поліхлоровані біфеніли (ПХБ) та поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ) вважаються одними з найбільш небезпечних органічних екотоксикантів через поєднання їх токсичності, стійкості у довкіллі та здатності до біоаккумуляції та біомагніфікації. Їх присутність у воді свідчить про загрозу не лише для біоти, а й для здоров'я людей, особливо в регіонах, де вода використовується для питного водопостачання. Протягом останніх десятиліть виконано ряд комплексних досліджень по моніторингу ХОП, ПХБ та ПАВ в об'єктах водних систем України, зокрема р. Дніпро [1, 2].

Метою цього дослідження є комплексний аналіз динаміки сумарної концентрації ХОП, ПХБ та ПАВ у поверхневій воді р. Дніпро на основі даних, отриманих за період з 1991 по 2021 роки.

Протягом 1994–2021 рр. у поверхневій воді р. Дніпро спостерігалось незначне зростання вмісту ХОП у воді (рис. 1а). Загальна концентрація ХОП (α -, β -, γ -ГХЦГ, 4,4'-ДДЕ, 4,4'-ДДД, 4,4'-ДДТ, гептахлор, альдрин, ГХБ) знаходилася в межах від 6,1 до 20,8 нг/дм^3 . Середня концентрація становила $12,19 \pm 4,73 \text{ нг/дм}^3$.

Відомо, що 4,4'-ДДТ поступово перетворюється в 4,4- ДДЕ в аеробних і в 4,4-ДДД в анаеробних умовах. Звідси випливає, що за маркерним співвідношенням $(C_{4,4\text{-ДДД}} + C_{4,4\text{-ДДЕ}}) / C_{4,4\text{-ДДТ}}$ можливо оцінити час надходження пестициду в природне середовище. Вважається, що значення $> 0,5$ свідчить про давнє використання ДДТ, а співвідношення $< 0,5$ – про свіжу емісію.

Для р. Дніпро співвідношення $(C_{4,4\text{-ДДД}} + C_{4,4\text{-ДДЕ}}) / C_{4,4\text{-ДДТ}}$ складало 0,92. Таке значення свідчить про помірний рівень деградації ДДТ в навколишньому середовищі, тобто, пестицид вже почав розкладатися, але ще не досягнув остаточної фази розпаду, що характерно для старих забруднень.

Технічний ГХЦГ містить 60–70 % α -ГХЦГ, 5–12 % β -ГХЦГ, 10–12 % γ -ГХЦГ і 6–10 % δ -ГХЦГ. Його використання було заборонене достатньо давно (70–80 роки ХХ сторіччя). Ліндан (99 % γ -ГХЦГ) широко використовувався до початку 2000-их років, а в деяких країнах застосовується до сьогодні. Високе співвідношення $C_{\alpha\text{-ГХЦГ}} / C_{\gamma\text{-ГХЦГ}} (> 4)$ свідчить про емісію технічного ГХЦГ, низьке (< 4) – про емісію ліндану. Найбільш стійким в ізомером є β -ГХЦГ, тому, його висока концентрація по зрівнянню з α - і γ -ізомерами вказує на давню емісію пестициду. Якщо $C_{\beta\text{-ГХЦГ}} / (C_{\alpha\text{-ГХЦГ}} + C_{\gamma\text{-ГХЦГ}}) < 0,5$, то емісія відбулася нещодавно.

Для р. Дніпро співвідношення $C_{\alpha\text{-ГХЦГ}}/C_{\gamma\text{-ГХЦГ}}$ та $C_{\beta\text{-ГХЦГ}}/(C_{\alpha\text{-ГХЦГ}}+C_{\gamma\text{-ГХЦГ}})$ складали відповідно 1,16 та 11,67. Це означає, що забруднення ГХЦГ пов'язане в основному з використанням ліндану та має історичний характер, оскільки основна маса речовини, що залишилася, – це стійкий β -ізомер, який здатний надовго зберігатися в екосистемі. В цілому, отримані маркерні співвідношення вказують на те, що забруднення р. Дніпро ХОП має переважно історичне походження.

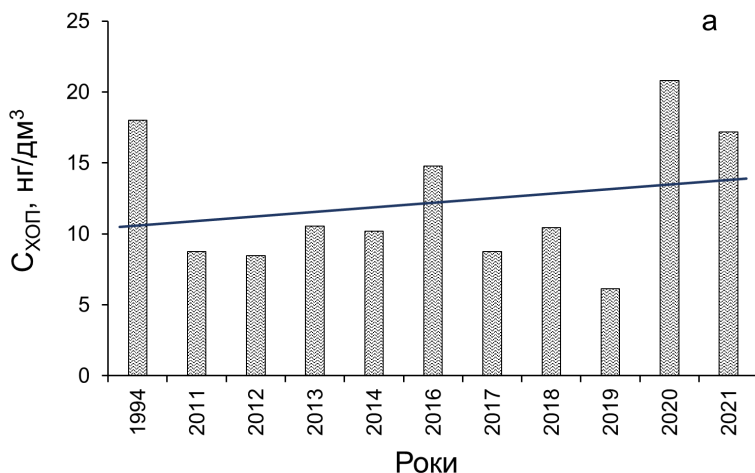
Загальний вміст ПХБ у поверхневій воді р. Дніпро знаходився в межах від 4,8 до 49,6 нг/дм³. Середня концентрація становила 23,13±20,64 нг/дм³. На рис. 16 наведена тенденція, що свідчить про поступове підвищення концентрації ПХБ у воді р. Дніпро. Зростання рівнів вмісту ПХБ можна пояснити їх надходженням у довкілля разом з трансформаторними і конденсаторними рідинами та транскордонним перенесенням. В наш час використання ПХБ у електричних приладах є суттєвим джерелом забруднення навколишнього середовища України. Емісія ПХБ відбувається на території всієї України і викликає підвищення їх концентрації у водних системах.

Виконано аналіз ізомерно-специфічного складу ПХБ та встановлено, що у воді р. Дніпро переважали конгенери з числом атомів хлору від 4 до 6. На їх частку припадало більше 80 % від суми. Це пояснюється тим, що в промисловості використовували суміші ПХБ, де домінували конгенери з числом хлору, близьким до цього діапазону, оскільки вони мали оптимальні характеристики для електричних трансформаторів і конденсаторів.

Загальна концентрація ПАВ у поверхневій воді р. Дніпро знаходилася в межах від 11,1 до 303,9 нг/дм³ (в середньому – 181,76±111,42 нг/дм³). Внаслідок того, що у 2010 р., 2011 р., 2014 р. відбір зразків відбувався в сухий період, рівні вмісту ПАВ були аномально низькими (< 25 нг/дм³). За виключенням цих років, середня сума ПАВ складала 243,22±43,37 нг/дм³. Протягом досліджуваного періоду спостерігалось стабільне зростання вмісту ПАВ (рис. 1в), що можна пояснити інтенсифікацією дорожнього руху, діяльністю промислових підприємств, теплових електростанцій, автозаправних станцій та нафтобаз тощо. Також могла вплинути низка техногенних катастроф, пов'язаних з масштабними вибухами боеприпасів на території України, що сталися між 2003 та 2022 роками. Якщо вищезазначена тенденція збережеться, загальний рівень ПАВ становитиме приблизно 425 нг/дм³ у 2027 р. та перевищить 500 нг/дм³ у 2030 р. Якщо не враховувати аномальні значення 2010, 2011 та 2014 років, тенденція є більш поступовою, і прогнозовані значення становитимуть 321,60 та 345,12 нг/дм³ для 2027 та 2030 років відповідно.

У воді р. Дніпро переважають легкі дво- – чотирициклічні ПАВ, які характеризуються вищою розчинністю у воді та є менш токсичними сполуками. Їх частка становить 79,20 %. У більшості проб води найвищі концентрації були визначені для нафталіну, фенантрени та флуорантену. Найбільш токсичні та канцерогенні ПАВ, зокрема бензо(а)пірен і дибензо(а, h)антрацен, були виявлені у воді в дуже низьких концентраціях. Їх сумарна частка не перевищувала 2 %. Загалом частка всіх сполук, які класифікуються як канцерогенні за стандартами Агентства з охорони навколишнього середовища США (US EPA), становила 15,42 %, що також не є критичним показником. Наведені дані вказують на переважання менш токсичних ПАВ, що свідчить про певну екологічну стабільність, хоча наявність канцерогенних речовин потребує подальшого спостереження та контролю.

Виконаний аналіз свідчить про зростаючу концентрацію органічних екотоксикантів у водах річки Дніпро. Серед досліджених органічних екотоксикантів найінтенсивніше зростання концентрацій зафіксовано для ПХБ та ПАВ. Це створює суттєву екологічну загрозу для водних екосистем, спричиняє ризики біоаккумуляції токсичних речовин у трофічних ланцюгах та може негативно впливати на здоров'я людини. Така ситуація вказує на необхідність проведення моніторингу органічних екотоксикантів та вимагає розробки ефективних заходів щодо зменшення антропогенного навантаження на водні ресурси.



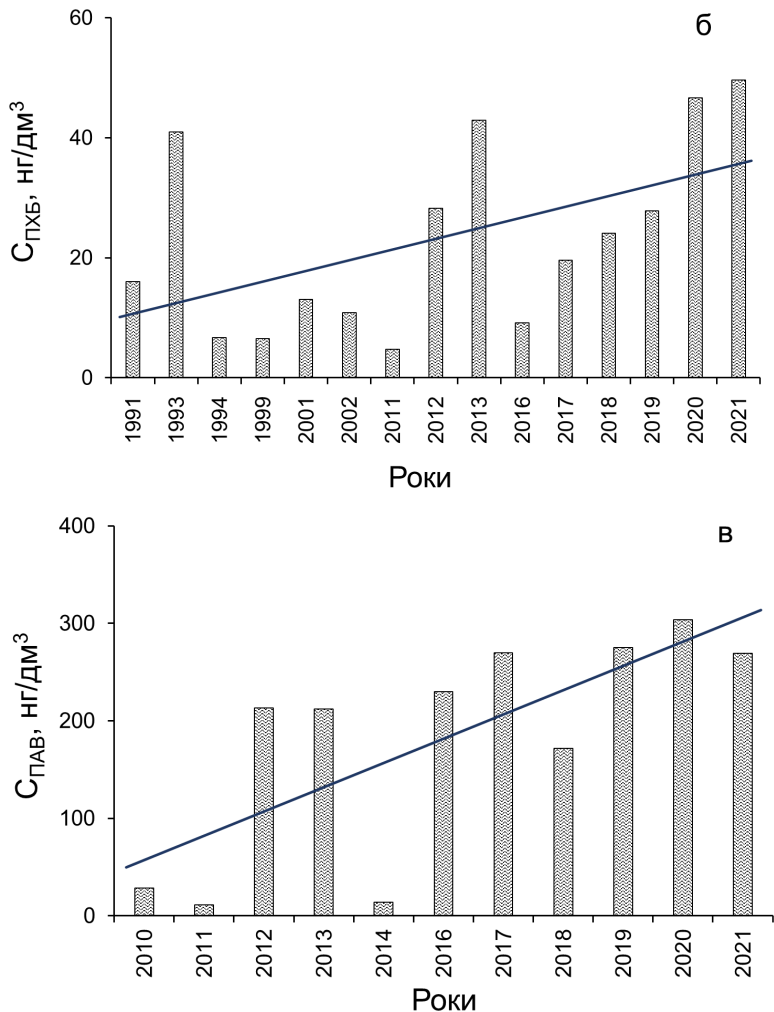


Рис. 1. Динаміка сумарних концентрацій ХОП (а), ПХБ (б) та ПАВ (в) у поверхневій воді р. Дніпро

Список використаних джерел:

1. Milyukin M.V., Gorban M.V., Skrynnyk M.M. Monitoring and distribution of organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls and polycy-

- clic aromatic hydrocarbons in surface river water and suspended particulate matter // Methods Objects Chem. Anal. – 14. – № 3. – 2019. – P. 117–129. <https://doi.org/10.17721/moca.2019.117-129>
2. Milyukin M.V., Gorban M.V. Concentrations of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in surface water of the Dnieper River // Methods Objects Chem. Anal. – 19. – № 4. – 2034. – P. 241–249. <https://doi.org/10.17721/moca.2024.241-249>

Супутниковий моніторинг динаміки зважених речовин у дельті Дунаю в контексті міжнародних і національних спостережень

**Трофимчук О.М.¹, Сломчинська Н.В.¹,
Клочко Т.О.², Васенко О.Г.³**

¹*Інститут телекомунікацій та глобального інформаційного простору
НАНУ*

²*Національний аерокосмічний університет «ХАІ»*

³*Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»
t.klochko@khai.edu*

Моніторинг стану вод та екосистем басейну Дунаю здійснюється в рамках транснаціональних ініціатив під координацією Міжнародної комісії з охорони р. Дунай (ICPDR).

Основними механізмами є:

- TransNational Monitoring Network (TNMN) — система регулярного збору та аналізу даних про якість води, довгострокові тренди та навантаження забруднювачів у басейні.
- Joint Danube Survey (JDS) — масштабні міжнародні експедиції-опитування, що забезпечують порівнянні дані по всій довжині річки, включно з дельтою.
- Регіональні наукові ініціативи, які реалізуються за участю Danube Delta National Institute for Research and Development (DDNI, Румунія) та українських установ.

Дельта також охоплена міжнародними програмами охорони природи (UNESCO MAB, Ramsar, Natura 2000), що сприяють інтегрованому моніторингу природних ресурсів.

Спостереження за довкіллям частини дельти Дунаю проводяться згідно:

- Міжнародної програми Danube Delta Integrated Monitoring

(UNEP, ICPDR);

- Національної системи моніторингу поверхневих вод України (Держводагентство, Укргідрометцентр, УкрНДІЕП).

Дельта Дунаю є динамічною геосистемою, де поєднуються флювіальні та морські процеси, що зумовлюють постійні зміни гідрологічного режиму, розподілу наносів і якості води. Супутниковий моніторинг у поєднанні з ГІС-аналізом і національними польовими спостереженнями розподілу зважених речовин дає надійний інструмент для оцінки динаміки зважених речовин у дельтових системах. Концентрація зважених речовин є ключовим параметром для оцінки якості води, гідродинаміки та екосистемних процесів.

Дистанційні (супутникові) методи вимірювання базуються на залежності між спектральним відбиттям поверхні води та концентрацією зважених частинок. Супутникові сенсори фіксують зміни відбиття у червоному та ближньому інфрачервоному діапазонах ($\approx 665\text{--}865\text{ нм}$), що дає змогу оцінювати концентрацію завислих речовин. Переваги: висока просторово-часова роздільність, можливість моніторингу великих акваторій, визначення зон надходження наносів. Недоліки: потреба в атмосферній корекції, калібрування за польовими даними, залежність від хмарності.

На основі інтегрованого аналізу просторово-часової динаміки зважених речовин у дельті Дунаю та прибережній акваторії Чорного моря із застосуванням супутникових знімків Landsat 8/9 у поєднанні з польовими спостереженнями та даними державного і міжнародного моніторингу виявлено просторові відмінності у розподілі зважених речовин у дельті Дунаю.

Найвищі концентрації спостерігаються навесні — під час паводків, коли підвищується стік наносів, особливо у Кілійському та Очаківському рукавах.

У прибережній зоні Чорного моря формується шлейф мутної води, який простягається вздовж узбережжя на схід від гирла, що свідчить про вплив річкових виносів.

Отримані результати дозволяють відстежувати сезонні та міжрічні зміни мутності води, виявляти зони акумуляції наносів і формування шлейфів мутності у прибережній зоні. Узгодження даних дистанційного та контактного моніторингу забезпечує валідацію супутникових алгоритмів і підвищує достовірність оцінок екологічного стану дельтової системи.

Подальші дослідження направлені на поєднання польових вимірювань і супутникового аналізу для створення регіональної моделі.

Список використаних джерел:

1. ICPDR. TransNational Monitoring Network (TNMN) Reports.
2. Joint Danube Survey Reports (JDS1–JDS4).
3. Danube Delta National Institute for Research and Development. Annual Monitoring Reports.
4. Nechad B., et al. (2010). Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of turbidity in coastal waters.
5. Васенко О.Г., Клочко Т.О. та ін. (2023). Результати комплексного екологічного моніторингу довкілля української частини дельти Дунаю у 2022 році. Екологічні науки: науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – К. : Видавничий дім «Гельветика», 2023. – № 6(51).С.68-72

Екологічна оцінка впливу війн на стан поверхневих вод Півдня України

**Горошкова Л.А., Меньшов О.І., Зайцев В.М., Голуб О.А.,
Триснюк В.М., Архипова Л.М., Горошков С.В., Корнійчук Ю.Д.**
*Національний університет «Києво-Могилянська академія», м. Київ,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННІ «Ін-
ститут Геології», м. Київ
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
НАН України, м. Київ,
Івано-Франківський національний університет нафти і газу, м. Івано-
Франківськ
Харківський національний університет ім. В.Н.Каразіна
E - mail: goroshkova69@gmail.com*

Проведене дослідження впливу антропогенних факторів (в т.ч. війни) на стан поверхневих вод Півдня України на прикладі річок Жніпро, Дунай та Південний Буг. Окрема увага приділена дослідженню озер о. Хортиця та впливу на їх стан підру греблі Каховської ГЕС.

В роботі був проведений аналіз впливу антропогенного навантаження на стан поверхневих вод у р. Дніпро у м. Запоріжжя, річки Дунай та Південний Буг. Дослідження охоплювали період 2013 – 2024 рр. і були проведені в контексті таких показників: фосфат-іони, амоній-іони, сульфат-іони, хлорид-іони, БСК5 та кисень розчинений.

Встановлено, що основне антропогенне навантаження на р. Дніпро створює промисловість, сільське господарство та комунальні підприємства. Оцінені також наслідки війни, а саме руйнування греблі Каховської ГЕС (знищенням Каховського водосховища) та припинення діяльності Дніпровської ГЕС.

Встановлено основні екологічні проблеми нижньої течії річки Дунай: органічне та мінеральне забруднення, евтрофікація, зниження кисневого режиму, гідроморфологічні зміни, а також загрози від збройного конфлікту. Попри це, річка зберігає здатність до часткового самовідновлення, особливо за умов зниження антропогенного навантаження. Відновлення екологічної рівноваги потребує впровадження системного моніторингу, модернізації очисних споруд, управління джерелами забруднення та активної участі України в міжнародних механізмах екологічного регулювання, таких як Дунайська комісія. Результати моделювання можуть бути використані для прогнозування стану водного середовища в умовах як мирного розвитку, так і повоєнного відновлення.

В роботі була проведена оцінка зміни природних та штучних комплексів острова Хортиця, що входить до складу Національного заповідника «Хортиця» шляхом аналізу магнітних властивостей та визначення вмісту небезпечних хімічних сполук (зокрема важких металів) у донних відкладеннях осушених озер, що утворилися після підриву Каховської греблі, а також ґрунтовому покриві.

Було проведено дослідження донних відкладень озер Кам'яне, Прогній, Рисове та Піщане, а також ґрунтового покриву лісової ділянки. Виявлено високу магнітну сприйнятливість. У більшості точок спостереження зафіксовані досить високі значення $\chi = 50\text{--}100 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, тоді як окремі зразки демонструють ще вищі показники ($\chi = 100\text{--}300 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$). Такі значення можуть бути пов'язані як із техногенним забрудненням, так і з літогенним походженням магнітних мінералів, що надходять із виходів кристалічного фундаменту в околицях Хортиці. Крім того, підвищена магнітна сприйнятливість зафіксована у піщаних ґрунтах змішаного лісу. Значуща кореляція магнітної сприйнятливості виявлена лише для хрому (коефіцієнт кореляції $-0,4$). Водночас встановлено перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) важких металів: свинцю у 2–8 разів, цинку у 2–10 разів, хрому у 20–50 разів, міді у 10–20 разів, нікелю у 5–20 разів, кобальту у 5–8 разів. В подальшому, кластеризація усіх видових ділянок острова (лісів, луків, прибережних зон, техногенних територій та гідрологічних об'єктів) за магнітними та іншими фізико-хімічними показниками ґрунтів дозволить визначити масштаби та характер змін екосистеми.

Картографування та прогноз розвитку екзогенних геологічних процесів в осушеному ложі Каховського водосховища за дистанційними даними

Ліщенко Л.П., Городнянська І.О.

Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАНУ

Техногенна катастрофа, що відбулась внаслідок підриву дамби Каховського водосховища та швидкого осушення його ложа, викликала масштабні зміни в подальших умовах існування та розвитку цієї території. Різке падіння рівня води викликало зниження базису ерозії та рівня ґрунтових вод (РГВ). При формуванні нових екотопів та ландшафтного різноманіття в осушеному ложі водосховища та його бортах постає питання зміни напрямку дії екзогенних геологічних процесів (ЕГП) та їх локалізації на певних ділянках з більшою детальністю.

За історичними картами, архівними аерофотознімками та детальними топокартами нами проаналізований стан берегів цієї ділянки Дніпра та її долини до затоплення, під час існування водосховища, а також осушення ложа. Впродовж часу існування водосховища (1956-2023 роки) через підняття рівня води, а отже і базису ерозії на 12-16 м виникла низка ЕГП обумовлена як абразією, так і підтопленням. Вони диференціювалися вздовж берегової лінії та мали різні стадії активності, які залежали від геологічної будови і рельєфу, в яких створювалось водосховище. З тектонічною позицією водосховища значною мірою пов'язана динаміка ЕГП, які обумовили формування наступних видів берегів: абразійно-денудаційних, абразійно-обвальних-осипних, абразійно-зсувних, ерозійних, акумулятивних або понижених підтоплених заболочених ділянок. Вплив сучасного тектогенезу та неотектонічних зон в повній мірі відповідав характеру берегів, а нині і топологічній структурі осушеного ложа, розподілу води, рослинності та напрямку дії ЕГП в ньому. Тому детальне неотектонічне районування цієї території з врахуванням аналізу історичних та сучасних супутникових даних є необхідною умовою у прогнозі НГП.

Під час функціонування водосховища активізувалися схилі процеси, гравітаційні (переважно зсуви, обвали) та абразія. Утворилось значне підтоплення гирлових ділянок рік і балок, що відкривалися у водосховищі, підтоплення прибережних ділянок та марганцевих кар'єрів. Велись інтенсивні роботи по берегоукріпленню і облаштуванню захисних дамб. Ці явища добре простежувалися за супутниковими знімками високого просторового розрізнення та підтверджувались існуючою та

на той час фотофіксацією в результаті чого нами складена карта небезпечних геологічних процесів, що мали місце під час існування водосховища.

Після осушення ложа водосховища відбувається перебудова і часткова зміна направленості екзогенних геологічних процесів підсиленних глобальними змінами клімату. За локалізацією ці процеси можна поділити на дві групи: схилів (в бортах водосховища та долини Дніпра) та донні, що починають розвиватися на осушеній поверхні ложа водосховища.

У субширотній частині водосховища на Лівобережжі –переважали алювіальні піщані тераси, частково корінний берег з відслоненням і розмивом неоген-антропогенового комплексу порід – суглинки, прошарки глини, піску, тому часто зсувонебезпечні. На колишніх зсувних ділянках схилів через зменшення водонасичення водовмісних шарів, по яким відбувалось ковзання зсуви заміняться обвалами та осипами (на лівобережжі це район сіл Велика і Мала Лепетиха, Маячка, Ушкалка, Мамай гора, Нижній Рогачик) Правобережний корінний схил був сильно ускладнений балками та ярами і його геологічна будова сприяла розмиву та зсуванню в межах ділянок сіл Біленьке, Добра Надія, Вищетарасівка. Іллінка, наразі там будуть активізуватися ерозійні процеси. На схилах нижнього субмеридіального відтинку водосховища абразії піддавались переважно глинисті і вапняково-ракушнякові породи неогену, тому активізація ерозійних процесів буде меншою з переважанням площинної та активізацією обвалів. Проте в присхилових поверхнях вододілів глибинна і бокова ерозія посиляться.

У північно-східній частині субширотного відтинку водосховища (Великий Луг), там де були піщані кучугури, відновлюються великі ділянки з піщаним та детритовим покривом, які при аридизації під час еолового переміщення незакріплених донних відкладів з непокритих рослинністю ділянок ложа, будуть зазнавати вітрової ерозії та дефляції. Тому для окремих ділянок Великого Лугу будуть характерні котловини видування, солові кучугури та пилові бурі. На Лівобережжі, де переважали піщані арени в межах терас Дніпра (с.с. Водяне, Енергодар) також через нестачу вологи посиляться вітрова ерозія, а на лесових терасах – суфозія та просадки. На ділянках підтоплення може частково спостерігатися просідання за рахунок суфозії. Зросте просідання ґрунту під час відтоку води, що відобразиться на стані доріг, дамб вздовж берега (с.с. Червоногригорівка, Мар’ївка). Також утворюються нові форми рельєфу, такі як структурні тераси, конуси виносу, делювіальні шлейфи, нові намиті мілини, коси, банки, замулені або навпаки ревіталізовані меандри і протоки тощо.

Відбуватиметься постійна переробка берегів вздовж русла ріки, замулення або перепоглиблення окремих проток з акумуляцією і переміщенням алювіальних відкладів та формуванням кіс, відмілин, стариць, островів, меандр. Інтенсивність прояву процесів, як правило, регулюється гідрометеорологічними факторами, а необхідною умовою є врахування сучасної геолого-тектонічної будови з детальним її ранжуванням.

Застосування ланцюгів Маркова для екологізації вирощування сільськогосподарських культур

Присянкін Д. І.

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України
e - mail: diprutan@gmail.com*

Проблема екологізації вирощування сільськогосподарських культур є однією із ключових задач у системі програмування урожайності сільськогосподарських культур. Для вирішення цієї задачі пропонується модель у вигляді марковського керованого процесу на кінцевому часовому проміжку, що описує вплив агротехнічних заходів на екологізацію вирощування сільськогосподарських культур. У якості об'єкта управління виступає стан забруднення сільськогосподарських угідь (поля, ділянки), навколишнє середовище поєднує ґрунт, агрокліматичні умови, тощо. До факторів управління належить вибір заходів для зменшення концентрації забруднюючих речовин і управління заходами екологізації, а критеріями переваги при виборі рішень є економічні показники.

Основне завдання – знайти спосіб керування, при якому максимальним є середнє значення (математичне сподівання) оцінки:

$$I(l) = \sum_{t=1}^n q(a_t) + r(x_n)$$

шляху $l = x_0 a_1 x_1 \dots a_n x_n$, або знаходження такого шляху при якому $J(l) = \max_{a_j \in A_j, x_n \in X_n} F(q(a_j), r(x_n))$,

де F – деякий функціонал (цільова функція).

У дискретні моменти часу $t = 1, 2, \dots$ у точці ω_i концентрація речовини, що забруднює екосистему, дорівнює $u_i(t)$.

Тоді, за одиницю часу певна частка забруднювача з пункту ω_i переміститься до пункту ω_j . Величина $p_{ij}(t)$, яка в загальному випадку залежить від погоди, агрокліматичної зони, багатьох інших факторів, набуватиме різних значень для різних часових періодів. У цьому випадку, відповідна математична модель настільки ускладнюється, що практично реалізувати її дуже проблематично. Тому значення $p_{ij}(t)$ вважатимемо фіксованими й незалежними від часу t : $p_{ij}(t) = p_{ij} = \text{const}$. Крім того, має виконуватися умова $\sum_{i=1}^N p_{ij} \leq 1$, яка означає, що в кожному пункті ω_i забруднювач екосистеми може бути розсіяний у навколишньому середовищі або перенесений до пункту ω_j .

Якщо частинка речовини вийде за межі досліджуваної ділянки, назад туди вона вже не повернеться. Нехай, ω_1 — певний пункт, потрапивши в який частинка забруднювача назад до ділянки не повертається.

Тоді, для досліджуваної ділянки із N пунктами, однокрокова матриця ймовірностей переходу набуває вигляду (1):

$$\pi = \begin{matrix} & \begin{matrix} \omega_1 & \omega_2 & \omega_3 & \cdots & \omega_N \end{matrix} \\ \begin{matrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \cdots \\ \omega_N \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & \cdots & p_{2N} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & \cdots & p_{3N} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{N1} & p_{N2} & p_{N3} & \cdots & p_{NN} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

Отже, матриця π описує поглинаючий ланцюг Маркова з N станами (пунктами), де стан ω_1 буде поглинаючим: частинки забруднювача екосистеми, потрапивши до нього, назад у систему не повертаються, а решта станів можуть бути джерелами забруднення від інших джерел.

Якщо, наприклад, стан ω_i є джерелом забруднення, то за певний період часу (через певну кількість кроків) звідти викидається в екосистему $f_i \geq 0$ одиниць забруднювача, а якщо у стані ω_i джерела забруднення немає, то $f_i = 0$.

Потрібно вибрати такі значення f_i , тобто знайти такий вектор

$$\vec{f} = (f_1, f_2, f_3, \dots, f_N),$$

щоб через певний час усі компоненти вектора

$$\vec{u} = (u_1(t), u_2(t), u_3(t), \dots, u_N(t))$$

не перевищували допустимих значень компонентів вектора

$$\vec{q} = (q_1, q_2, q_3, \dots, q_N),$$

тобто $u_i(t) \leq q_i$.

Початкові значення забруднення у розглядуваних станах задамо вектором

$$\vec{m} = (m_1, m_2, m_3, \dots, m_N).$$

Екологічна ситуація досліджуваної ділянки в момент часу t описується векторно-матричним рівнянням

$$\vec{u}(t) = \vec{m}Q^n + \sum_{k=0}^n \vec{f}Q^k. \quad (2)$$

З того, що матриця Q відповідає поглинаючому ланцюгу Маркова, випливає

$$\lim_{t \rightarrow \infty} Q^t = 0,$$

причому

$$\sum_{k=0}^n \vec{f}Q^k = \vec{f} \sum_{k=0}^n Q^k \rightarrow \vec{f}N.$$

Але оскільки $\vec{m}Q^n \rightarrow 0$, а $\vec{f} \sum_{k=0}^n Q^k \rightarrow \vec{f}N$, то з достатньою для практики точністю за великих значень t з урахуванням співвідношення

$$\vec{u}(t) = \vec{f}N \quad (3)$$

отже, допустимі значення рівнів забрудненості прийнятні за умови

$$\vec{f}N \leq \vec{q}. \quad (4)$$

Проблемним питанням є завдання розподілу ймовірностей. Їх можна задавати експертним методом, а можна і обчислювати методами планування експериментів, проводити, наприклад, оцінку параметрів чинників, що збільшують навантаження на екосистему, в тому числі і за використання космічних знімків, результатів польових дослідів або інших засобів тест-аналізу. На підставі отриманої інформації будуються чи уточнюються розподіли цих параметрів. Динамічне програмування можна використовувати у випадку, коли процес заданий на нескінченному інтервалі (модель зміни впливу навантаження на екосистему на декілька років).

Отже, перевагами використання моделей, що ґрунтуються на теорії ланцюгів Маркова є можливість урахування екологічних факторів у процесі вирощування сільськогосподарських культур, зокрема, дослідити як економічний ефект від зростання урожайності, так і зростання навантаження на екосистему.

Моніторинг наслідків бойових дій для ґрунтів України: дистанційне зондування та правова оцінка

**Клименко В.І.¹, Шевякіна Н.А.¹,
Вишняков В.Ю.², Клименко Є.А.³**

*¹Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
НАНУ*

²Національний університет оборони України

*³Київський кооперативний інститут бізнесу і права
klimenko_vika@ukr.net*

Природні території, що підлягають охороні, відіграють ключову роль у збереженні та відновленні біорізноманіття, зокрема ендемічних та рідкісних видів, занесених до національних та міжнародних Червоних книг. Їх функціонування регулюється спеціальним правовим та екологічним режимом, спрямованим на забезпечення екологічного балансу, захист природних ресурсів та виконання міжнародних екологічних зобов'язань України. Однак війна значно підриває ці механізми, завдаючи довгострокової, а в деяких випадках і незворотної, шкоди екосистемам та порушуючи норми міжнародного екологічного та гуманітарного права.

Дослідження присвячене оцінці деградації навколишнього середовища в одному з природних заповідників, розташованих у зоні активних бойових дій у Херсонській та Миколаївській областях – регіонах, які значно постраждали від військових дій з початку повномасштабного російського вторгнення у лютому 2022 року. Протягом року (лютий 2022 – лютий 2023) було проведено кількісну оцінку впливу бойових дій на поверхневий шар ґрунту та пов'язані з ним екологічні структури.

За допомогою супутникових технологій дистанційного зондування та геопросторового аналізу було виявлено та нанесено на карту порушені ділянки заповідної території. Отримані дані свідчать про те, що понад 2100 гектарів поверхневого шару ґрунту зазнали значних змін або повного знищення в результаті прямої військової діяльності – обстрілів, будівництва укріплень, переміщення важкої техніки. Також було зафіксовано вторинні впливи на навколишнє середовище: втрату рослинності, ерозію ґрунту, лісові пожежі та зміни гідрологічного режиму.

Результати підтверджують важливість використання технологій дистанційного зондування для документування порушень навколишнього середовища та підкреслюють необхідність правового розуміння таких

фактів у контексті компенсації за шкоду навколишньому середовищу та відповідальності за порушення міжнародного права. Зібрані дані можуть слугувати доказовою базою для правової оцінки шкоди навколишньому середовищу, розробки політики екологічного відновлення та вдосконалення правових механізмів захисту охоронних територій у зонах бойових дій.

Список використаних джерел:

1. Trofymchuk O., Vishnyakov V., Sheviakina N., Klymenko V., Tomchenko O. Detection of thermal anomalies as a result of military action in Ukraine by remote sensing methods: SGEM, Vol. 22, Iss. 2.1, 2022.
2. Yusupujiang Aimaiti, Christina Sanon, Magaly Koch, Laurie G. Baise and Babak Moaveni. War Related Building Damage Assessment in Kyiv, Ukraine, Using Sentinel-1 Radar and Sentinel-2 Optical Images. Remote Sens. 14(24), 6239, 2022.
3. Overview ESA Sentinel Online.
<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/overview>

Оцінка екологічного стану ґрунтів сільськогосподарських угідь за впливу військових дій

Хижняк С.В., Коверсун І.В., Войціцький В. М.

Національний університет біоресурсів і природокористування України, E- mail: khs2014@ukr.net

Екологічні наслідки військових дій в Україні внаслідок широкомасштабної російської агресії матимуть не лише локальний характер, оскільки забруднені значні території, зокрема ґрунти, басейни річок та озер. Як встановила у 2022 році Комісія з міжнародного права ООН, руйнування довкілля – це воєнний злочин (екоцид). Безпечне та якісне життя та здоров'я людини, у значній мірі, залежить від стану довкілля, зокрема, сільськогосподарських угідь та водних ресурсів. Забрудненню внаслідок воєнних дій піддаються, перш за все, агроєкосистеми, що створює можливість потрапляння забрудників до с.г. продукції.

Об'єктивна та повна оцінка екологічного стану екосистем, зокрема агроєкосистем, можлива за умови поєднання фізико-хімічних методів

аналізу та методів біоіндикації і біотестування. При моніторингових дослідженнях важливе дотримання принципу простоти аналізу: використання простих тестів, які дозволяють швидко оцінити екологічний стан великих територій при малих ресурсних затратах. Перспективним напрямом у системі екомоніторингу є застосування різномісних біоіндикаторів. Екотоксикологічна характеристика ґрунтів визначається внаслідок проведення біотестування: комплексного дослідження токсичності для спільнот ґрунтових тварин та рослин, враховуючи їх відмінність в чутливості до дії токсикантів. Зазвичай такі дослідження охоплюють дослідження на гостру та хронічну токсичність. Якщо виявлено гостру токсичність, інші дослідження можна не виконувати. Додатково до токсичного потенціалу необхідно оцінювати генотоксичний потенціал, оскільки генотоксичні впливи можуть бути набагато нижчі від рівнів порогу токсичності.

Ґрунтова фауна – важливий фактор ґрунтоутворення, що впливає на властивості ґрунту, включаючи його родючість. Особливості ґрунтів різних типів та відмінності в їх родючості багато в чому визначаються специфікою ґрунтових мікроорганізмів та мікробіологічних процесів у ґрунті. Ґрунтові мікроорганізми різноманітні за складом та біологічною діяльністю, враховуючи це, узагальнюючі показники їх активності наступні: визначення біомаси ґрунтових мікроорганізмів; визначення активності ґрунтової мікрофлори щодо трансформації карбону та нітрогену. Чутливими індикаторами змін екологічного стану середовища існування є ґрунтові черви, які відіграють важливу роль у ґрунтоутворюючих процесах, що дозволяє використовувати їх у якості тест-об'єктів при проведенні біотестування. Типовими представниками ґрунтової макрофауни є дрібні гризуни, яких використовують при оцінці токсичності ґрунтів. Крім того, при оцінці забруднення агрофітоценозів важливим етапом є дослідження проростання та росту вищих рослин, що використовуються у сільськогосподарській практиці, за показником фітотоксичності. Таким чином, дослідження щодо екотоксичності, об'єднані у групи повинні забезпечувати: чутливість; практичність; стандартизовані процедури; високу ефективність витрат.

Проведення інтегральної оцінки екологічної токсичності та небезпеки забрудників для об'єктів агроєкосистеми внаслідок воєнних дій сприяє ціленаправленому підбору процедур по відновленню родючості ґрунтів.

Явище «життя» та його генетично детерміновані межі

¹ Войціцький В.М., ² Жирнов В.В.

¹ Національний університет «Києво-Могилянська академія»,

E - mail: VolodymyrV1950@gmail.com;

² Інститут біоорганічної хімії і нафтохімії ім. В.П. Кухаря

НАН України,

E - mail: vic@bpcl.kiev.ua

Життя – це особлива форма організації та існування матерії. За прийнятим визначенням «живі тіла, що існують на Землі, становлять собою відкриті, сморегулюючі та самовідтворюючі системи, які побудовані з біополімерів, мають білково-нуклеїнову основу». До цього доцільно додати, що феномену «життя» характерні самоорганізованість, самозбереженість, багаторівневність, цілеспрямованість, а також притаманні метаболізм, гомеостаз, дискретність, адаптація, збереження і передавання спадкової інформації розвитку собі подібних в процесі розмноження, еволюція, генерування, сприйняття, обробка і обмін інформацією, ряд фізіологічних процесів (ріст, розвиток, харчування, травлення, виділення, дихання, подразливість, збудливість тощо), можливо ще щось, яке поки не визначено.

Життя у всіх своїх проявах (від біологічних до соціальних) знаходиться в діалектичній єдності зі своєю протилежністю – смертю, а саме загибеллю організму (індивідуального носія життя) в результаті деструктивних незворотніх змін. Кожному живому організму притаманний життєвий цикл – час, протягом якого організм живе за сприятливих умов при відсутності передчасної (патологічної) смерті. На початковій стадії свого життя організм росте і розвивається, потім відносно довгий час здатний розмножуватися, поступово старіє і вмирає.

Біологічне значення природної (фізіологічної) смерті, яка детермінована генетично, очевидна – без змін поколінь еволюція була би неможлива. Термін генетично детермінованої тривалості життя різноманітних організмів коливається в широких межах. Так, на даний час вважається, що найкоротша тривалість життя серед усіх видів одноклітинних тварин (мух) *Polania americana*. Дорослі самці живуть максимально 1 год, а самки – 5 год, але цього вистачає на відкладання запліднених яєць (одна самка може відкладати до 10 тис. яєць). Дорослі комахи не мають травної системи, а живуть за рахунок ресурсів, які були накопичені в стадії личинки, що триває до 2-х років. Серед хребетних найкоротше життя мають риби *Eviota sigillata*, які живуть приблизно 2 місяці: у ви-

гляді личинки протягом 3-х тижнів, 1 – 2 тижні їм потрібно для досягнення стадії дорослої особини, а у вигляді повноцінної (дорослої) особини – 3 тижні.

Найбільш довгоживучою рослиною є морська водорість посідонія, зокрема *Posidonia oceanica*, найпоширеніша водорість у Середземному морі. Вона росте щільно на глибині до 30 м, її зарості можуть простягатися на сотні кілометрів у довжину, а вік може досягати не менше 200 тис. років. Самим старим деревом нашої планети, вік якого на момент дослідження був 4850 років є остиста міжгірська сосна (*Pinus longaeva*). Існують також інші рослини-довгожителі. Це, зокрема, секвоя вічнозелена (*Sequoia seprezvirens*), вік якої за сприятливих умов досягає 4000 років, гінго дволопатеве (*Ginkgo biloba*), вік якого може досягати 3000 років та ряд інших дерев.

Вже більше 30 років існує гіпотеза про безсмертя за сприятливих умов певних дерев, особливо хвойних і гінго дволопатевих, які найретельніше досліджувалися: в них відсутнє генетично запрограмоване старіння меристеми – твірної тканини рослин, з якої утворюються всі інші тканини. Це добре узгоджується при порівнянні меристеми зовсім молодих дерев зі старшими. В основному, як вважається, дерева гинуть внаслідок негативного впливу низки біотичних чинників (паразити, хвороби, рослини-конкуренти та ін.), а також абіотичних (зміна клімату, вплив токсичних речовин, пожежі тощо). Реальне безсмертя деяких дерев, все ж таки, мало вірогідне. Рослини не єдині довгоживучі організми. Так, виявлена колонія грибів опеньок осінній (*Armillaria ostoyae*), вік якої не менше 2500 років.

На даний час за сприятливих умов безсмертною (хоча деякі вчені ставлять це під сумнів) можна вважати медузу *T. nutricula*. Цей представник кишковопорожнинних (розмір 3 – 5 мм) мешкає в тропічних морях. Коли організм цієї медузи досягає свого старечого віку, вона не вмирає, а знову перетворюється в молоду особину і здатна повторювати цей цикл за сприятливих умов існування (і, звичайно, якщо не стане здобиччю хижака) нескінченно. Організм не народжується, в ньому всі клітини оновлюються, і цей феномен поки що пояснити неможливо. Мабуть цей представник кишковопорожнинних здатний «керувати» своїми генами так, що утворюються нові клітини. До відома: медузи більшості видів після досягнення статевої зрілості приймають участь в репродуктивному циклі і після цього помирають. Тривалість життя більшості видів медуз 2- 6 місяців.

Існує також ще низка організмів-довгожителів, які живуть значно довше, ніж тварини споріднених видів. Так, таким є невеликий (довжина тіла 8 – 10 см, хвоста 3 – 4 см, а вага 30 – 35 г) гризун голий землекоп

(*Heterophalus glaber*), який є підземноживучим ссавцем. Він живе 28 – 30 років, що значно довше, ніж інші гризуни, при цьому тварина не дряхліє, зберігає активність до останнього подиху, а помирає природною смертю від раптової зупинки зношеного серця (так нерідко вмирають люди-довгожителі). Серед ссавців довгожителем вважається також гренландський кит (*Balaena mysticetus*), який здатний жити до 200 років. Також до тварин-довгожителів належать деякі черви, членистоногі, земноводні.

Дослідження тварин-довгожителів дає надію на можливість встановлення механізмів цього явища та їхнього використання для продовження активного життя людей. Старість людей можна загальмувати, але не безмежно. Повернути назад до молодості неможливо, а оскільки це суперечить природі життя - необхідно дати простір і час для молодого і нового. Вже відмічалось, що біологічне значення смерті наступне: без зміни покоління еволюція була би неможливою. Для людини видова межа тривалості життя вважається 120 років, але вже з'явилася низка тверджень, що вона досягає 130 років.

Найстарішою людиною в світі є французенка Жанна Луїза Кальман (21.02.1875– 04.08.1997), яка прожила 122 роки і 164 дні. Серед чоловіків найстаршим верифікованим до цих пір є японець Кімура Дзіроемон (19.04.1897–12.06.2013), який прожив 116 років і 54 доби. Книга рекордів Гіннеса зараз оголосила 112-річного англійця Джона Альфреда Тіннісвуда (народився 26.08.1912) найстаршим чоловіком. Рекордсмен не курить і вживає алкоголь вкрай рідко, особливих дієт не дотримується, але радить усім дотримуватися поміркованості. Найбільша в світі тривалість життя мешканців Японії, яка на початок 2022 р. становила для жінок 88,3 роки, а чоловіків – 81,4 роки. На даний час вже відомо більше 1,5 тис. генів, які визначають старіння людини, що здатні змінювати свою функціональну активність залежно від різних чинників.

За оцінками Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) тривалість життя людини обумовлена наступними чинниками: 50% індивідуальним способом життя, з яких 40% – це харчування і споживання води; 20% станом довкілля (не за аварійних ситуацій); 20% спадковістю; 10% функціонуванням органів охорони здоров'я.

Використання інформаційних технологій та математичних моделей у дослідженні економічних циклів

Горошкова Л.А., Голуб П.

*Національний університет «Києво-Могилянська академія», м. Київ,
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору*

НАН України, м. Київ,

E - mail: goroshkova69@gmail.com

У роботі розглянуто значення та роль інформаційних технологій і математичних моделей у дослідженні економічних циклів. Визначено, що сучасний розвиток цифрових інструментів, систем обробки великих даних (Big Data) та штучного інтелекту створює нові можливості для аналізу макроекономічної динаміки. Особливу увагу приділено застосуванню економіетричних, стохастичних, агент-орієнтованих та динамічних моделей загальної рівноваги (DSGE) для формалізації взаємозв'язків між основними економічними показниками.

Сучасна економіка характеризується високим рівнем динамізму, глобалізаційними процесами та постійними змінами у структурі виробництва, споживання та фінансових потоків. Однією з найважливіших особливостей економічного розвитку залишається циклічність, тобто чергування фаз підйому, спаду, кризи та відновлення. Розуміння закономірностей економічних циклів має велике практичне значення для прогнозування кризових явищ, розроблення ефективної державної політики та забезпечення макроекономічної стабільності.

У зв'язку з цим особливого значення набуває використання сучасних інформаційних технологій та математичних моделей у процесі дослідження економічних циклів. Такі інструменти дозволяють підвищити точність аналізу, скоротити час обробки даних та забезпечити обґрунтованість висновків на основі кількісних методів.

Інформаційні технології (ІТ) сьогодні є невід'ємним елементом економічного аналізу. Вони забезпечують доступ до великих обсягів статистичної, фінансової та соціально-економічної інформації, що надходить із відкритих джерел, баз даних міжнародних організацій (Світового банку, МВФ, Євростату) та національних статистичних служб.

Застосування ІТ у макроекономічних дослідженнях дозволяє: оперативно збирати, структурувати та оновлювати великі масиви даних; використовувати аналітичні платформи (Power BI, Tableau, Excel, Python, R) для побудови інтерактивних моделей і візуалізації циклічних процесів; реалізовувати хмарні обчислення для обробки Big Data у реальному

часі; інтегрувати дані з різних джерел у єдину систему економічного моніторингу.

ІТ також сприяють переходу до інтелектуального аналізу даних (Data Mining) і машинного навчання, що дозволяє виявляти приховані закономірності в економічній динаміці, зокрема циклічні коливання в темпах зростання ВВП, інфляції, зайнятості тощо.

Математичне моделювання є ключовим інструментом кількісного аналізу циклічних процесів. Воно дозволяє формалізувати взаємозв'язки між основними макроекономічними показниками, оцінювати вплив різних факторів на фазу циклу та будувати прогнози розвитку економіки.

До основних підходів моделювання економічних циклів належать такі моделі.

Економетричні моделі, які використовують статистичні залежності між показниками. Наприклад, моделі авторегресії (AR), інтегровані моделі ковзного середнього (ARIMA), VAR-моделі.

Стохастичні та динамічні моделі загальної рівноваги (DSGE), що дозволяють описати макроекономічну систему як результат взаємодії агентів — домогосподарств, підприємств, уряду та зовнішнього сектора.

Агент-орієнтовані моделі, у яких поведінка кожного учасника ринку імітується окремо, що допомагає виявити колективні ефекти та формування циклічних коливань.

Моделі машинного навчання, які виявляють нелінійні зв'язки між змінними і дозволяють здійснювати високоточне прогнозування економічних показників.

Завдяки таким підходам дослідники можуть не лише описувати вже відомі цикли (Кондратьєва, Жугляра, Кітчина тощо), а й визначати нові типи циклічних коливань, характерні для цифрової економіки.

Застосування ІТ і математичного моделювання має практичну цінність для: прогнозування макроекономічної динаміки та виявлення ранніх сигналів рецесії; оцінювання ефективності державної політики, зокрема монетарної та фіскальної; підтримки управлінських рішень у бізнесі, інвестиціях, банківській справі;

Розроблення сценаріїв економічного розвитку з урахуванням можливих зовнішніх шоків (енергетичних, фінансових, технологічних).

Завдяки комп'ютерному моделюванню можливо створювати інтерактивні симуляції, у яких можна перевіряти наслідки зміни ключових параметрів — наприклад, відсоткових ставок, податкового навантаження чи рівня державних витрат — на загальний стан економіки.

Висновки. Використання інформаційних технологій та математичних моделей у дослідженні економічних циклів відкриває нові можливості для розвитку економічної науки. Поєднання великих даних, сучасних алгоритмів та економічної теорії забезпечує більш точне та глибоке розуміння закономірностей економічного розвитку.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на інтеграцію методів штучного інтелекту, нейронних мереж і прогнозової аналітики для підвищення надійності прогнозів та створення адаптивних систем економічного управління, здатних реагувати на циклічні зміни у реальному часі.

Геоінформаційні оцінки регіонального зменшення захисного потенціалу навколишнього природного середовища України внаслідок російської агресії

О.М.Трофимчук, В.М.Триснюк, Є.О.Яковлєв

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору

НАН України

E-mail: itgis@gmail.com

Сучасна екологічна ситуація в Україні за більшістю оцінок провідних фахівців НАН України, навчальних та проектних установ характеризується як кризова, що зумовлено комплексним впливом довгострокового надмірного використання у XX ст. ресурсів навколишнього природного середовища (НПС-земельних, водних, мінерально-сировинних, біотичних). В останні роки відбувається зростаюче руйнування природних і техногенних геосистем (ПТГС) "техногенний комплекс- НПС" внаслідок збройних дій російської агресії, перш за все, артилерійсько-ракетного бомбардування. Крім того, з кінця XXст. посилились негативні впливи глобальних змін клімату (потепління, нерівномірні опади, збільшення частоти і висоти повеней і паводків), які мають геопросторовий, іноді синергетичний вплив на складові та зміни екостану НПС. Внаслідок цього головними засобами екологічного моніторингу стану НПС більшості регіонів України за умови збройних дій російської агресії є технології ДЗЗ (зйомки спектрально-аналітичні, інтерферометрія, математичне моделювання та ін.).

Виконаний фахівцями ІТГП НАН України [1,2] і ін. установ аналіз природно-техногенних і збройних змін екологічних параметрів НПС за-

свідчив, що за сучасних умов значною мірою зростають еколого-техногенні загрози надзвичайних екологічних ситуацій, в т.ч. національного і транскордонного рівня, перш за все в регіонах концентрації численних господарських об'єктів і активних бойових дій (табл.1).

Відповідно результатів попередніх досліджень найбільшою вразливістю артилерійсько- ракетного бомбардування відрізняються території з порушеним станом налр та гідрологічного режиму (ділянки гірничодобувних робіт, підпору водосховищ і і ін.). При цьому за виконаними оцінками верхня зона геологічного середовища є головним «депо» збройних екологічних порушень НПС (до 80%). Внаслідок цього відбувається регіональне просторово-часове зменшення захисного потенціалу НПС, що при сучасному рівні порушень техносфери обумовлює збільшення надзвичайних ситуацій та подальше зростання еколого-техногенних загроз (ЕТЗ) національній безпеці на об'єктовому-територіальному, регіональному та транскордонному рівнях [1-3].

Табл.1. Схематична класифікація регіональних факторів екологічного впливу артилерійсько-ракетних бомбардувань

№	Типи складних ПТГС	Провідні регіональні фактори зменшення захисного потенціалу складних ПТГС
1	Промислово-міські агломерації	Забруднення ландшафтів, приземної атмосфери розвиток зсувних, просадкових і інших геологічних процесів
2	Розвинуті гірничодобувні райони	Осідання поверхні, підтоплення, забруднення ландшафтів, приземної атмосфери, гідросфери
3	Атомно-енергетичні комплекси	Забруднення ландшафтів, розвиток зсувних, просадкових і інших геологічних процесів
4	Тепло-гідроенергетичні комплекси	Забруднення ландшафтів, розвиток підтоплення, просадкових і інших геологічних процесів
5	Нафто-газопроводи	Забруднення ландшафтів, гілросфери

В той же час встановлено, що у початковий період формування ракетно-артилерійських забруднень геохімічних ландшафтів важкими металами їм властива акумулююча у верхньому поверхневому шарі ґрунту, глибиною до 2-15 см. Це за даними багатьох досліджень [2,3] формує високий ризик забруднення поверхневого стоку та харчового ланцюжка, в т.ч. сільгосппродукції. В той же час, попередні оцінки збройного ландшафтно-геохімічного забруднення ландшафтів можуть бути виконані засобами ДЗЗ з урахуванням розподілу вибухових вивертів та змін спектральних та гіпсометричних характеристик земної поверхні [1,2].

За різними оцінками протягом збройних дій на території України використано до 40 млн артилерійських снарядів (до 30млн російською стороною), в т.ч. найбільш масово- калібру 155мм. Кожний 155-мм метровий снаряд, які переважно використовуються під час бойових дій (до 70% російською стороною), вміщує до 7 кілограмів вибухової речовини, а його корпус формує $G=36 \text{ кг}(36 \cdot 10^6 \text{ мг})$ сталених осколків (до 2 тисяч). При цьому важкі метали снарядів (Pb,Cu,As,Hg,Co,Ni та ін.) є токсичними і перешкоджають активності мікрофлори ґрунту, що не тільки зменшує їх родючість та біогеохімічну захисну здатність, а також за даними ДЗЗ змінює спектральні та оптичні параметри ландшафтів. Слід також врахувати, що в екогеохімічному плані токсичність снарядних осколків у ґрунті може зберігатися впродовж десятиліть і навіть століть [3].

Еколого-геохімічна токсичність снарядних осколків підсилюється тим, що протягом довгого часу (до перших 1-2 десятиріч) глибина проникнення важких металів у ґрунт складає 2-5см, проте при сильному забрудненні вони здатні проникати і на глибину 20-160 см.

Вищенаведені геоінформаційні оцінки регіонального зменшення захисного потенціалу ландшафтно-складової навколишнього природного середовища України внаслідок переважно артилерійсько-ракетних обстрілів, незважаючи на їх орієнтовний характер, дозволяють дійти висновку щодо їх небезпечного довгострокового впливу як на екологічні параметри ландшафтів, так і безпеку життєдіяльності населення у більшості регіонів України [1-3].

Список використаних джерел:

1. Трофимчук О.М., Зорін Д.О., Триснюк В.М. Екологічна безпека підтоплених паводками територій. Київ, «Наукова Думка», 2024, 179с.
2. Trofymchuk, O., Anpilova, Y., Yakovlev, Y., Kreta, D., & Shekhunova, S. (2020). Assessment of Solotvyno agglomeration mines flooding impact on water resources with GIS. Monografie-Politechnika Lubelska. Water Supply

and Wastewater Disposal: Designing, Construction, Operation and Monitoring, 315-327.

3. А.Сплодитель, О.Голубцов, С.Чумаченко, Л.Сорокіна. Забруднення земель внаслідок агресії росії проти України. Київ, «Екодія».32с.

Застосування ансамблю нейронних мереж для прогнозування коефіцієнта гідравлічного опору

Ходневич Я.В., Корбутяк В.М.

*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
НАН України, Національний університет водного господарства та
природокористування, E – mail: ya.v.khodnevych@gmail.com,
v.m.korbutiak@nuwm.edu.ua*

Точне прогнозування коефіцієнта гідравлічного опору (коефіцієнта шорсткості Шезі) залишається актуальним завданням у гідротехнічному моделюванні, особливо важливим для оцінки ризиків повеней та пом'якшення їх наслідків, прогнозування загальної та локальної ерозії, управління водними ресурсами тощо [1].

У цьому дослідженні розглядається ансамбль штучних нейронних мереж для випадку прогнозування емпіричного коефіцієнта шорсткості Шезі у відкритих руслах річок на основі обмежених польових даних про їх гідрологічні та гідро-морфологічні характеристики. Ця задача є продовженням досліджень [2, 3] про розробку базової моделі нейронної мережі та її модифікацій для наближеного обчислення коефіцієнта Шезі.

Штучні нейронні мережі (ШНМ) вважаються потужним інструментом для прогнозування емпіричних параметрів математичних моделей, оскільки вони: підходять для інверсійних (обернених) задач та поєднують гнучкість, стійкість до некоректності та неповноти даних, здатність до нелінійного моделювання і адаптивність. При достатній кількості експериментальних даних і належному навчанні ШНМ часто перевершують традиційні емпіричні формули за точністю прогнозу, можуть узагальнювати реальні процеси, адаптуватися до складних умов, не вимагати точного фізичного опису процесу [4-8].

У свою чергу ансамбль нейронних мереж забезпечує вищу точність, надійність та узагальнюваність прогнозу завдяки усередненню результатів кількох незалежних моделей, що зменшує випадкові помилки та ефект перенавчання (overfitting). Теоретичне й експериментальне обгру-

нтування переваг ансамблів нейронних мереж наведено у фундаментальному дослідженні [4]. На основі порівняння кількох окремих нейронних мереж та їх ансамблю (усереднення) показано, що ансамбль завжди мав кращу точність, ніж будь-яка окрема модель. У ряді експериментів покращення становило приблизно $5 \div 20\%$, що згодом підтвердилось для більшості практичних задач, зокрема, в дослідженнях [5, 6]. Ансамблі нейронних мереж успішно застосовуються у гідравліці, гідрології та екологічному моделюванні для прогнозування стоку та рівнів води в річках, оцінки водного балансу, обчислення ключових параметрів якості води, заповнення прогалин у гідрологічних даних тощо [7, 8]. Також відмічають, що для вирішення прикладних задач в умовах обмежених та неповних даних доцільніше застосовувати ансамблеве навчання, ніж нейронні обчислення на основі глибокого навчання (Deep Learning), оскільки методи глибокого навчання є ефективними в умовах багатих на дані.

Результати моделювання коефіцієнта шорсткості Шезі на основі штучних нейронних мереж засвідчили, що за умов обмеженого обсягу вхідних даних застосування ансамблевого навчання (на основі методу Bagging) дозволяє зменшити похибки та підвищити надійність прогнозних оцінок. Зокрема, в рамках тестових задач з робіт [2, 3] відносні похибки прогнозу окремої базової моделі ШНМ отримано в межах $0,9\% \div 13,9\%$ залежно від річки, а коефіцієнт ефективності моделі Неша-Саткліффа (NSE) становив $0,94 \div 0,98$. Застосування ансамблю нейронних мереж в умовах таких тестових задач показало, відносні похибки прогнозу = $0,3\% \div 6,1\%$ залежно від річки, оцінки коефіцієнта $NSE = 0,991 \div 0,998$.

Список використаних джерел:

1. Sturm, T.W. (2001). Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill, N.Y., 493p.
2. Khodnevych, Y., Stefanyshyn, D. (2023). Do we need a more sophisticated multilayer artificial neural network to compute roughness coefficient? Екологічна безпека та природокористування, 48 (4), 170–182.
3. Khodnevych, Y., Stefanyshyn, D., Korbutiak, V. (2023). The Chezy Roughness Coefficient Computing Using an Artificial Neural Network to Support the Mathematical Modelling of River Flows. In: Dovgyi, S., Trofymchuk, O., Ustimenko, V., Globa, L. (eds) Information and Communication Technologies and Sustainable Development. ICT&SD 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, Vol. 809. Springer, Cham., 444–458.
4. Hansen, L. K., Salamon, P. (1990). Neural network ensembles. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 12, no. 10, pp. 993–1001, doi: 10.1109/34.58871.

5. Opitz, D., and Maclin, R. (1999). Popular Ensemble Methods: An Empirical Study. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 11, 169-198. DOI:10.1613/jair.614.
6. Zhi-Hua Zhou (2012). *Ensemble Methods: Foundations and Algorithms*. Chapman & Hall/CRC Machine Learning & Pattern Recognition, 236 p.
7. Kim, T., et al. (2020). Ensemble-Based Neural Network Modeling for Hydrologic Forecasts: Addressing Uncertainty in the Model Structure and Input Variable Selection. *Water Resources Research*, vol. 56(6), doi:10.1029/2019WR026262
8. Zounemat-Kermani, M., Batelaan, O., Fadaee, M., Hinkelmann, R. (2021). Ensemble machine learning paradigms in hydrology: A review. *Journal of Hydrology*, vol. 598, 2021, Art. no. 126266, doi:10.1016/j.jhydrol.2021.126266

Біоінформатика флуоресцентних досліджень рослинності НПП «Північне Поділля»

¹Мокрий В.І., ¹Казимира І.Я., ²Арустамян Е.М.,

³Бондарь В.І. ⁴Паньковська Г.П.

¹Національний університет «Львівська політехніка», E - mail:
volodymyr.i.mokriy@lpnu.ua,

²Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, E –
mail: info@mepr.gov.ua,

³Національний університет біоресурсів і природокористування України
plantprotect_dean@nubip.edu.ua,

⁴Національний природний парк «Північне Поділля»,
E-mail: PARK_PP@UKR.NET

Актуальність моніторингових досліджень стану дендрофлори об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ), обумовлена необхідністю формування базового рівня екологічних даних для оцінки стану і динаміки екосистем. Сучасні екологічні виклики, зумовлені кліматичними змінами, техногенним навантаженням та деградацією природних екосистем, потребують нових методів моніторингу стану лісових масивів природоохоронних територій. Одним із перспективних інструментів є біоінформаційна технологія флуоресцентного тестування, яка дозволяє ефективно оцінювати фізіологічний стан дерев та підліску. Вона застосовується у сільському господарстві, біотехнології, селекції та екологічному моніторингу.

Застосування цього підходу є доцільним, з огляду на необхідність вирішення наступних завдань: забезпечення постійного екологічного моніторингу лісових екосистем; визначення адаптивного потенціалу популяцій у різних екотопах; формування прогнозів стійкості лісів до кліматичних змін; розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо збереження та відновлення корінних насаджень, збереження пралісів.

Результати досліджень полягають у визначенні фізіологічного стану та адаптивного потенціалу бука європейського на території Національного природного парку (НПП) «Північне Поділля» шляхом застосування флуоресцентного тестування і біоінформативного аналізу для якісної оцінки біопродуктивності лісових екосистем. Бук європейський є ключовою лісотвірною породою в екосистемах Подільського горбогір'я, становить основу біорізноманіття НПП «Північне Поділля». Букові ліси виконують важливі екологічні функції: регулюють водний баланс, стабілізують ґрунти, накопичують вуглець та підтримують високу різноманітність флори й фауни. У зв'язку з цим, стан букових насаджень безпосередньо визначає рівень екологічної стабільності регіону. Це обумовлює потребу у впровадженні сучасних методів діагностики фізіологічного стану деревних насаджень.

Вивчення фундаментальних механізмів флуоресценції, з'ясування їх взаємозв'язку з функціонуванням електронно-транспортного ланцюга фотосинтезу та пов'язаними з ним процесами, являються основою для використання параметрів флуоресценції у вирішенні прикладних завдань, що вимагають характеристик фізіологічного стану рослини. Застосування флуорометра «Флоратест», з високим часовим розділенням, дозволяє проаналізувати кінетику інтенсивності флуоресценції досліджуваних об'єктів (рис.1).

Алгоритм інформаційної технології включає етапи: 1. Реєстрація флуоресцентного випромінювання портативними сенсорами, 2. Біоінформаційний аналіз шляхом обробки спектрів випромінювання за допомогою алгоритмів машинного навчання й великих баз даних для виявлення закономірностей. 3. Візуалізація та прогнозування шляхом створення карт стану лісів, виявлення ділянок із потенційними проблемами та прогноз динаміки розвитку екосистем.

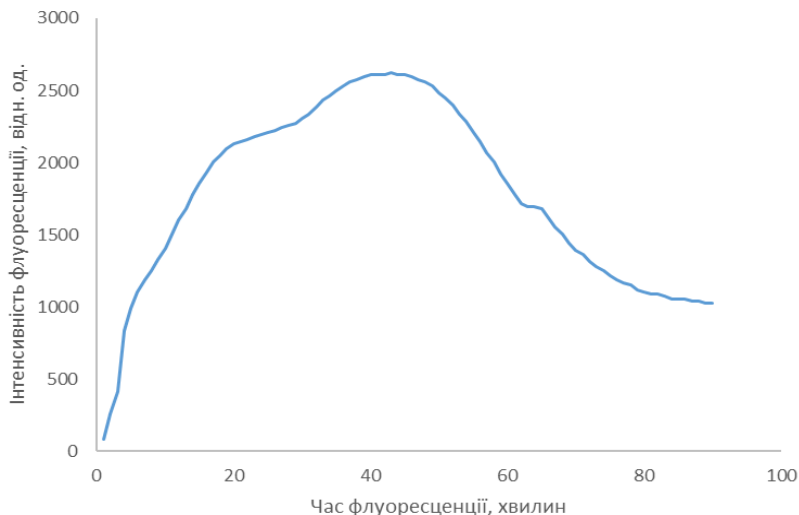


Рис.1. Кінетика флуоресценції листків бука європейського, вік 120 років на об'єкті ПЗФ «Триніг». На вставці: поліноміальна функція лінії тренду і величина достовірності апроксимації (R^2). Визначені значення: $K1=90\%$, $K3=32\%$, індекс життєвості – $Rfd=60\%$.

Отримані дані змін флуоресцентних параметрів досліджуваних дерев підтверджують чутливість фотосинтетичного апарату до впливу екологічних факторів, а також доцільність вибору бука європейського в якості тест-об'єкту для оцінки екологічних умов.

Висновки та перспективи подальших досліджень передбачають флуоресцентне тестування інших лісотвірних порід дерев при створенні інформаційно-діагностичних систем оцінки біопродуктивності дендрофлори інших об'єктів ПЗФ. Інтеграція цієї технології зі штучним інтелектом та «інтернетом речей» створить передумови для розвитку концепції «розумного лісівництва» в Україні.

ДЛЯ НОТАТОК

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

Інформаційно-комунікаційні технології
для стійкості та відновлення

*Колективна монографія
за матеріалами
XXIV Міжнародної науково-практичної конференції
«Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток»
(Київ, 11-12 жовтня 2025 р.)*

Друкується в авторській редакції з оригінал-макетів авторів.
Відповідальність за синтаксис і орфографію включених до колективної
монографії матеріалів несуть автори. Науково-організаційний комітет
та редакційна колегія конференції
не завжди поділяє погляди авторів робіт.

Видавничий дім «Юстон»
01034, м. Київ, вул. О Гончара, 36.
Тел.: (044) 360-22-66

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців
НБ № 153324 від 05.11.2012 р.

Підписано і здано до друку «30» 10. 2025. Формат 60X84 1/16.

Папір офсетний. Гарнітура Таймс. Офсетний друк.

Умовн. друк. арк. 18,8. Обл.-вид. арк. 19,1

Тираж 300.

Замовлення № 301025

КИЇВ 2025