Національна академія наук України
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова
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
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

XXV Міжнародна
науково-практична конференція, присвячена
25-річчю створення
Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України

Інформаційно-комунікаційні технології для перемоги та відновлення

(12 - 13 листопада 2026 р.)

Київ – 2026
ТОВ «Юстон інфо»

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 06.11.2026р

Д58 **Інформаційно-комунікаційні технології для перемоги та відновлення** // Колективна монографія за матеріалами XXV Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток» (Київ, 12-13 листопада 2026 р.) / За заг. ред. С.О. Довгого. – К.: ТОВ «Юстон інфо», 2026. – 236 с.

ISBN 978-617-8967-09-3.

До колективної монографії включені сучасні розробки та досягнення вчених за матеріалами XXV 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 ISBN 978-617-8967-09-3

© *Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України*

Науково-організаційний комітет конференції

Голова: **Довгий С.О.**	Почесний директор ІТГІП 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
Василенко В.М.	В.о.завідувача відділу ІТГІП НАНУ, к.т.н.
Волошкіна О.С.	Професор кафедри технології захисту навколишнього середовища та охорони праці КНУБА, д.т.н., проф.
Горошкова Л.А.	Професор кафедри гідрогеології та інженерної геології ННУ «Інституту геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка, д.е.н., проф.
Греков Л.Д.	Провідний науковий співробітник ІТГІП 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. ІТГІП НАНУ, д.т.н., проф.
Королюк Д.В.	Universita di Roma-2 "Tor Vergata", Dipartamento di Matematica, д.ф.-м.н., проф.
Лебідь О.Г.	Заст. директора з наукової роботи ІТГІП 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
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 імені 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.
Просянкіна-ЖароваТ.І.	В.о.завідувача відділу ІТГП НАНУ, д.т.н.,доцент
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.
Хіміч О.М.	Директор Інституту кібернетики імені В.М.Глушкова, д.ф.-м.н., професор, академік НАН України
Хлобистов Є.В.	Декан факультету природничих наук Національного університету "Києво – могилянська академія", д.т.н., проф.
Черній Д.І.	Зав.кафедри моделювання складних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка, д.т.н., доцент
Чикрій А.О.	Завідувач відділу Інституту кібернетики імені В.М.Глушкова, д.ф.-м.н., професор, академік НАНУ
Чумаченко С.М.	Головний 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., Василенко А.В., Хабова Н.А.

ЗМІСТ

1	Інформаційна модель локальної адаптивної вставки в методі дискретних вихрових рамок. *Довгий С.О., Буланчук О.М., Буланчук Г.Г.*	13
2	On key establishment protocol with sparce transformations from the affine Cremona semigroup *Ustimenko V. O.*	14
3	On the Time Complexity of an Algorithm for Finding a Minimum-cost Spanning Forest of a Graph *Vasyanin V.A., Trofymchuk O.M., Trukhin K.S.*	17
4	Гіперсингулярні інтегральні рівняння та метод дискретних особливостей *Довгий С.О., Лебідь О.Г., Черній Д.І.*	18
5	On Multivariate Public Keys given by transformations of affine spaces of unbounded degree. *Ustimenko V. O., Pustovit O. S., Chojecki T., Svyrydenko T.A.*	20
6	Дискретна вихрова модель колапсу напівкруглої каверни на вільній поверхні рідини *Гуржій Р.О., Васін П.О., Колпаков В.А., Черній Д.І.*	22
7	Про метод термінального керування дискретною системою Леонтьєва зі станом змінної розмірності *Пічкур В.В., Башняков О.М., Сусло Т.Ю.*	25
8	Адаптивний метод застосування перемежувачів в безпровідних системах передачі даних *Василенко В.М., Зайцев С.В., Зайцева Л.І.*	26
9	Метод оцінювання характеристик каналу мобільного зв'язку з використанням інформації декодера LDPC-коду *Зайцев С.В., Зайцева Л.І., Василенко В.М.*	28
10	Векторна нелінійна фільтрація радіолокаційних зображень у складних умовах змішаних завад *Тулякова Н.О., Трофимчук О.М.*	30
11	Критерії аналізу та класифікації інформаційних хвиль у відкритих джерелах *Пастухов Д.В., Клименков О. А.*	33
12	Проксі-дані для еквівалентних моделей законів розподілу в умовах закритості енергетичних даних України *Бондарчук О.В., Мокін Б.І.*	35
13	Система підтримки прийняття рішень для динамічного розподілу ділянок автономного руху між тролейбусами *Резнік Р. Ю., Мокін Б. І., Мокін О. Б.*	37
14	Критерій збереження рішень ЕКГ-автентифікації при цілочисловому квантуванні *Буцій Р.А., Лупенко С.А.*	39

15	Дифракція акустичних хвиль на кутах хвилеводів *Кузьменко В.В., Троценко Я.П.*	41
16	Бенчмаркінг методів відновлення пропущених даних у малих вибірках фінансових часових рядів *Мельник С.М. Козачко О.М.*	44
17	Обґрунтування мінімально необхідної кількості членів обрізаних степеневих рядів у задачі еквівалентування моделей оптимального руху електромобіля *Пасєка Б. В., Мокін Б. І., Мокін О. Б.*	46
18	Аналітичне оцінювання передавання ударного навантаження до зони прихоплення бурильної колони в горизонтальній свердловині *Рибачук С.А., Стефурак Р.І.*	48
19	Інформаційні технології й управління людськими ресурсами: розпізнавання просторових жестів для систем невербальної тактичної комунікації *Сливка В. В., Мельничук В. Е.*	50
20	Фізично обґрунтоване агрегування прогнозів ансамблю нейронних мереж для обчислення коефіцієнта Шезі *Ходневич Я. В., Трофимчук О. М., Корбутяк В. М.*	52
21	Mathematical Model for Identifying a Dynamic Object in Automated Seismoacoustic Monitoring Systems *Mostovyy V., Коробенко А. П.*	54
22	Compositional Foundations of Technological Programming Systems *Redko D.I., Redko I.V.*	58
23	Застосування методів аналізу текстових даних в інформаційно-аналітичному забезпеченні оборонного огляду. *Просянкіна-Жарова Т.І., Вишняков В.Ю. Юрченко А.В.*	59
24	Концептуальний підхід до виявлення резонансних та потенційно маніпулятивних тем в україномовному контенті соціальних мереж *Аброскін Ю. Ю., Терентьєв О. М.*	61
25	Контрольоване перетворення природномовних запитів на записи локальної бази даних *Цируль О.О.*	63
26	Гіперболо-параболічна модель FPV-дрону з оптоволоконним кабелем *Дудчик О.Г., Калюх Ю.І.*	65
27	How Much Does the Index Carry? A Graded-Index Model of Hippocampal Memory *Klymenko I.Y., Litus A.A.*	66

28	Метод самоадаптивного керування ресурсами хмарної інфраструктури *Пазинін А.С.*	70
29	Метод адаптивного масштабування хмарних ресурсів на основі навчання з підкріпленням *Пазинін А.С.*	72
30	Decision support system for analysis of actuarial risks *Panibratov R.S.*	75
31	Оцінювання часової переносимості локально навченої моделі уточнення Dynamic World для 2020-2024 рр. *Підсадній С. Г., Охарєв В.О.*	77
32	Проблеми передачі медичних даних в сучасних телемедичних сервіс-орієнтованих розподілених системах *Семко О.В.*	79
33	Цифрові технології аналізу варіабельності серцевого ритму в системах дистанційного моніторингу *Зозуля А.М.*	81
34	Консолідація різнорідних даних та контроль достовірності в інформаційно-аналітичних системах *Тимчук В.*	83
35	Інженерія інформаційно-аналітичної системи прогнозування відтоку клієнтів банку на основі методів машинного навчання та пояснювального штучного інтелекту *Чернякова О. П., Гуськова В. Г.*	86
36	Впровадження адаптивного чат-бота для оцінювання персоналу в цифровій економіці *Ющенко К.С., Медвідь С.С.*	87
37	Методологія байєсівського підходу в оцінюванні ризиків для об'єктів критичної інфраструктури *Гуськова В.Г., Бідюк П.І., Халигов А.А.*	89
38	Застосування гібридної архітектури TCN-Bayesian-LSTM для прогнозування врожайності зернових культур в умовах кліматичних змін *Просянкін Д. І.*	91
39	Напрями оцінювання ризиків функціонування систем генеративного штучного інтелекту *Деркач О. Ю., Клименков О. А.*	93
40	3D Building Entity Resolution for Ukraine's Reconstruction: Challenges and Evaluation Requirements *Nina Klimenkova, Oleg Klymenkov, Roee Shraga*	95
41	Побудова цифрових двійників для управління водними ресурсами регіону за умови воєнних ризиків *Джалладова І.А., Камінський О.Є.*	97

42	Методичний підхід до оцінювання впливу прогнозних гідрометеорологічних умов на прийняття управлінських рішень щодо реагування на надзвичайні та кризові ситуації *Вишняков В.Ю., Клименко В.І., Долинний В.В., Брага Д.М.*	100
43	Концептуальна модель інформаційної технології інтеграції різнорідних даних для аналізу соціально-економічних процесів *Дуда В. О., Терентьєв О.М..*	103
44	Структурно-семантичне моделювання електронних документів для інтелектуального управління інформаційними потоками *Зотова Л.В., Хабова Н.В., Маслова О.Г.*	105
45	Підхід до персоналізації відповідей чат-бота для підтримки управлінських інформаційних процесів *Іванов І.А., Кряжич О.О., Купрін О.М.*	107
46	Особливості застосування ситуаційного підходу прийняття управлінських рішень щодо ліквідації надзвичайних ситуацій в умовах сучасної України *Дроздович І.Г*	109
47	Трансформація екологічного законодавства України в умовах воєнного стану: виклики та євроінтеграційний вектор *Клименко Є.А.*	112
48	Геопросторове моделювання та інформаційні технології в управлінні відновленням деокупованих територій (на прикладі ПК «КОБЗА COGNITIVE CENTER») *Попель В. А. Чумаченко С.М.*	115
49	Інформаційна інтеграція та нейромережевий аналіз даних моніторингу мереж радіозв'язку *Триснюк В.М., Дзюба В.А., Теличко Р.І.*	117
50	Узгодження транзакцій блокчейну в гетерогенних мережах із нестабільними каналами зв'язку *Жебка В.В.*	120
51	Оцінювання технологічних обмежень інтеграції DLT-платформ у корпоративні інформаційні системи *Жебка С.В.*	122
52	Інтегровані інформаційні технології оцінювання стану морських і прибережних екосистем в умовах воєнних впливів *Трофимчук О.М., Триснюк В.М., Волинець Т.В., Вишняков В.Ю.*	124
53	Квантово-федеративна аналітика рідкісних користувацьких сегментів у цифрових екосистемах *Фадєічев С. В.*	128
54	Вплив руйнування Каховського гідровузла на інженерно-геотехнічну безпеку Запорізької АЕС *Трофимчук О.М., Яковлев Є.О., Охарєв В.О.*	130

55	ГІС-оцінка територіальних відмінностей еколого-економічної шкоди від артилерійського забруднення ґрунтів України нітратами за 2022-2025 рр. *Рогожин О.Г., Трофимчук В.О., Хлобистов Є.В., Крета Д.Л.*	133
56	Дослідження змін ландшафтної структури територій накопичення муніципальних відходів за допомогою ДЗЗ/ГІС-технологій *Трофимчук О.М., Триснюк В.М., Томченко О.В., Азімов О.Т.*	140
57	Про можливість застосування дистанційних методів у процесі контролю забруднення грунтового покриву м. Охтирка за результатами геохімічного аналізу (у зв'язку з наслідками воєнних дій) *Кураєва І.В., Дерюгіна О.В., Азімов О.Т.*	143
58	Космічний моніторинг негативних природних явищ, пов'язаних із лісовими пожежами, на радіонуклідно забруднених територіях *Кірєєв С.І., Самойлов Д.А., Азімов О.Т., Томченко О.В.*	147
59	Використання космознімків для створення дистанційних основ моніторингу довкілля на територіях впливу гірничо-металургійних комплексів *Азімов О.Т.*	150
60	Порівняльний аналіз можливостей QGIS та ArcGIS для дослідження урбанізованих територій *Андрєєв С. М., Даншин М. О.,*	152
61	Показники дистанційного моніторингу кар'єрних водойм у постмайнінгових районах *Охарєв В. О., Єріс Є. Є.*	154
62	Створення анагліфових зображень з аерофотознімків БПЛА для формування цифрової моделі рельєфу *Даншина С. Ю., Безкоровайна А.С.*	156
63	Перспективи використання гідротермальних ресурсів Закарпаття *Саніна І.В., Люта Н.Г., Приходько С.М., Древіна Т.А.*	157
64	Вплив просторового добору на оцінювання змін рослинності в контексті аналізу наслідків війни *Багнюк М.А., Бутенко О.С.*	159
65	Еколого-геохімічні та гідрогеологічні наслідки воєнних дій у Харківській області. *Трофимчук О.М., Удалов І.В., Анпілова Є.С., Яковлєв Є. О.*	162
66	Застосування геоінформаційних технологій для моніторингу змін ландшафту Харківської області внаслідок військових дій *Баликін Д. Ю., Гребень О. С.*	164

67	Концептуальна модель генеративної адаптації розподілу даних для автоматизованого виявлення пошкоджень ґрунтового покриву за даними ДЗЗ *Бектімиров А.М, Охарєв В.О.*	167
68	Scientific and methodological approaches to spatiotemporal modeling of irreversible ecosystem transformations in Southern Ukraine using GeoAI methods *Butenko O., Horelik S.*	169
69	Modern GIS and their advanced components as a tool for ensuring territorial resilience and recovery *Horelik S.*	171
70	Геоінформаційні методичні засади багатоджерельного дистанційного моніторингу стану лісових екосистем *Горелик С.І., Сич Р.С*	173
71	Analysis of financial risks interaction using copulas *Trofymchuk O.M., Huskova V.H., Tymoshchuk O.L., Bidyuk P.I.*	174
72	Геоінформаційна технологія просторово-часового аналізу спектральних ознак Дунайських шлейфів *Трофимчук О.М., Сломчинська Н.В. , Клочко Т.О.*	176
73	Геоінформаційне картографічне моделювання змін в екосистемах унаслідок руйнування греблі Оскільського гідровузла *Кирилюк С.Ю., Азімов О.Т.*	178
74	Класифікація земного покриву за супутниковими знімками Sentinel-2 на основі датасету EuroSAT *Лавренюк Є.М., Варчук І.В.*	180
75	Регіональна оцінка стану еколого-формуючих систем геологічного середовища України *Яковлєв Є.О.*	183
76	Системний підхід до аналізу воєнно-техногенних небезпек для водно-господарського водопостачання в південно-східному регіоні України *Яковлєв Є.О., Чумаченко С.М., Гончаренко І.О.*	186
77	Вплив тектонічного чинника на формування ландшафтної структури осушеного ложа Каховського водосховища *Ліщенко Л.П.*	188
78	Постпірогенне відновлення трав'яної рослинності Дворічанського національного природного парку за часовими рядами NDVI Sentinel-2 (2023-2026) *Мокрий В.І., Абрамян М.А.*	191
79	Геоінформаційна модель моніторингу Стебницького хвостосховища для захисту гідросфери *Мокрий В.І., Куліш Б.Т.*	192

80	Геоінформаційне забезпечення адаптивного прогнозування радіоактивного забруднення територій в умовах воєнних загроз *Нагорний Є.І., Нікітін А.А.*	194
81	DSAS як інструмент ГІС-аналізу гідроморфологічних змін річок в умовах антропогенного впливу *Подорожко К.Д., Данишина С.Ю.*	196
82	Моніторинг наслідків військових дій за даними ДЗЗ *Прищепчук В. І., Гребень О. С.*	197
83	Методика оцінки цілісного рішення класових та просторово-часових змін земного покриву за даними ДЗЗ. *Горелик С.І., Саул-Гозе Д.К.*	200
84	Буріння глибоких нафтових і газових свердловин в умовах високих температур *Стефурак Р.І., Худолей В.Ю., Бугай В.Ю., Карпенко О.О., Петришина А.Ю., Кравець В.П., Титюк Є.О.*	201
85	Сучасні технології поглиблення та кріплення глибоких свердловин для досягнення цілей сталого розвитку нафтогазового комплексу *Стефурак Р.І., Худолей В.Ю., Чередниченко Д.О., Петришина А.Ю. Мазурок П.С.*	204
86	Бурові судна для глибоководного розвідувального буріння та перспективи їх використання в Україні *Стефурак Р.І., Худолей В.Ю., Левченко Д.В., Копей Б.В., Копей В.Б.*	206
87	Картографування та екологічна оцінка зелених зон міста засобами ГІС-моніторингу (на прикладі м. Полтава) *Андрєєв С.М., Приходько К.І.*	208
88	Застосування спектральних індексів для оцінювання кількісних параметрів озер *Ремезок С. Д.*	211
89	Інтегрований супутниковий моніторинг воєнних трансформацій природно-заповідних територій України *Триснюк Т.В., Василенко В.М., Сметанін К.В., Турчинов К.О.*	213
90	Першочергові заходи з оцінки забруднення земель сільськогосподарського призначення внаслідок збройної агресії *Хижняк С.В., Коверсун І.В., Коваль Г.В., Войціцький В.М.*	216
91	Екосистемний вимір відновлення та сталої реінтеграції тимчасово окупованих територій України *Жарова Л., Хлобистов Є.В.*	218
92	Геоінформаційне оцінювання екологічних ризиків колишніх військових об'єктів за даними БПЛА та наземних досліджень *Шумейко В.О., Мосійчук Д.І.*	220

93	Експедиційні дослідження природоохоронних територій в умовах війни. *Горошкова Л.А., Триснюк В.М., Меньшов О.І., Охарєв В.О.*	224
94	Геоінформаційне забезпечення оцінювання екологічних ризиків полігонів твердих побутових відходів *Шевчук О., Василенко А.*	227
95	Персоналізований підбір коворкінг-просторів у системі командного бронювання *Аронов А.О., Колпаков Д.О.*	229
96	Лінеаризація нелінійних вимірювань у задачі оцінювання координат об'єкта *Биль К.І., Терентьєв О.М.*	231
97	Математичне моделювання гідрогеологічних умов Київської промислово-міської агломерації для обгрунтування створення мережі локального (бюветного) водопостачання населення під час надзвичайних ситуації або воєнного стану *Руденко Ю.Ф., Юркова Н.А., Гураль О.В., Саприкін В.Ю.*	234

Інформаційна модель локальної адаптивної вставки в методі дискретних вихрових рамок.

Довгий С.О.[1], Буланчук О.М.[2,3], Буланчук Г.Г.[4]

[1]Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

[2]НЦ "Мала академія наук України"

[3]Інститут прикладних систем управління НАН України

[4]ДВНЗ "Приазовський державний технічний університет

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

У роботі [1] запропоновано методику локальної адаптивної вставки матеріальних вузлів до дискретної вихрової рамкової моделі тривимірної вихрової пелени та досліджено її вплив на геометрію пелени та аеродинамічні характеристики. Розглядалася вставка вузлів як у поперечні вихрові нитки, так і у поздовжні. Адаптивна вставка дає змогу зменшити неприродне видовження вихрових відрізків і пульсації коефіцієнта нормальної сили. Водночас збільшення кількості вузлів призводить до зростання обчислювальних витрат. У попередній реалізації, виконаній на мові FORTRAN, для зберігання даних використовувалися масиви фіксованого розміру. Такий підхід обмежує гнучкість роботи зі структурою вихрової пелени, кількість елементів якої змінюється внаслідок адаптивної вставки. Тому актуальним є розроблення інформаційної моделі, що забезпечує локальну модифікацію структури вихрової пелени та узгоджене оновлення зв'язків між її елементами.

У роботі розглядається реалізація такої моделі на мові C# із використанням середовища OpenTK. Структура даних має забезпечувати зберігання параметрів вихрових рамок, доступ до суміжних елементів і виконання операцій вставки проміжних вузлів. Вставка вузла в обраний вихровий відрізок передбачає заміну початкового відрізка двома новими та оновлення відповідних зв'язків. Це дає змогу змінювати локальну структуру пелени без необхідності повного повторного формування її опису.

Окремим завданням є організація обчислення поля швидкостей. Оскільки розрахунок швидкостей у вузлах під дією вихрових відрізків допускає паралельне виконання значної кількості однотипних операцій, для нього доцільно використовувати графічний процесор (GPU). При цьому операції адаптивної зміни структури даних і обчислення поля швидкостей мають різний характер: перші потребують модифікації зв'язків між елементами, тоді як другі передбачають багаторазове виконання обчислень для заданої конфігурації пелени.

У запропонованій моделі обчислень формування та модифікація структури вихрової пелени розглядаються окремо від розрахунку поля швидкостей на GPU. Такий підхід дає змогу незалежно розвивати алгоритми адаптивної вставки та паралельного обчислення швидкостей. Подальша перевірка реалізації має включати тестування коректності зміни структури пелени, оцінювання впливу вставки на обчислене поле швидкостей і порівняння продуктивності для різної кількості вихрових елементів. Таким чином, розроблення інформаційної моделі адаптивної вихрової пелени є кроком до створення обчислювальної системи, у якій локальна зміна дискретного представлення пелени поєднується з паралельним розрахунком поля швидкостей. Кількісне оцінювання точності та продуктивності такої системи становить предмет подальших досліджень.

Список використаних джерел

1. Г.Г. Буланчук, О.Н. Буланчук, С.А. Довгий Метод дискретных вихревых рамок со вставкой промежуточных точек на вихревой пелене //Вісник Харківського національного університету, Серія "Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління", №863, выпуск 12, 2009, с.36-46.

On key establishment protocol with sparce transformations from the affine Cremona semigroup

Ustimenko V. O [1,2]

[1]*Royal Holloway, University of London*

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

E - mail: Vasyl.Ustymenko@rhul.ac.uk

Let K be a finite commutative ring. We consider the task of key establishment, i. e. the task to established common tuple $k=(k_1, k_2, \dots, k_n)$ from K^n via post quantum secure protocol conducted by two involved parties (Alice and Bob according standard terminology).

Established key $(k_1, k_2, \dots, k_n)$ can be used in one time pad which transfer of plaintext $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ to the ciphertext $(x_1+k_1, x_2+k_2, \dots, x_n+k_n)$. These procedure requires new password k for each communication and new password can be obtained via the new session of key establishment protocols.

Of course password for any symmetric encryption algorithms is also needed as well as the entrance condition to use the information system.

We suggest the platform of sparce polynomial transformation of affine space K^n for the implementation of modified Twisted Diffie-Hellman protocol. The modification is convenient instrument for the task of key establishment.

Let $K[x_1, x_2, \ldots, x_n]$ be the multivariate ring. Each endomorphism G of this ring can be given by its values $G(x_i)=g_i(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ on generic variables, G acts on the affine space K^n by the following rule $x_1 \to g_1(x_1, x_2, \ldots, x_n)$, $x_2 \to g_2(x_1, x_2, \ldots, x_n)$, …, $x_n \to g_n(x_1, x_2, \ldots, x_n)$.

We assume that each g_i is given in its standard form, i.e. the sum of monomial terms of this polynomial written in the lexicographical order. We define degree $deg(G)$ of G as maximal value of $deg\ (g_i)$, $i=1, 2, \ldots, n$. The density of polynomial f from $K[x_1, x_2, \ldots, x_n]$ is the number of its nonzero monomials.

We define density $den(G)$ of the endomorphism G of $K[x_1, x_2, \ldots, x_n]$ as maximal value of $den(g_i)$, $i=1,2,\ldots, n$.

The totality ${}^nCS(K)$ of endomorphism of $K[x_1, x_2, \ldots, x_n]$ is known as affine Cremona semigroup named after Luigi Cremona who was prominent algebraic geometer started his career in universities of Italy and Germany in 19 century (see [1]).

The semigroup contains group ${}^nCG(K)$ of all automorphisms of $K[x_1, x_2, \ldots, x_n]$ is known as affine Cremona group. We consider the subsemigroup ${}^nCS^1(K)$ of the affine Cremona semigroup formed by elements of density $O(1)$.

Let ${}^nCG^{1,1}(K)$ stands for the subgroup of ${}^nCG(K)$ formed by elements of this group of density $O(1)$ which inverses also has density of size $O(1)$.

In [2] explicit constructions of elements from ${}^nCS^1(K)$ of prescribed constant degree are given. Note that for the element G in general position of degree d its square G^2 has degree d^2.

We refer to nonlinear element G as stable element of degree d of affine Cremona semigroup if $deg(G^i) \le deg\ (G)=d$, $i=1, 2,$

In [2] explicit constructions of stable elements G from ${}^nCS^1(K)$ are given for each triple (K, n, d).

We say that element G is stable element of degree d of affine Cremona group ${}^nCG(K)$ if $deg(G^t) \le d$ for arbitrary t from Z. Explicit constructions of such elements from ${}^nCG^{1,1}(K)$ are given for each triple (K, n, d).

We used these results for the implementation of the following modified twisted Diffie-Hellman protocol.

Input. Alice selects finite commutative ring K, natural number n, positive integer d. Alice generates stable element H from ${}^nCG^{1,1}(K)$ of degree d and its inverse H^{-1}. She constructs stable element G of ${}^nCS^1(K)$ of degree d' and sends them to her partner Bob via an open channel.

Step 1 (Alice). She selects positive integers $r(A)$ and $k(A)$, computes $G(A)=H^{r(A)}G^{k(A}\ H^{-r(A)}$. Alice sends $G(A)$ to Bob.

Step 2 (Bob). He selects positive integers $r(B)$ and $k(B)$, computes $G(B)=H^{r(B)}G^{k(B)}H^{-r(B)}$. Bob sends $G(B)$ to Alice.

Step 3 (Alice). She takes the sequence $Q(A)=(Q(1), G(B), G(B),\dots,G(B), Q(2))$ consisting of $Q(1)=H^{r(A)}$, $G(B)$ taken $k(A)$ times and $Q(2)=H^{-r(A)}$.

Step 4 (Bob). He takes the sequence $Q(B)=(Q'(1), G(A), G(A),\dots,G(A),Q'(2))$ consisting of $Q'(1)=H^{r(B)}$, $G(A)$ taken $k(B)$ times and $Q'(2)=H^{-r(B)}$.

Step 5 (Alice or Bob) She/he generates $m=n^{dd'-1}$ pseudorandom or genuinely random tuples ${}^{1}1p, {}^{2}p,\dots, {}^{m}p$ from K^n and sends them to partner via an open channel.

Step 6 (Alice). She takes each ${}^{i}p$ and applies consecutively elements of $Q(A)$ to the tuple. So Alice computes the value ${}^{i}c$ of $H^{r(A)}G(B)^{k(A)}H^{-r(A)}$ on each vector ${}^{i}p$.

She forms collision tuple as concatenation c of ${}^{i}c$, $i=1, 2,\dots, m$.

Step 7 (Bob). She takes each ${}^{i}p$ and applies consecutively elements of $Q(B)$ to the tuple. So Bob computes the value ${}^{i}c$ of $H^{r(B)}G(A)^{k(B)}H^{-r(B)}$ on each vector ${}^{i}p$.

He forms the collision tuple as concatenation c of ${}^{i}c$, $i=1, 2,\dots, m$.

Output. It is the collision vector c from K^l, $l=n^{dd'}$.

Remark. Assume that parameters $r(A), r(B), k(A), k(B)$ are of size $O(1)$, then the computation of c from K^l costs $O(n^{dd'})$ elementary operations.

References

[1] Noether, M. Luigi Cremona. Math. Ann. 1904, 59, 1–19.

[2] Ustimenko, V. Graphs in Terms of Algebraic Geometry, Symbolic Computations and Secure Communications in Post-Quantum World;UMCS Editorial House: Lublin, Poland, 2022; 196p. https://bazawiedzy.umcs.pl/info/book/UMCSb86978566ae5417e8eb5b25976d5fb2f/Publikacja%20.%5B3

On the Time Complexity of an Algorithm for Finding a Minimum-cost Spanning Forest of a Graph

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

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

The article provides a brief review and analysis of methods and algorithms for finding a minimum or maximum spanning forest (tree) on weighted graphs. An effective implementation of the "greedy" Kruskal algorithm on an undirected weighted graph is considered. A practical estimate of the complexity of the algorithm is obtained, which for connected graphs is $O(e)$ where e — the number of edges of a graph. It has been experimentally proven that the time of operation of the algorithm on connected sparse graphs is comparable to the time of sorting edges by the counting method. It is shown that the proposed algorithm is asymptotically better than the Prim algorithm for graphs with the number of edges not greater than $0,27v^2$ where v — number of vertices of the graph. By means of numerical experiments, a comparison of two implementations of the Kruskal algorithm based on the list (the proposed algorithm) and tree (Tarjan's algorithm) data structures was carried out. The results of the comparison allow us to assert that for solving practical problems of finding the minimum or maximum spanning forest (tree), algorithms with a list data structure work no worse, and in most cases faster than algorithms with a tree structure. An experimental study of the proposed algorithm on graphs containing from 499,500 to 71,994,000 edges has shown its high computational efficiency, and it can be recommended for solving practical problems on sparse graphs or large-dimensional networks.

REFERENCES

1. Vasyanin V.A., Trofymchuk O.M., Ushakova, L.P. A Methodology of the Mathematical Modeling for Perspective Development of Nodes and Transport Routes in the Multicommodity Hierarchical Network. I. Optimization Problems. Cybern Syst Anal. 2024. Vol. 60, N. 1. P. 72–83. https://doi.org/10.1007/s10559-024-00648-9.

2. Vasyanin V.A., Trofymchuk O.M., Ushakova, L.P. A Methodology of the Mathematical Modeling for Perspective Development of Nodes and Transport Routes in the Multicommodity Hierarchical Network. II. Experimental Research. Cybern Syst Anal. 2025. Vol. 61, N. 2. P. 232–249. WoS, Scopus, Q3. https://doi.org/10.1007/s10559-025-00763-1.

3. Vasyanin V.A., Trofymchuk O.M. Conceptual bases for managing the processing and distribution of discrete flows in a multicommodity communication network. Part I. Hierarchical structure of the network and principles of sorting and distribution of flows. International Scientific Technical Journal "Problems of Control and Informatics". 2025, No 2, P. 22-33. https://doi.org/10.34229/1028-0979-2025-2-2.

4. Vasyanin V.A., Trofymchuk O.M. Conceptual bases for managing the processing and distribution of discrete flows in a multicommodity communication network. Part II. INFORMATION TECHNOLOGIES FOR DECISION SUPPORT IN COMMUNICATION

NETWORKS. International Scientific Technical Journal "Problems of Control and Informatics". 2025, No 3, P. 5-19. https://jais.net.ua/index.php/files/article/view/516/590.

5. O.M. Trofymchuk, V.O. Vasyanin. A TWO-STEP PROBLEM OF OPTIMIZING THE STRUCTURE AND ROUTING OF FLOWS IN A HIERARCHICAL MULTICOMMODITY NETWORK. «Екологічна безпека та природокористування». 2025. № 3, с. 8-32. https://doi.org/10.32347/2411-4049.2025.3.8-32.

Гіперсингулярні інтегральні рівняння та метод дискретних особливостей

Довгий С.О.[1], ЛебідьО.Г.[1], Черній Д.І.[2]

([1]Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України, E-mail: o.g.lebid@gmail.com; [2]Київський національний університет імені Тараса Шевченка, E-mail: d_cherniy@ukr.net)

У прикладної гідродинаміці існує клас крайових задач для еліптичних рівнянь, з різнотипними крайовими умовами, які визначаються фізичними особливостями динамічних процесів в областях з рухомими непроникними межами різних типів L_d, L_v, L_s. В межах моделі ідеальної нестисливої рідини, у такому наближені розглядаються задача про відривну течію навколо рухомих перешкод, задача Вагнера та різнотипні задачі проникнення скрізь вільну поверхню, задача Коші-Пуасона та задачі коливань рідини з вільною поверхнею в областях довільної форми.

Типовими постановками є задачі для рівняння Лапласа з відповідними крайовими умовами:

$$\Delta\varphi = 0, \qquad r \in D^+(t);$$

$$\text{I} \quad \frac{d\varphi}{dn} = W_n, \qquad r \in L_d(t);$$

$$\text{II} \begin{cases} \left[\frac{d\varphi}{dn}\right]_-^+ = 0, r \in L_v(t); \\ \frac{d}{dt}[\varphi]_-^+ = 0, r \in L_v(t); \end{cases}$$

$$\text{III} \begin{cases} \frac{dr}{dt} = \nabla\varphi, \quad r \in L_s(t); \\ \frac{d\varphi}{dt} = \frac{|\nabla\varphi|^2}{2} - \frac{y}{Fr}, \quad r \in L_s(t); \end{cases}$$

Особливостями такого формулювання є те, що для довільного фіксованого моменту часу маємо змішану крайову задачу для рівняння Лапласа з крайовими умовами Неймана і Дірихле. Крайова умова I є умовою Неймана, а крайові умови II та III формулюються у вигляді задач Коші для рухомих меж області, розв'язок яких, для заданого

фіксованого моменту часу, і є умовою Дірихле на визначеному елементі межи області.

Таким чином, для двовимірних задач у якості шуканих функцій можливо розглядати комплексне представлення у вигляді контурних інтегралів з особливими ядрами, порядок яких визначається умовою для функції на нескінченності.

$$\Phi_0(z,t) = \frac{1}{2\pi i}\int_{L(t)} \gamma(\omega,t)\, ln(z-\omega)d\omega,$$

$$\Phi_n(z,t) = \frac{1}{2\pi i}\int_{L(t)} \frac{\gamma(\omega,t)}{(z-\omega)^n} d\omega, \quad \text{где} \quad n = 1,2,3,4,\ldots$$

У припущенні, що межа області є кусково-гладкою та може бути представлена у вигляді сукупності впорядкованих межових елементів

$$L(t) = \sum_{j=1}^{M} L_j(t).$$

інтегральне представленя може бути обчислено за дискретизированим (квадратурним) представленням, яке є основою методу дискретних особливостей (МДО):

$$\Phi_0(z,t) = \sum_{j=1}^{M} \frac{\Gamma_j(t)}{2\pi i} ln(z-\omega_{0j}(t)) + O(\varepsilon),$$

$$\Phi_n(z,t) = \sum_{j=1}^{M} \frac{\Gamma_j(t)}{2\pi i (z-\omega_{0j}(t))^n} + O\left(\frac{\varepsilon}{\rho_0^n}\right),$$

$$\text{де} \quad n = 1,2,3,4,\ldots \; \Gamma_j(t) = \int_{L_j} \gamma(\omega,t)d\omega, \quad j = \overline{1,M}.$$

В межах теорії гіперсингулярних інтегральних рівнянь у доповіді обговорюються властивості методу дискретних особливостей - умови для побудови коректного розв'язку для крайових та початково крайових, можливості побудови обчислювальних технологій, умови та межи застосування методу, переваги та недоліки методу, обмеження та перспективи застосування методу для визначених класів задач, термінологічні парадокси.

Література

1. Довгий С. О., Ліфанов І. К. Метод сингулярних інтегральних рівнянь. Теорія та застосування. Київ : Наукова думка. 2004. – 512 с.

3. Dovgyi S.A., Lifanov I.K., Cherniy D.I. The method of singular integral equations and computational technologies. – Kyiv: Yuston, 2016. – 380 p.

2. 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, № 6. – P. 950–962.

4. Довгий С.А. Аэрогидродинамика движущихся крыльев.- Kyiv:"Yuston" (2016), 276с.

5. Технології чисельного моделювання. Лабораторний практикум: навчальний посібник / С.О. Довгий, Я.П. Троценко, Д.І. Черній. – Київ : 2024. – 139 с.

On Multivariate Public Keys given by transformations of affine spaces of unbounded degree.

Ustimenko V. O [1,2], Pustovit O. S. [2] , T. Chojecki [3], Svyrydenko T.A. [2]

[1]*Royal Holloway, University of London*

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

[3]*Maria Curie-Skłodowska University, Lublin, Poland*

E - mail: Vasyl.Ustymenko@rhul.ac.uk, sanyk_set@ukr.net, tymoteusz.chojecki@umcs.pl, ipz23-t.svyrydenko@nubip.edu.ua

Results of implementation of several multivariate public keys of linear degree of size $O(n)$ and polynomial density defined over commutative ring K with the nontrivial multiplicative group K^* were presented in [1]. The space of plaintexts of these cryptosystems is $(K^*)^n$ and space of ciphertexts is K^n. The encryption map is the restriction on $(K^*)^n$ of polynomial transformation of the space K^n which is the composition of special Eulerian transformation with cubical map of Multivariate Cryptography of kind T_1QT_2, where T_1 and T_2 are bijective affine transformations and Q is a nonlinear map defined via walk on algebraic bipartite graph points and lines of which form the space K^n.

This scheme is implemented for the cases $K=F_q$ and $K=Z_q$, $q=2^{32}$. The knowledge of private key allows to decipher of the message from public user in time $O(n^2)$. The cryptosystems are generalisations of algorithms suggested 9 years ago cryptanalysis of which are unknown [2], [3]. The problem of breaking the cryptosystem is equivalent to solving of system of nonlinear equations in n variables of degree cn, where $c>0$. The computer packages for the investigation of such systems are undeveloped.

Recently we modify these cryptosystem via the use of temporal analogues ${}^tA(n, K)$ of graphs $A(n, K)$ defined over the finite commutative ring K with nontrivial multiplicative group K^*, multiplicative graphs $A^*(n, K)$ and temporal graphs ${}^tA(n, K)$. Results on the properties of new graphs were presented at 6 the conference SMICS 2026 (see https://smics.lnu.edu.ua/en/program/]), UkrCrypto 2026 (https://csi.cip.gov.ua/en/pages/ukrcrypto2026) and ITTAP 2026 (see https://ittap.tntu.edu.ua/ittap-2026/). Parameters of momentum graphs of used temporal algebraic graphs can be generated via techniques of Artificial Intelligence or Quantum computing.

In our talk we present obfuscation of these cryptosystems where instead of paths on graphs walks with colour jumps are used. The simplest example of the transformation induced by walk with graph is given below in the case

of graph $A(n, K)$ defined over the commutative ring K with the nontrivial multiplication group K^*.

The incidence structure $A(n, K)$ has point set of elements $(p_1, p_2, \dots, p_n)$, $x_i \in K$ and line set of tuples $[l_1, l_2, \dots, l_n] \in K$ and the incidence condition :

$p_2 - l_2 = l_1 p_1$, $p_3 - l_3 = p_1 l_2$, $p_4 - l_4 = l_1 p_3$, $\dots$, $p_n - l_n = p_1 l_{n-1}$ when n is odd and $p_n - l_n = l_1 p_{n-1}$ when n is even. We refer to the first coordinate of vertex v with coordinates v_i, $i=1, 2, \dots, n$ as its colour.

Let $N_a(v)$, $a \in K$ be operator of taking the neighbour of v with the selected color a. Assume that $J_a(v)$ is the operator of recolouring of v via the change of v_1 for a and leaving other coordinates unchanged.

We can take ring $R=K[x_1, x_2, \dots, x_n]$, consider graph $A(n, R)$ with the point set and line set isomorphic to $K[x_1, x_2, \dots, x_n]^n$.

We take the special point $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ of $A(n, R)$ and the sequence T of special colours $a(1)=x_1+a_1$, $b(1)=x_1+b_1$, $a(2)=x_1+a_2$, $b(2)=x_1+b_2$, $\dots$, $a(k)=x_1+a_k$, $b(k)=x_1+b_k$, $a(k+1)=x_1+a_k+1$ of odd length $l=2k+1$ where k is even and $a_i \in K$, $b_i \in k$ to form the *walk with jumps, i. e.* the sequence of vertexes $v_1=J_{a(1)}(x)$, $u_1=N_{b(1)}(v_1)$, $v_2=J_{a(2)}(u_1)$, $u_2=N_{b(2)}(v_2), \dots$, $v_k=J_{a(k)}(u_{k-1})$, $u_k=N_{b(k)}(v_k)$, $v=J_{a(k+1)}(u_k)$.

The final vertex v has the form $(x_1+a_{k+1}, g_2(x_1, x_2), g_3(x_1, x_2, x_3), \dots, g_n(x_1, x_2, \dots, x_n))$.

We use the transformation G_T of K^n given by the rule $x_1 \to x_1+a_{k+1}$, $x_2 \to g_2(x_1, x_2)$, $x_3 \to g_3(x_1, x_2, x_3)$, $\dots$, $x_n \to g_n(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

We prove that G_T is cubic bijective transformations of K^n.

New cryptosystem is defined via the standard form of special transformation F of kind $EL_1G_TL_2$ where L_i, $i=1, 2$ are elements of $AGL_n(K)$ and E is element of degree $O(n)$ such that $E(x_i)$ are monomial terms.

Public user Bob can use the standard form for the encryption of plaintexts from $(K^*)^n$. Key holder Alice decrypts ciphertext from K^n because of her knowledge of E, L_i and T. The cryptosystem is implemented in cases $K=F_q$ and $K=Z_q$.

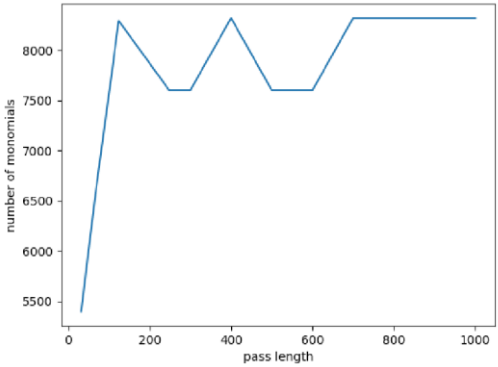


Figure 1: Number of monomial terms of the cubic map G_T induced by the graph, n = 128, K=F_q, q=2^{24}

The number of all monomial terms of the standard forms of $L_1G_TL_2$ and F is the same. It has size $O(n^4)$ if L_i, $i=1, 2$ are elements in general position.

Complexity of the encryption for public user is $O(n^5)$.

References

[1] V. Ustimenko, O. Pustovit, On extremal algebraic graphs, Eulerian transformations and implementations of multivariate cryptosystems, Environmental safety and natural resources, vol. 58 No. 2 (2026), pp. 135-153. ISSN: 2411-4049. Екологічна безпека та природокористування, вип. 2 (58), 2026.

[2] Ustimenko, V. On new multivariate cryptosystems based on hidden Eulerian equations. Dopov. Nat. Acad. Sci. Ukraine 2017, 5, 17–24.

[3] Ustimenko V., On new multivariate cryptosystems based on hidden Eulerian equations over finite fields, IACR e-print archive, 2017/093.

Дискретна вихрова модель колапсу напівкруглої каверни на вільній поверхні рідини

Гуржій Р.О.[1], Васін П.О.[2], Колпаков В.А.[2], Черній Д.І.[1,2]

([1]Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України;
[2]Київський національний університет імені Тараса Шевченка;
E-mail: gourjii@gmail.com, vasinpavlo@gmail.com, viktor.a.kolpakov@knu.ua, d_cherniy@ukr.net)

Колапс заглиблення вільної поверхні під дією сили тяжіння - стінки каверни сходяться на осі, енергія кумулюється, рідина викидається струменем, який опадає, а поверхня релаксує,

випромінюючи гравітаційні хвилі, - супроводжує удар краплі, слемінг, спливання бульбашки, підводний вибух.

Розглядається плоска задача Коші–Пуассона для важкої ідеальної нестисливої рідини з вільною межею $L(t)$, на якій тиск сталий. У безрозмірних змінних (Fr = 1) в описі Лагранжа

$$\Delta\varphi = 0, \qquad r \in D^+(t); \quad \frac{dr}{dt} = \nabla\varphi, \quad \frac{d\varphi}{dt} = \frac{|\nabla\varphi|^2}{2} - \frac{y}{Fr}, \qquad r \in L(t).$$

Початкова межа - поверхня $y = 0$ з напівкруглою каверною одиничного радіуса, кути якої заокруглено дугами радіуса 0,2, щоб прибрати кутову похибку подання; рідина стартує зі спокою, $\varphi \equiv 0$.

Комплексний потенціал подано інтегралом типу Коші з густиною подвійного шару Q уздовж $L(t)$; єдиний логарифмічний доданок несе повну циркуляцію $\Gamma_0 = 0$, тож потенціал однозначний. Модель дискретизовано методом дискретних особливостей [1, 2]: межу подано M маркерами, між якими розміщено вихори з регуляризованим ядром $R_j = \max(r_j, |r - r_j|)$; Q на кожному шарі знаходиться з граничного рівняння ітераціями Гаусса–Зейделя.

У вихідній схемі радіус ядра зменшується з сіткою, і інтервал достовірності ($t \approx 1$) не досягає струменя. Схему доповнено чотирма механізмами: 1) локальне ядро - половина власної панелі вихора, тож сусідні ядра не перекриваються; 2) адаптивний перерозподіл маркерів: крок $h \in [0{,}125;\ 0{,}6]$ задається кривиною, інтенсивністю шару та відстанню до протилежної ділянки межі; 3) згладжування п'ятиточковим фільтром Лонге-Хіггінса–Кокелета [3]; 4) поглинальні зони на кінцях ділянки $|x| \le 10$, що гасять відбиття хвилі.

Розрахунок (на старті $M = 180$, $\Delta t = 0{,}005$) проходить увесь процес до $t = 10$ (рис. 1). При $t \approx 1{,}37$ гребінь піднімається над рівнем спокою тонким центральним виступом, що заповнюється в округлий стовп висотою 0,709 при $t = 2{,}98$ (рис. 2, а). Стовп опадає, і в обидва боки відходять хвилі. Симетрія зберігається з точністю $2 \cdot 10^{-8}$. Якщо перерозподіл і фільтр застосовувати раз на 0,005 одиниці часу, висота струменя не залежить від кроку: 0,709; 0,707; 0,712 при $\Delta t = 0{,}005$; 0,0025; 0,00125 (рис. 2, б).

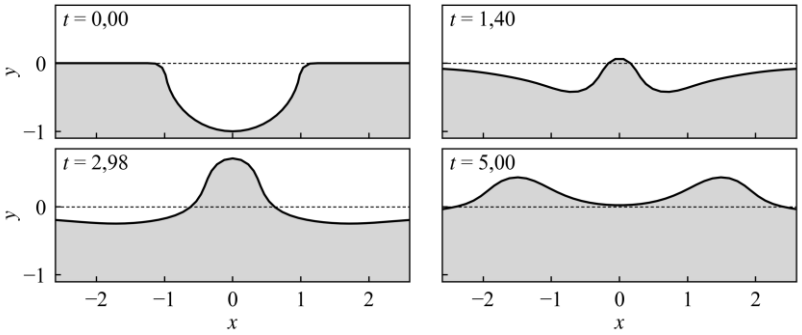


Рис. 1. Еволюція вільної межі

Головне обмеження - енергетичний баланс: повна енергія відхиляється на 1 % уже при $t \approx 0{,}3$, під час утворення струменя - у межах −2…+3,5 %, а до $t = 10$ зменшується на 35 % (≈30 % E_0 знімає фільтр, 5 % - поглинальні зони). Тому висоту струменя слід наводити з параметрами регуляризації, а пізні хвилі вважати якісними.

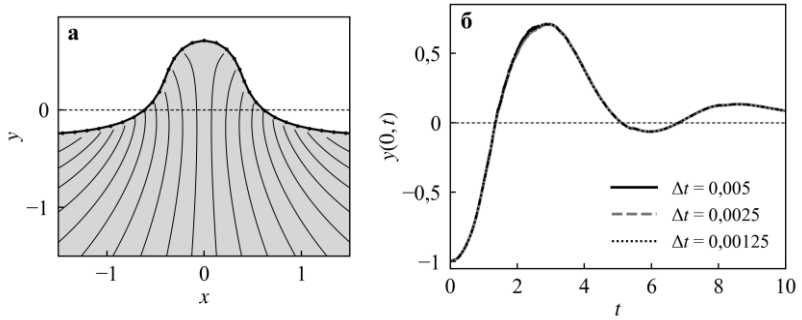


Рис. 2. а - лінії течії при $t = 2{,}98$; б - висота поверхні на осі $y(0, t)$ при трьох Δt

Отже, доповнена модель відтворює в одному розрахунку ланцюг «кумуляція - струмінь - опадання - хвилі» зі збіжністю за кроком часу. Далі - зменшити дисипацію фільтра та дослідити збіжність за сіткою при фіксованій регуляризації.

Література

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, № 6. – P. 950–962.

2. Dovgyi S.A., Lifanov I.K., Cherniy D.I. The method of singular integral equations and computational technologies. – Kyiv: Yuston, 2016. – 380 p.

3. Longuet-Higgins M.S., Cokelet E.D. The deformation of steep surface waves on water. I. A numerical method of computation // Proc. R. Soc. Lond. A. – 1976. – Vol. 350. – P. 1–26.

Про метод термінального керування дискретною системою Леонтьєва зі станом змінної розмірності

Пічкур В.В., Башняков О.М., Сусло Т.Ю.

(Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Email: volodymyr.pichkur@knu.ua, oleksandr.bashniakov@knu.ua, suslo.tani@gmail.com)

У доповіді розв'язується задача термінального керування дискретною системою Леонтьєва зі змінною розмірністю вектора стану [1-3]. Побудовано математичну модель дискретної системи Леонтьєва, у якій зміну розмірності вектора стану формалізовано за допомогою матриці структурних змін. Особливістю такого підходу є можливість урахування структурних трансформацій економічної системи в процесі її функціонування, зокрема виникнення нових галузей, реструктуризації виробничих зв'язків, скорочення або ліквідації окремих секторів економіки та їх подальшого відновлення. Подібні зміни є характерними для періодів економічних криз, післявоєнної відбудови, технологічної модернізації, а також реалізації довгострокових стратегій економічного розвитку, що передбачають істотну перебудову галузевої структури виробництва.

На основі властивостей псевдообернених матриць сформульовано умови розв'язності задачі термінального керування та визначено загальний вигляд керування, яке забезпечує переведення системи з початкового стану в заданий кінцевий стан за скінченний проміжок часу. Запропонований підхід дає змогу встановити, за яких умов цільовий стан може бути досягнутий точно, з урахуванням динаміки системи та змін її структури. У випадках, коли точне досягнення заданого кінцевого стану неможливе, метод забезпечує побудову псевдорозв'язку мінімальної норми, оптимального за критерієм найменших квадратів. Це дає можливість визначити керування, яке мінімізує відхилення фактичного кінцевого стану системи від заданого цільового значення.

Отримані результати розширюють можливості застосування дискретних динамічних моделей Леонтьєва для дослідження економічних систем, що зазнають структурних змін у процесі розвитку. Запропонований математичний апарат може бути використаний для аналізу та моделювання процесів антикризового управління,

розроблення сценаріїв післявоєнного відновлення, оцінювання можливостей відтворення порушених виробничих зв'язків і обґрунтування стратегічних напрямів розвитку економіки. Особливу практичну цінність підхід має за умов істотної зміни галузевої структури, коли традиційні моделі зі сталою розмірністю вектора стану не забезпечують належного врахування відповідних трансформацій.

1. Матвієнко В.Т., Пічкур В.В., Черній Д.І., Демківський Є.О. Загальний розв'язок термінального керування лінійної дискретної системи. Журнал обчислювальної та прикладної математики. 2022. №2. С.83-90.

2. Pichkur V., Sobchuk V., Cherniy D, Ryzhov A. Functional Stability of Production Processes as Control Problem of Discrete Systems with Change of State Vector Dimension // Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Physical and Mathematical Sciences 1(78). 2024. pp. 105-110.

3. Башняков О. М., Сусло Т. Ю. Аналіз умов загальної керованості лінійної дискретної системи зі зміною розмірності вектора стану. ,,Шевченківська весна -2026", 9 квітня 2026 р., м. Київ, Україна. С.53.

Адаптивний метод застосування перемежувачів в безпровідних системах передачі даних

Василенко В.М., Зайцев С.В., Зайцева Л.І.

Інститут телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України

University of Technology (Politechnika Świętokrzyska), Kielce, Poland

Національний університет «Чернігівська політехніка»

У роботі представлено адаптивний метод застосування перемежувачів в безпровідних системах передачі даних з використанням LDPC-кодів. Результати імітаційного моделювання показали, що даний метод дозволяє отримати енергетичний виграш для коду стандарту CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems).

Сучасні технології вимагають високої якості передачі даних, що зумовлює необхідність використання ефективних методів кодування. LDPC-коди стали ключовим рішенням завдяки своїй меншій складності та кращій продуктивності на високих швидкостях кодування (R = 3/4, 5/6) порівняно з турбокодами. Саме тому їх було інтегровано в стандарти 5G, Wi-Fi, WiMax та DVB-S2 [1-4].

Для додаткового підвищення надійності передачі даних застосовують перемежувачі. Ці пристрої за певним алгоритмом переставляють біти в послідовності, що дозволяє розбити пакети групових помилок, перетворюючи їх на поодинокі. Такий підхід ефективно використовується як у LDPC-кодах, так і в турбокодах [5-8].

На рис. 1 представлена структурна схема модифікованого кодера LDPC-коду включно з пристроєм перемеження.

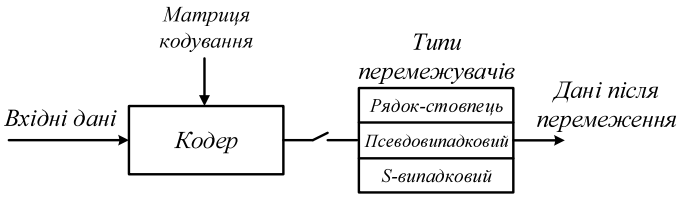


Рисунок 1 – Структурна схема модифікованого кодера LDPC-коду

На рис. 2 показаний, отриманий в результаті імітаційного моделювання, графік залежності ймовірності бітової помилки декодування $P_{B\,\text{дек}}$ від відношення сигнал/завада E_b/N_J (відношення сигнал/шум при цьому було вибрано $E_b/N_0 = 9{,}58$ дБ), де E_b – енергія біта, N_0 – спектральна щільність потужності білого гауссівського шуму, N_J – спектральна щільність потужності навмисної завади, представленої як обмежений по спектру білий гауссівський шум. Використовувалась перевірочна матриця стандарту CCSDS, 128 біт, швидкість кодування R = 1/2.

Застосування розробленого методу дає енергетичний виграш 0,11 дБ для коду CCSDS (128 біт, R = 1/2).

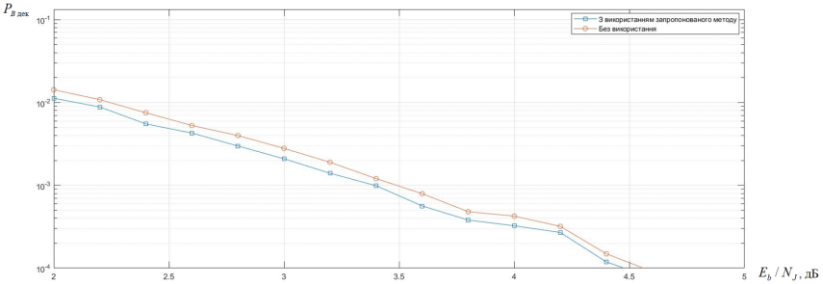


Рисунок 2 – Графік залежності ймовірності бітової помилки декодування від відношення сигнал/завада

Список літературних джерел

1. Gallager R. Low-Density Parity-Check Codes / Gallager R. // IEEE Transactions on Information Theory. – 1962. – Vol. 8, N 1. – P. 21 – 28.

2. S. H. Gupta and B. Virmani, "LDPC for Wi-Fi and WiMAX technologies," *2009 International Conference on Emerging Trends in Electronic and Photonic Devices & Systems*, Varanasi, India, 2009, pp. 262-265, doi: 10.1109/ELECTRO.2009.5441120

3. Y. Wu and B. Wu, "A Low-Latency Dual-Path QC-LDPC Decoder for IEEE 802.11ax," in *IEEE Access*, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3247958

4. M. K. Yadav and K. K. Parhi, "Design and Implementation of LDPC Codes for DVB-S2," *Conference Record of the Thirty-Ninth Asilomar Conference onSignals, Systems and*

Computers, 2005., Pacific Grove, CA, USA, 2005, pp. 723-728, doi: 10.1109/ACSSC.2005.1599847

5. Nowak S. An interleaving scheme for efficient binary LDPC coded higher-order modulation / S. Nowak and R. Kays // *2010 International ITG Conference on Source and Channel Coding (SCC)*. – 2010. Siegen, Germany, pp. 1-6.

6. Baldi M. Interleaved Product LDPC Codes / M. Baldi, G. Cancellieri and F. Chiaraluce // *IEEE Transactions on Communications*. – 2012. vol. 60, no. 4, pp. 895-901.

7. Zhang, L. Joint optimizing of interleaving and LDPC decoding for burst errors in PON systems / L. Zhang, C. Yang, F. Zhang // Science China Information Science. – 2020. Vol. 63, Article Number. 129302, pp. 1-3.

8. Sadjadpour, H. Interleaver Design for Turbo Codes / H. Sadjadpour, N. Sloane, M. Salehi, G. Nebe // Selected Areas in Communications, IEEE Journal on. 19. – 2001 – P. 831 - 837.

Метод оцінювання характеристик каналу мобільного зв'язку з використанням інформації декодера LDPC-коду

Зайцев С.В., Зайцева Л.І., Василенко В.М.

Інститут телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України,

Національний університет «Чернігівська політехніка»

У роботі представлено метод оцінювання стану каналу передавання даних у системах мобільного зв'язку, що ґрунтується на використанні інформації декодера LDPC-коду.

За результатами імітаційного моделювання встановлено, що точність оцінювання стану каналу підвищується зі збільшенням відношення сигнал/шум. Отримані результати підтверджують доцільність використання інформації LDPC-декодера для оцінювання параметрів каналу в системах мобільного зв'язку.

Стрімкий розвиток бездротових систем зв'язку зумовлює постійне зростання вимог до надійності та стійкості передавання інформації. Одним із ефективних засобів забезпечення заданої достовірності передавання даних є застосування кодів із низькою щільністю перевірок на парність (LDPC-кодів), характеристики яких за енергетичною ефективністю можуть наближатися до теоретичної межі Шеннона. Концепцію LDPC-кодів уперше запропонував Р. Галлагер [2, 3], розробивши клас лінійних блокових кодів із перевіркою на парність, ефективність яких особливо проявляється за високих швидкостей кодування. Подальший розвиток теоретичних і практичних аспектів LDPC-кодів пов'язаний із роботами Маккея [1, 4], Ніла та Таннера [5], Річардсона [6] та інших дослідників. Результати цих досліджень сприяли вдосконаленню конструкцій і алгоритмів декодування LDPC-

кодів, а також розширенню сфери їх застосування в сучасних системах і технологіях передавання інформації.

На рис. 1 наведено структурну схему модифікованого ітеративного декодера LDPC-коду, що включає блок обчислення нормованого значення відношень правдоподібності. Використовується алгоритм декодування з м'яким рішенням — алгоритм «сума-добуток» (SPA) [3].

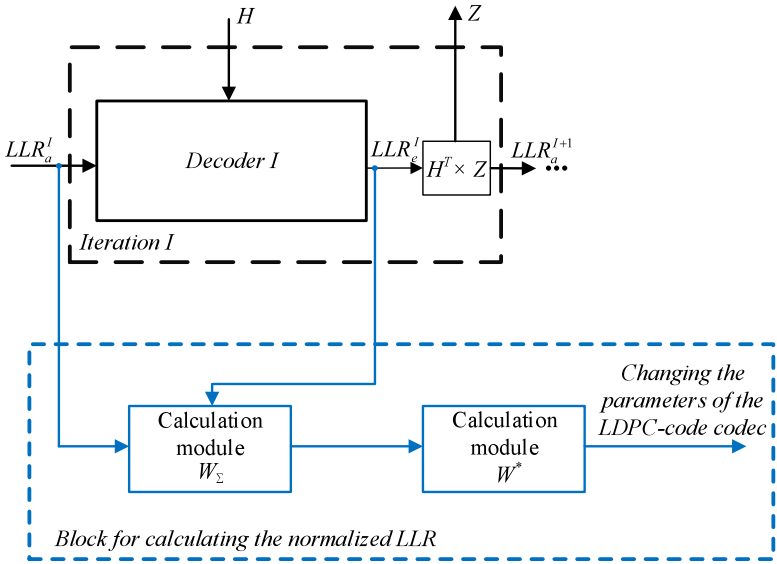


Рисунок 1 – Структурна схема модифікованого декодера LDPC-коду

Результати імітаційного моделювання для LDPC-кодів стандартів CCSDS та WiMAX показують, що зі зростанням відношення сигнал/шум (SNR) спостерігається підвищення коефіцієнта кореляції. Для LDPC-кодів стандарту 5G NR, навпаки, отримано стабільно високі значення коефіцієнта кореляції в усьому досліджуваному діапазоні SNR. Це свідчить про доцільність використання нормованої зміни знака відношення правдоподібності як показника для оцінювання якості процесу декодування.

Список літературних джерел

1. MacKay D. J. C. Near Shannon limit performance of low density parity check codes / D. J. C. MacKay, R. M. Neal // Electron. Lett. – 1996. – Vol. 32, no. 18. – P. 457–458.

2. Gallager R. Low-Density Parity-Check Codes / Gallager R. // IEEE Transactions on Information Theory. – 1962. – Vol. 8, N 1. – P. 21 – 28.

3. Gallager R. Low-Density Parity-Check Codes / Gallager R. – M.I.T. Press, Cambridge, MA, 1963. – 90 p.

4. MacKay D. Good Error-Correcting Codes Based on Very Sparse Matrices / D. MacKay // IEEE Transactions on Information Theory. – 1999. – Vol. 45, N 2. – P. 399 – 431.

5. Tanner M. A Recursive Approach to Low Complexity Codes / Tanner M. // IEEE Transactions on Information Theory. – 1981. – Vol. It-27, N 5. – P. 533 – 547.

6. Richardson T. J. Design of capacity-approaching irregular low-density parity-check codes / T. J. Richardson, M. A. Shokrollahi and R. L. Urbanke // IEEE Transactions on Information Theory. – 2001. – Vol. 47, N 2. – P. 619-637. DOI: 10.1109/18.910578

Векторна нелінійна фільтрація радіолокаційних зображень у складних умовах змішаних завад

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

У реальних умовах експлуатації радіолокаційні системи земної поверхні (РСЗ) зазнають впливу складних змішаних завад, які завжди містить імпульсну складову. Причин виникнення викидів чимало: вплив космічної погоди та радіації, електромагнітні завади, відбиття хвиль від точкових об'єктів з високою ефективною поверхнею розсіювання тощо. РСЗ формують зображення завдяки когерентному зондуванню, тому на них неминуче виникає мультиплікативний спекл (зернистість). Наявність адитивного гаусівського шуму зумовлена фізичними процесами в середовищі поширення сигналів та в електронних компонентах апаратури, а також сукупністю незалежних зовнішніх факторів. Поєднання адитивного шуму, спеклу та імпульсних завад створює складні умови, за яких традиційні лінійні фільтри руйнують інформативні радіометричні та геометричні характеристики зображення. Отже, актуальним завданням є розробка високоефективних алгоритмів фільтрації складних змішаних завад, оскільки вони спричинюють помилки інтерпретації, сегментації, класифікації та розпізнавання радіометричної інформації.

Практично завжди сусідні відліки зображень РСЗ є корельованими, що обумовлює доцільність векторного подання та обробки локальних даних. Запропоновано новий спосіб обробки двовимірних (2D) зображень на основі векторної нелінійної фільтрації, яка враховує взаємозв'язки між компонентами векторів та дозволяє досягти кращого балансу між очищенням від завад і збереженням інформативності. Цей спосіб, застосовуваний до 2D зображень, складається з таких кроків: Зчитування масок квадратної та ромбоподібної форми в околі поточного пікселя зображення. Формування з пікселів у межах масок множин вхідних векторів: у горизонтальному та вертикальному

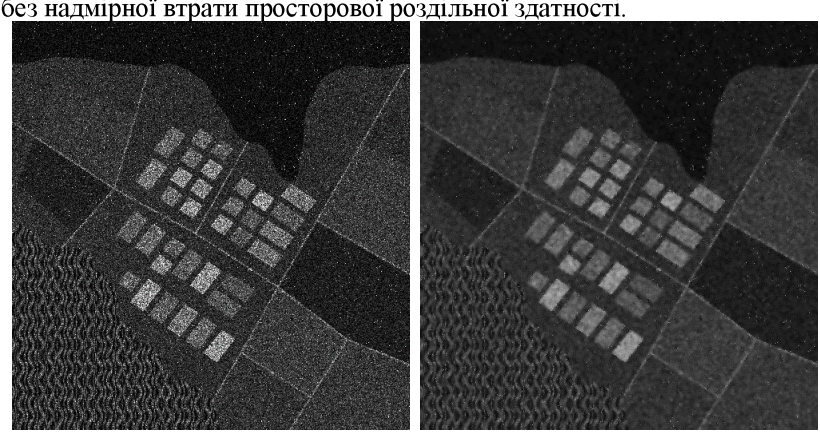
напрямках відповідно з рядків та стовпчиків квадратної маски, у діагональних напрямках з паралелей до головної та побічної діагоналей ромбоподібної маски.

Застосовування векторної нелінійної фільтрації до сформованих множин векторів для отримання вихідних векторів за кожним з напрямків (оцінок пікселів зображення у відповідних координатах).

Послідовний зсув масок уздовж зображення з кроком в один піксель і накопичення оцінок у масивах (оскільки один і той самий піксель попадає в різні вихідні вектори при зміненні положення центру масок).

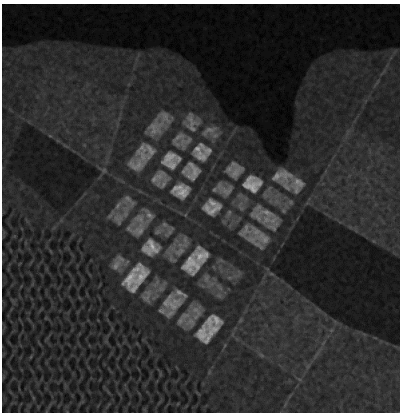
Усереднення накопичених оцінок для кожного пікселя.

Досліджено ефективність придушення суміші адитивного гаусівського шуму (з дисперсією σ_a^2), спеклу, що описується гамма-розподілом (дисперсія 1/L, де L – кількість оглядів), та імпульсного шуму з випадковими значеннями (щільність d). Застосовано векторний фільтр з сигнально-залежним усередненням та векторний сигма-фільтр. Показана істотна перевага векторних нелінійних фільтрів над адаптивним фільтром Лі за показником PAE (Peak Absolute Error), який характеризує здатність усувати викиди, що можуть хибно сприйматися як корисні точкові цілі. За значеннями MAE (Mean Absolute Error) та EPI (Edge Preservation Index) фільтр Лі трохи випереджає векторні фільтри, проте ними забезпечується суттєва перевага в ефективності придушення шуму при зростанні кількості оглядів (L=4), про що свідчать вищі показники PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) та критерію SSIM (Structural Similarity Index), який краще реагує на розмиття границь і втрату дрібних об'єктів. Багатооглядове оброблення (L=4, L=8) часто використовується в РСЗ для досягнення прийнятної якості без надмірної втрати просторової роздільної здатності.



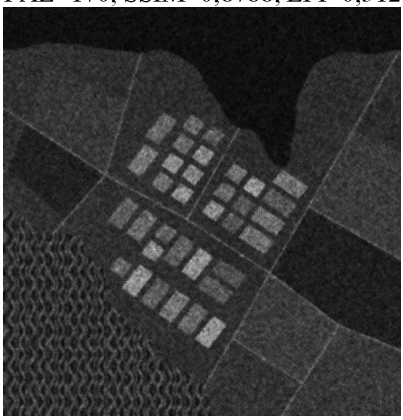
Вхідне зображення зі змішаним

адитивним (σ_a^2=225), спекл (L=4) та імпульсним шумом (d=1%)



Вихідне зображення центрально-зваженого медіанного фільтру (5×5): PSNR=25,5 дБ; MAE=9,1; PAE=101; SSIM=0,8610; EPI=0,181

Вихідне зображення фільтру Лі (5×5): PSNR=25,9 дБ; MAE=8,3; PAE=170; SSIM=0,8788; EPI=0,312



Вихідне зображення векторного сигма-фільтру (5×5): PSNR=26,5 дБ; MAE=8,6; PAE=92; SSIM=0,8904; EPI=0,294

Критерії аналізу та класифікації інформаційних хвиль у відкритих джерелах

Пастухов Д.В., Клименков О. А.
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна
edu.dvpastukhov@gmail.com; oleg@klymenkov.com

Інформаційна хвиля - процес поширення взаємопов'язаних публікацій та повідомлень навколо теми чи події з одним або кількома епізодами підвищеної активності. Це робоче визначення для запропонованої схеми.

Для комплексного опису інформаційної хвилі запропоновано шість критеріїв, які характеризують її перебіг, поширення, зміст і реакції та дають змогу зіставляти хвилі за спільною схемою.

1. Часова структура. Хвиля може мати один чи декілька епізодів підвищеної активності. Епізод - неперервний часовий інтервал, у якому кількість тематичних публікацій перевищує фоновий рівень. Динаміка кількості тематичних публікацій відображає зростання та спад активності [1]. Семантичне групування виявляє тематично близькі повідомлення [2]. Належність повідомлень до тієї самої події потребує додаткової перевірки з урахуванням контексту.

2. Різноманіття джерел. Джерелом вважається окремий сайт, канал або акаунт платформи. Хвилі можуть бути одно- та багатоджерельними. Для відстеження активності, охоплюються сайти, соціальні мережі, відеохостинги, месенджери тощо. Семантичне групування у поєднанні з часовими мітками та аналізом зв'язків між публікації використовується для реконструкції ймовірних шляхів поширення повідомлень [3]. Напрямок може відстежуватись як за прямими репостами, посиланнями на публікації, так і копіюванням публікацій без уточнення джерела запозичення.

3. Ознаки координації поширення. Для поширювачів повідомлень фіксуються виявлені ознаки координації, їх невиявлення або недостатність даних. Повторювані часові збіги та поширення тих самих повідомлень різними акаунтами можуть слугувати такими ознаками [4]. Для відстеження координації використовується порівняння серед інших джерел даних. Невиявлення ознак не доводить відсутність координації.

4. Подання змісту. Тональність характеризує позитивне, негативне або нейтральне забарвлення тексту, а вираження позиції автора - підтримку визначеного об'єкта або виступ проти нього. Одна позиція може виражатися текстами різної тональності [5]. Окремо

позначаються повідомлення без вираженої позиції та з неоднозначною позицією.

5. Реакція аудиторії. Коментарі аналізуються з урахуванням контексту публікації та гілки обговорень. У них визначаються виражені емоції, тональність та позиції окремої особи. Результати аналізу характеризують лише тих користувачів, чиї коментарі було проаналізовано, і не дають підстав поширювати висновки на всю аудиторію. Частки коментарів із певними емоціями, тональністю та позицією обчислюються від загальної кількості проаналізованих коментарів - зазначається кількість і частка виявлених позицій, а також окремо частку, де позицію визначити не вдалось.

6. Участь ботів і скоординованих груп в обговоренні. Аналізуються профілі, частота дій, повторюваність текстів, часові збіги та зв'язки між акаунтами [4, 6]. Автоматизація та координація оцінюється окремо: узгоджено діяти можуть і окремі люди.

Запропоновані критерії дають змогу систематизувати характеристики інформаційних хвиль і створюють основу для подальшого оцінювання їхнього когнітивного впливу. Таке оцінювання потребує окремого дослідження змін у сприйнятті, переконаннях або поведінці аудиторії.

Використані джерела:

1. Ланде Д.В. Тренди відображення інформаційних операцій в інформаційному просторі. 2013. №1 (7). С. 82-88. https://x-scif.info/wp-content/uploads/2020/10/13ldvoip.pdf

2. Павлишенко Б.М. Кластерний аналіз повідомлень груп новин у просторі семантичних ознак. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні системи та мережі. 2012. №745. С. 148-155. https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/nov/6733/23-148-155.pdf

3. Висоцька В., Чирун Л., Тепли Я., Куриляк Ю., Торшин В. Дослідження механізмів виявлення джерел та шляхів розповсюдження фейкових новин і пропаганди в кіберпросторі соціальних мереж. Кібербезпека: освіта, наука, техніка. 2026. Т. 1, №33. С. 207-224 https://doi.org/10.28925/2663-4023.2026.33.1126

4. Pacheco D. et al. Uncovering Coordinated Networks on Social Media: Methods and Case Studies. arXiv:2001.05658v2. 2021. https://arxiv.org/pdf/2001.05658v2

5. Mohammad S.M. et al. SemEval-2016 Task 6: Detecting Stance in Tweets. Proceedings of the 10th International Workshop on Semantic Evaluation (SemEval-2016). 2016. P. 31-41. https://aclanthology.org/S16-1003.pdf

6. Бучик С., П'ятигор В. Методологічні засади виявлення автоматизованих акаунтів у соціальних мережах. Кібербезпека: освіта, наука, техніка. 2026. Т. 1, №33. С. 728-744. https://doi.org/10.28925/2663-4023.2026.33.1266

Проксі-дані для еквівалентних моделей законів розподілу в умовах закритості енергетичних даних України

Бондарчук О.В., Мокін Б.І.

(Вінницький національний технічний університет, E-mail: alexey.bondarchuk@aleax.me)

Стохастичні моделі балансування енергосистеми потребують законів розподілу приростів виробітку електростанцій і зупинок енергоблоків, але погодинний виробіток СЕС і ВЕС в Україні відкрито не публікується, а погодинні поблочні ряди АЕС закриті з 2022 року. Тому в нашому дослідженні постало питання, звідки брати дані для моделей і де межа заміни вітчизняних рядів іноземними (проксі-даними).

Закони розподілу ми будуємо як еквівалентні моделі [1, 2], у яких інтегральну функцію розподілу задано чисельно за гістограмою вибірки. Форму розподілу приростів СЕС і ВЕС взято з даних торгової зони Німеччини (SMARD), АЕС — з погодинних рядів двох блоків ВВЕР-1000 АЕС «Козлодуй» (ENTSO-E, Energy-Charts), того самого типу, що й тринадцять із п'ятнадцяти українських блоків. Добовий поблочний виробіток українських АЕС за 2018–2023 роки (для зупинок) і погодинний сумарний виробіток АЕС ОЕС України взято з порталу Energy Map. Похідні ряди ми оприлюднили у відкритих наборах даних [3, 4].

Заміна виправдана там, де фізика процесу однакова. Частота виходу блока з базового режиму одного порядку: 1,5 скиду понад 300 МВт на блоко-рік у Болгарії (погодинний ряд, зупинки й розвантаження) і 1,40 зупинки на блоко-рік в українських ВВЕР-1000 (добовий ряд). Прирости виробітку блока зосереджені біля нуля й мають асиметричні хвости маневрів, які на малій вибірці надійніше задати еквівалентною моделлю, ніж підбором теоретичного закону.

Межу заміни показує погодинний сумарний виробіток АЕС ОЕС України за 2019–2021 роки (рис. 1). Середньоквадратичне відхилення його погодинного приросту становило 0,48 % рівня проти 0,36 % у двох болгарських блоків, тобто відношення 1,34 замість 0,46, очікуваного за незалежних змін потужності близько дев'яти блоків у роботі. Коливання були приблизно втричі сильнішими, ніж дала б сума незалежних блоків: потужність змінювалась спільно на багатьох блоках, що узгоджується з диспетчерськими розвантаженнями АЕС у періоди профіциту, а болгарський ряд базового режиму спільної складової не містить.

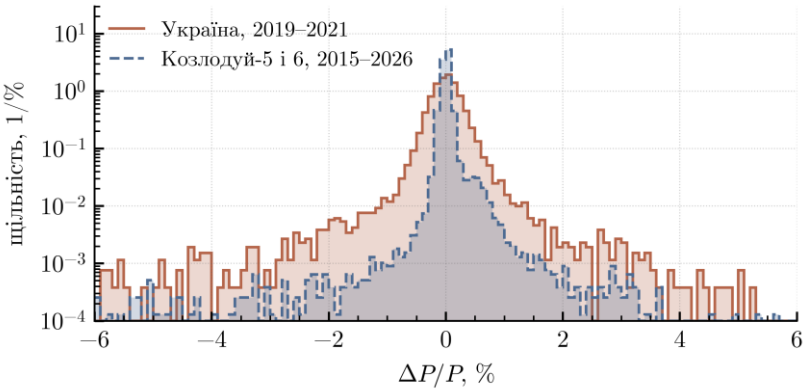


Рисунок 1 – Щільність розподілу погодинних приростів виробітку АЕС України і Болгарії

Під час таких розвантажень втрачається енергія базової генерації, яку енергосистема не приймала. Її частину в межах потужності кластера може спожити кероване навантаження, розміщене біля АЕС за точкою обліку, без зміни потужності реактора, як у нашій моделі [5].

Отже, проксі-дані придатні для форми розподілу технологічних змін потужності блока та генерації СЕС і ВЕС, а режимні зміни, спільні для багатьох блоків, слід моделювати за вітчизняними даними.

Список використаних джерел:

1 Мокін Б. І., Мокін О. Б., Войцеховська О. О., Шалагай Д. О., Бондарчук О. В. Еквівалентні моделі законів розподілу випадкових величин. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2024. № 2 (173). С. 53–60. DOI: https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-173-2-53-60.

2 Мокін Б. І., Войцеховська О. О., Собчук Н. В., Бондарчук О. В. Еквівалентні моделі функцій розподілу даних випадкового характеру. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2024. № 4 (175). С. 66–74. DOI: https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-175-4-66-74.

3 Bondarchuk O. Germany Wind, Solar & Day-Ahead Prices 2024-2026. Kaggle, 2026. DOI: https://doi.org/10.34740/KAGGLE/DSV/20955392.

4 Bondarchuk O. VVER Nuclear Generation: BG/CZ/SK/HU + Ukraine. Kaggle, 2026. DOI: https://doi.org/10.34740/KAGGLE/DSV/20955406.

5 Бондарчук О. В., Мокін Б. І. Системний аналіз та стохастична оптимізація впливу розміщення майнінгового кластеру біля АЕС на стабілізацію частоти. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2026. № 3 (186). С. 35–42. DOI: https://doi.org/10.31649/1997-9266-2026-186-3-35-42.

Система підтримки прийняття рішень для динамічного розподілу ділянок автономного руху між тролейбусами

Резнік Р. Ю., Мокін Б. І., Мокін О. Б.
(Вінницький національний технічний університет,
E – mail: re3nik.roman@gmail.com)

Контактна мережа є одним із основних чинників, що обмежують просторове розширення тролейбусної транспортної мережі. Використання тролейбусів з акумуляторними батареями дає змогу поєднати рух під контактною мережею з автономним рухом на неелектрифікованих ділянках [1, 2]. Це створює можливість розширення зони обслуговування без обладнання кожної бічної вулиці окремою контактною інфраструктурою

В доповіді запропоновано систему підтримки прийняття рішень для динамічного розподілу неелектрифікованих бічних ділянок між тролейбусами з акумуляторними батареями з урахуванням енергетичних, часових та просторових обмежень і мінімізацією впливу автономних відхилень на функціонування базового маршруту.

Прив'язано СППР до базового тролейбусного маршруту із контактною мережею, зона обслуговування якого обмежена її просторовим розташуванням, а неелектрифіковані бічні вулиці залишаються поза межами тролейбусного обслуговування.

Перспективним способом розширення зони обслуговування є використання тролейбусів, обладнаних акумуляторними батареями [1]. У цьому випадку тролейбус може залишати базовий маршрут у визначеній точці, здійснювати рух неелектрифікованою бічною ділянкою та повертатися до основного маршруту. Після повернення рух під контактною мережею забезпечує одночасно виконання основної транспортної роботи та відновлення заряду акумуляторної батареї, як показана на рис.1.

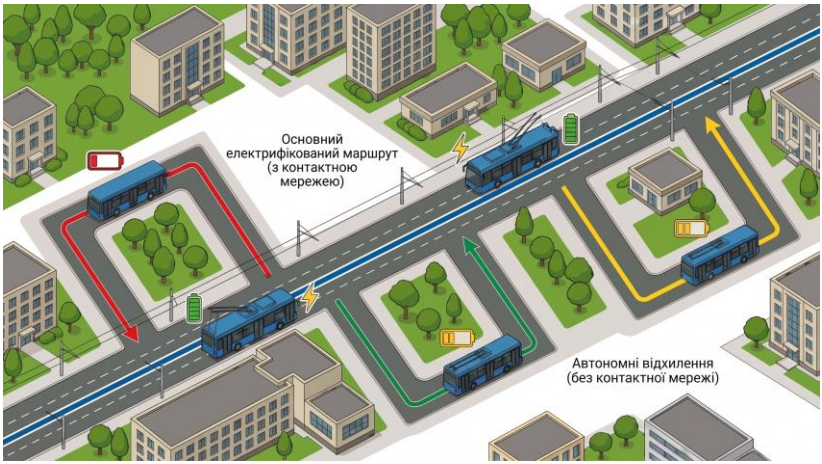


Рисунок 1 - Концептуальна схема розширення зони обслуговування тролейбусного маршруту за рахунок автономних відхилень

Таким чином, виникає задача не лише визначення можливості окремого автономного відхилення, а й динамічного розподілу доступних бічних ділянок між транспортними засобами парку.

СППР функціонує циклічно. На кожному етапі вона отримує інформацію про поточний стан базового маршруту, положення тролейбусів, рівень заряду їхніх акумуляторних батарей, доступні бічні неелектрифіковані ділянки та параметри графіка руху. Необхідність урахування взаємодії транспортного руху, енергетичних параметрів і можливих відхилень узгоджується з підходами до моделювання battery-assisted trolleybus systems [3].

Для кожної бічної ділянки СППР спочатку визначає множину тролейбусів, які потенційно можуть її обслужити.

При цьому відкидаються варіанти, для яких:

- бічна ділянка не має допустимого сполучення з базовим маршрутом або її просторове розташування не забезпечує своєчасного повернення тролейбуса до контактної мережі
- після виконання відхилення не забезпечується необхідний рівень заряду для повернення на базовий маршрут.

Для усіх варіантів формується множина допустимих рішень. СППР визначає, який тролейбус, на яку ділянку та в який момент доцільно направити.

При цьому пріоритет може надаватися рішенням, які забезпечують найбільше транспортне охоплення за мінімального впливу на базовий маршрут. Таким чином, один і той самий тролейбус не закріплюється постійно за однією бічною вулицею. Після виконання відхилення та

повернення на електрифіковану частину маршруту його акумуляторна батарея знову заряджається, після чого транспортний засіб може бути призначений для іншої бічної ділянки.

Запропонований підхід створює передумови для розширення зони обслуговування міської маршрутної мережі без пропорційного розширення контактної інфраструктури.

Список використаних джерел:

E. Stavropoulou, C. Iliopoulou, and K. Kepaptsoglou, "Battery-Assisted Trolleybus Network Design: Model and Application," *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, vol. 148, no. 9, Art. no. 04022063, 2022. doi: https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000713.

D. Grygar, M. Kohání, R. Štefún, and P. Drgoň, "Analysis of limiting factors of battery assisted trolleybuses," *Transportation Research Procedia*, vol. 40, pp. 229–235, 2019. doi: https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.035.

J. Ševčík, J. Přikryl, and Z. Peroutka, "In-motion charged vehicle simulation considering traffic and power grid interactions," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 109, Art. no. 103322, 2022. doi: https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103322.

Критерій збереження рішень ЕКГ-автентифікації при цілочисловому квантуванні

Буцій Р.А.[1], Лупенко С.А[2]

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

[2]Політехніка Опольська, Польща

E-mail: butsii_roman@nas.gov.ua

Цілочислове кодування ознак електрокардіограми (ЕКГ) може змінювати порогове рішення через округлення. Мета роботи — отримати достатній критерій незмінності рішення, який перевіряється за цілочисловою відстанню без доступу до відкритого еталона.

Нехай ЕКГ подано як циклічний випадковий процес [1], за зонно-циклічною структурою оцінено функцію ритму, яка узгоджує фазові положення зубців P, R і T. Після віднімання медіани й ділення на максимальне абсолютне відхилення координати неплоского циклу належать $[-1,1]$. Еталон $\mathbf{u}$ усереднює реєстраційні цикли, проба $\mathbf{v}$ — K послідовних циклів [2]. Для $\mathbf{u}, \mathbf{v} \in [-1,1]^L$:

$$d = \frac{1}{L}\sum_{\ell=1}^{L}(u_\ell - v_\ell)^2\,, \qquad d \le \theta \;\Leftrightarrow\; \text{прийняти.} \quad (1)$$

Поріг $\theta \ge 0$ зафіксовано до тестування. За цілого масштабу $\gamma \ge 1$ координати округлимо до найближчих цілих: $a_\ell = \mathrm{round}(\gamma u_\ell)$, $b_\ell = \mathrm{round}(\gamma v_\ell)$. Обчислимо:

$$D = \sum_{\ell=1}^{L} (a_\ell - b_\ell)^2, \qquad d_\gamma = \frac{D}{L\gamma^2}. \quad (2)$$

Оцінка $\left|d_\gamma - d\right| \le \varepsilon_\gamma = 4/\gamma + 1/\gamma^2$ із [2] є консервативною для малих порогів.

За покоординатного округлення обох векторів до найближчих цілих справджується:

$$\left|\sqrt{d_\gamma} - \sqrt{d}\right| \le \frac{1}{\gamma}. \quad (3)$$

Позначимо $\mathbf{z} = \mathbf{u} - \mathbf{v}$ та $\mathbf{z}_\gamma = (\mathbf{a} - \mathbf{b})/\gamma$. Похибка кожної округленої координати не перевищує $1/(2\gamma)$, тому $\left|z_{\gamma,\ell} - z_\ell\right| \le 1/\gamma$ і $\| \mathbf{z}_\gamma - \mathbf{z} \|_2 \le \sqrt{L}/\gamma$. З оберненої нерівності трикутника одержуємо $\left| \| \mathbf{z}_\gamma \|_2 - \| \mathbf{z} \|_2 \right| \le \sqrt{L}/\gamma$. Ділення на $\sqrt{L}$ дає (3). Припущення про незалежність координат і розподіл похибок не потрібні.

Нехай $r_\gamma = \sqrt{d_\gamma}$, $h = 1/\gamma$. Тоді наведенні рішення щодо початкового класифікатора (1) визначаються умовами:

$$\begin{aligned} r_\gamma + h \le \sqrt{\theta} \quad &\Rightarrow \text{ прийняти,} \\ r_\gamma - h > \sqrt{\theta} \quad &\Rightarrow \text{ відхилити.} \end{aligned} \quad (4)$$

В інших випадках незмінність рішення не гарантована; це не означає, що воно обов'язково змінилося, тому критерій залежить лише від D, L, γ, θ, а не від відкритих координат. Тоді довірений компонент може застосувати його після розшифрування D. Для протоколу Paillier з [2] точне відновлення D забезпечує умова $4L\gamma^2 < n$, де n — модуль шифрування. Отже, похибка квантування відокремлена від точної зашифрованої арифметики.

Було проаналізовано результати дослідження [2]: 18 учасників CEBSDB, 13551 цикл ЕКГ і $L = 360$. Записи b0xx утворюють групу S1, m0xx — S2 для тих самих осіб. Перша половина S1 формує еталони, друга — калібрує пороги; S2 використовується лише для тестування. Для $K = 1$ виконано 134478 порівнянь, для $K = 5$ — 26748. Пороги залишено незмінними: $\theta_1 \approx 0{,}0009824864$, $\theta_5 \approx 0{,}0008386319$. Обидва критерії було перевірено на тих самих відстанях [2]; порівняння з точними раціональними порогами реалізовано цілочисельно. У таблиці наведено кількість порівнянь, для яких відповідний критерій не гарантує збереження рішення після квантування: U_0 — для правила $d_\gamma + \varepsilon_\gamma \le \theta$ або $d_\gamma - \varepsilon_\gamma > \theta$ з [2]; U_1 — для критерію (4). Частку гарантовано незмінних рішень обчислено за критерієм (4).

Таблиця 1 — Порівняння на S2 за $\gamma = 1000$

K	U_0	U_1	**Гарантовано незмінні рішення, %**
1	74155	1139	99,15
5	14915	87	99,67

За $\gamma = 1000$ кількість порівнянь, для яких збереження рішення не гарантоване, зменшилася з 89070 до 1226 — на 98,62%. Для 160000 рішень (99,24%) критерій гарантує незмінність після квантування; числова перевірка підтвердила їхній збіг із рішеннями до квантування. Усі 13 змін рішень відбулися серед порівнянь, для яких критерій не дає такої гарантії. За $\gamma \in \{100,1000,10000\}$ порушень оцінки (3) та розбіжностей серед гарантовано незмінних рішень не виявлено.

Отже було отримано незалежний від розмірності достатній критерій, який збільшує частку рішень із гарантованою незмінністю після квантування без зміни порогів класифікації. Критерій гарантує збіг рішень до та після квантування, але не правильність встановлення особи.

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. Butsii R., Lupenko S., Leanavets M., Stadnyk N. Privacy-Preserving ECG Authentication via Additively Homomorphic Matching of Rhythm-Adaptive Cardiac-Cycle Templates. SMICS'26, Cryptology and Data Security. 2026.

Дифракція акустичних хвиль на кутах хвилеводів

Кузьменко В.В., Троценко Я.П.

(Київський національний університет імені Тараса Шевченка, E - mail: vovakuzmenko0200@gmail.com, yaroslav.trotsenko@knu.ua)

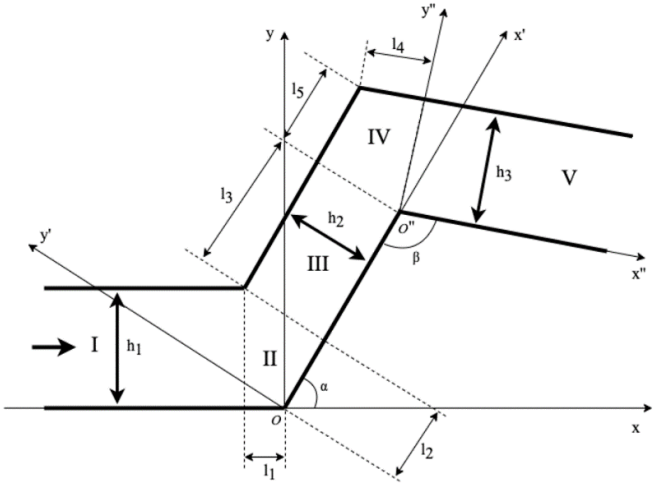
Дифракція акустичних хвиль на геометричних неоднорідностях є важливою проблемою акустики, оскільки зміна геометрії меж поширення звуку може спричиняти перерозподіл акустичної енергії, збудження вищих мод та зміну ефективності передавання звукового сигналу [1]. Особливий інтерес становлять кути та вигини хвилеводів, де зміна напрямку поширення хвилі супроводжується взаємодією відбитих і переданих хвильових компонентів.

Хвилеводи широко застосовуються в акустичних системах, звукопроводах та інженерних пристроях. Характеристики поширення звуку в них визначаються як частотою збудження та шириною каналу, так і геометрією його окремих ділянок. Зокрема, наявність гострих кутів

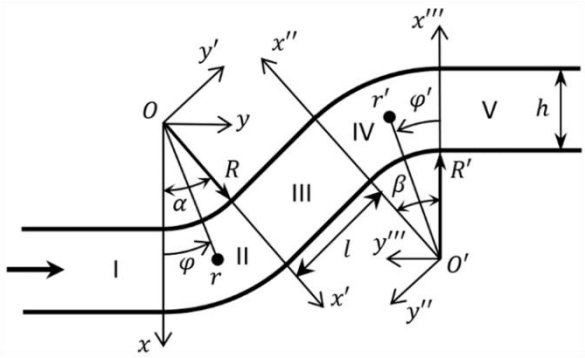
може спричиняти інтенсивну дифракцію та трансформацію мод [2]. Тому дослідження впливу геометрії кутових ділянок на структуру акустичного поля є важливим для прогнозування та керування передаванням звукової енергії.

Для аналізу хвильових процесів у структурах складної геометрії ефективним є метод часткових областей, який передбачає поділ розрахункової області на простіші ділянки з подальшим спряженням розв'язків на їхніх межах [3]. Метою цієї роботи є дослідження дифракції акустичних хвиль на кутах плоского хвилеводу та визначення впливу їхньої геометрії на енергетичні характеристики хвильового процесу.

Розглядається нескінченний плоский хвилевід із двома кутовими ділянками. Досліджуються дві конфігурації: хвилевід із гострими кутами та хвилевід із заокругленими кутами (рис. 1). Хвилевід заповнений ідеальною стисливою рідиною, а його стінки вважаються абсолютно жорсткими. Втратами акустичної енергії в середовищі нехтуємо. Зліва на кутові ділянки падає гармонічна плоска хвиля з одиничною амплітудою акустичного тиску.



a



б

Рис. 2. Схема хвилеводу: *а* – з гострими кутами;
б – з округлими кутами

Для розв'язання задачі застосовано метод часткових областей. Акустичне поле в кожній області подається у вигляді суперпозиції нормальних мод, а на межах суміжних областей забезпечується спряження хвильових полів. Це дає змогу сформувати систему рівнянь для визначення невідомих амплітуд мод і розрахувати енергетичні характеристики відбитої та переданої хвиль.

Результати розрахунків свідчать, що геометрія кутових ділянок істотно впливає на структуру акустичного поля, співвідношення відбитої та переданої енергії й характер трансформації мод. У хвилеводах із гострими кутами відбувається ефективний перерозподіл енергії між модами різних порядків. Натомість у хвилеводах із заокругленими вигинами за певних геометричних і хвильових параметрів можливе повне блокування передавання акустичної енергії. Для верифікації результатів перевірено виконання закону збереження енергії.

Отримані результати мають практичне значення для дослідження та проєктування хвилеводів складної геометрії. Визначені закономірності перерозподілу енергії можуть бути використані для оптимізації геометричних параметрів акустичних каналів, керування модальним складом поля та розроблення частотно-селективних акустичних пристроїв.

1. Grinchenko V. T., Vovk I. V., Matsypura V. T. Acoustic wave problems: monography. – New York: Begell House, Inc., 2018. – 439 p.

2. Мелешко В. В., Маципура В. Т., Улітко І. А. Теорія хвилеводів : навч. посіб. – Київ: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2013. – 415 с.

3. Гринченко В. Т., Вовк І. В., Маципура В. Т. Основи акустики : навчальний посібник. – Київ: Видавництво "Наукова думка" НАН України, 2007. – 640 с.

Бенчмаркінг методів відновлення пропущених даних у малих вибірках фінансових часових рядів

Мельник С.М. Козачко О.М.
Вінницький національний технічний університет
E-mail: serhiimelnyk8@gmail.com, pkom@vntu.edu.ua

У сферах фінансової інженерії та розробки систем підтримки рішень (СППР) часто виникає питання аналізу часових рядів із високим ступенем інформаційного дефіциту. Обробка фінансових показників в ситуаціях інформаційної невизначеності ускладнюється наявністю прогалин у даних, що пояснюються різними причинами — від технічних збоїв до тривалих періодів неліквідності або структурних ринкових збоїв.

Як показано в наших попередніх дослідженнях [1], багатокрокові алгоритми статистичного відновлення є вразливими до нестачі інформації. Ця робота розширює дослідження на фінансові ряди, аналізуючи стійкість методів до структурних дефектів.

Метою роботи є тестування алгоритмів імпутації на малій вибірці ($N = 25$) котирувань акцій (Apple Inc.) за умов стохастичних і структурних пропусків.

Для бенчмаркінгу обрано сім методів: статистичне заміщення (Mean), локальне перенесення (LOCF), лінійна інтерполяція (Linear), сплайни (Spline order=2), просторовий пошук (KNN, $k = 3$), випадкові ліси (MissForest) та байєсівська множинна імпутація (MICE). Точність оцінювали за допомогою таких показників: середня абсолютна відсоткова похибка (MAPE), середньоквадратична похибка (RMSE) та середня абсолютна похибка (MAE).

Було змодельовано шість реалістичних сценаріїв: випадкові точкові пропуски даних (MCAR), синхронна відсутність коваріат (Multivariate Blackout), стрибки волатильності (Structural Shock), зміна напрямку тренду (Trend Reversing), а також блокові (Continuous) та періодичні (Cyclic) пропуски. Результати для основних методів наведено в Таблиці 1.

Таблиця 1. Точність відновлення (MAPE, %) за різних сценаріїв дефектів ($N = 25$)

Сценарій / Метод	MICE	Linear	KNN (k=3)	LOCF
MCAR	1.79	14.11	14.21	13.30
Multivariate Blackout	15.14	6.55	15.14	10.59
Structural Shock	0.62	9.45	3.61	15.93

Trend Reversal	2.04	9.45	1.56	3.82
Continuous	1.32	6.08	2.31	7.04
Cyclic	1.36	5.21	1.42	3.66

Результати числових експериментів демонструють, що продуктивність багатокритеріальних моделей суттєво залежить від наявності багатовимірного контексту. Алгоритм MICE досяг найвищої точності в більшості сценаріїв (MAPE від 0,62 до 1,79%); однак для дуже малих вибірок цей результат значною мірою зумовлений перенавчанням, пов'язаним з висококорельованими синхронними ознаками.

У разі системного дефіциту даних, коли паралельні коваріати повністю відсутні, багатовимірні моделі (MICE, MissForest, KNN) втрачають свою регресійну базу й переходять до наївного імпутування середнім значенням (MAPE 15,14%). У такій ситуації оптимальними стають детерміновані часові інтерполяції (лінійна, MAPE 6,55%). Однак у критичних точках (місцях зміни напрямку тренду) лінійна апроксимація порушує тренд (MAPE 9,45%), тоді як метод пошуку локальних аналогів KNN зберігає нелінійну динаміку ряду (MAPE 1,56%). Порівняння динаміки відновлення для цих сценаріїв наведено на рис. 1.

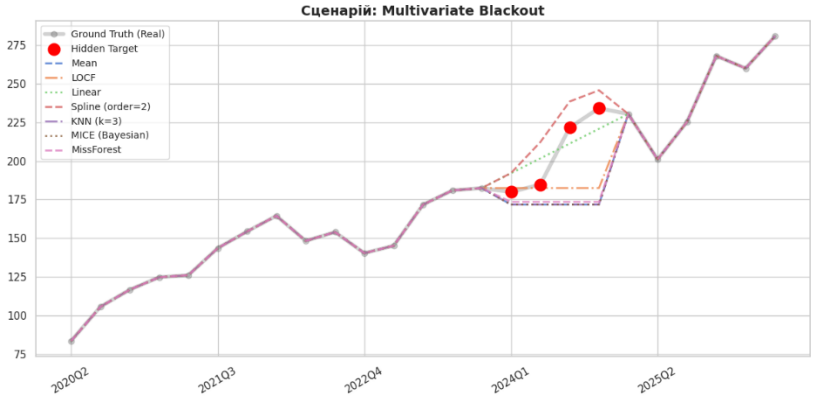


Рис. 1. Динаміка відновлення ряду за сценарію Multivariate Blackout

Висновки. Універсального методу імпутації для малих вибірок фінансових рядів не існує. Використання складних регресійних та ймовірнісних моделей (зокрема MICE) на вибірках малого обсягу несе критичні ризики повної втрати точності під час системних збоїв. Це підтверджує раніше висунуту гіпотезу про вичерпаність класичних регресійних підходів в умовах дефіциту даних[2].

Список використаних джерел:

1. Мельник С. М., Козачко О. М. Аналіз традиційних методів відновлення пропусків у малих вибірках даних. Матеріали LV Всеукраїнської науково-технічної конференції ВНТУ. Вінниця, 2026.
2. Kovtun V., Grochla K., Al-Maitah M., Aldosary S., Kozachko O. Entropy-extreme concept of data gaps filling in a small-sized collection. Egyptian Informatics Journal. 2025. Vol. 29. Article 100621.

Обґрунтування мінімально необхідної кількості членів обрізаних степеневих рядів у задачі еквівалентування моделей оптимального руху електромобіля

Пасєка Б. В., Мокін Б. І., Мокін О. Б.
(Вінницький національний технічний університет, E-mail: bogdanpaseka2000@gmail.com)

Математичні моделі оптимального руху електромобіля з тяговим електроприводом змінного струму реалізуються методом послідовних наближень і на кожному кроці ітераційної процедури вимагають обчислення значень експоненціальної, синусоїдальної, косинусоїдальної, логарифмічної та радикальної функцій [1]. Кожну з цих функцій можна подати степеневим рядом Тейлора—Маклорена, члени якого обчислюються лише додаванням, відніманням і множенням [2]. Оскільки обчислення трансцендентної функції потребує на кілька порядків більше машинного часу, ніж елементарні алгебраїчні операції, саме такі складові й визначають загальні часові витрати, а тому замінити їх обрізаними рядами — виконати еквівалентування — запропоновано в [3].

Однак у [3] кількість членів ряду визначено порівняльним аналізом графіків функцій та їх наближень, що дає лише якісну оцінку й не пов'язує порядок полінома з допустимою похибкою. Метою роботи є обґрунтування кількісного критерію вибору мінімально необхідної кількості членів обрізаного ряду.

В основу покладено дві тези. Перша: кількість членів слід визначати не на всій області визначення функції, а лише на діапазоні аргументу, який фактично реалізується в русі електромобіля. Друга: точність не має сенсу підвищувати понад рівень природної невизначеності вихідних даних — маси завантаження, стану покриття, метеоумов, — яка становить одиниці відсотків. Кількісною мірою є максимальна відносна похибка

$$\delta_n(x) = \frac{|P_n(x) - f(x)|}{|f(x)|} \cdot 100\ \% \qquad (1)$$

де f(x) — трансцендентна функція, Pn(x) — обрізаний ряд з n членів. Мінімально необхідною є найменша кількість членів, за якої

$$\delta_n(x) \le \delta_{\text{доп}},\ x \in [x_{\min}; x_{\max}] \quad (2)$$

Фактичні діапазони визначено з параметрів привода та кроку керування. Для струму крейсерського режиму 14,7…25,8 А за базового значення 30 А відносний струм належить діапазону i ≈ 0,49…0,86, тому оцінювання виконано на [0; 0,9]. Аргумент експоненти x = (f1 + 2f2v)Δτ за кроку Δτ = 0,001, тобто реального кроку 0,1 с, не перевищує 0,0015. Кути нахилу дорожнього полотна β не перевищують π/6.

За таких діапазонів експоненціальна складова апроксимується прямою лінією

$$e^x \approx 1 + x \quad (3)$$

радикальна — параболою з членом четвертого степеня

$$\sqrt{i^2+1} \approx 1 + \frac{1}{2}i^2 - \frac{1}{8}i^4 \quad (4)$$

логарифмічна — трьома членами ряду

$$\ln\left(i + \sqrt{i^2+1}\right) \approx i - \frac{1}{6}i^3 + \frac{3}{40}i^5 \quad (5)$$

а тригонометричні — двома членами кожна

$$\sin\beta \approx \beta - \frac{1}{6}\beta^3,\ \cos\beta \approx 1 - \frac{1}{2}\beta^2 \quad (6)$$

Обчислені на цих діапазонах максимальні відносні похибки не виходять за межі 0,0001 % для експоненціальної складової, 1,66 % для радикальної та 0,81 % з урахуванням члена шостого степеня, 1,72 % для логарифмічної, 0,065 % для синусоїдальної та 0,358 % для косинусоїдальної.

За прийнятого δдоп = 2 % мінімально необхідними є два члени для експоненціальної та обох тригонометричних складових і три — для логарифмічної та радикальної. Додатковий член шостого степеня в радикальній складовій зменшує похибку вдвічі — з 1,66 до 0,81 % — і виправданий лише тоді, коли аргумент наближається до одиниці.

Показовим є випадок експоненти: на формальному відрізку [0; 0,2] лінійне наближення дає 1,75 %, а на фактичному — на чотири порядки менше.

Отже, обґрунтовано кількісний критерій вибору мінімально необхідної кількості членів обрізаних степеневих рядів у задачі еквівалентування моделей оптимального руху електромобіля та визначено значення цієї кількості для всіх трансцендентних складових. Установлені кількості членів забезпечують похибку еквівалентування не вище 1,8 % за коефіцієнта пришвидшення обчислень 2,55 для прямолінійного й рельєфного руху та 5,78 для руху на поворотах.

Література

1. Мокін Б. І., Мокін О. Б., Горенюк В. В. Системний аналіз оптимального руху електромобіля з асинхронним електроприводом : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2023. 114 с.
2. Вища математика. Числові та функціональні ряди : навч. посібник / уклад.: О. В. Борисенко, В. В. Листопадова. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 117 с. URL: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/67184
3. Мокін Б. І., Мокін О. Б., Пасєка Б. В. Еквівалентні моделі процесу обчислень в задачі синтезу моделей оптимального руху електромобіля з асинхронним електроприводом. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2026. № 2.

Аналітичне оцінювання передавання ударного навантаження до зони прихоплення бурильної колони в горизонтальній свердловині

Рибачук С.А.,
serhii.rybachuk@ukrnafta.com (АТ "УКРНАФТА"),
Стефурак Р.І.,
r.stefurak@istu.edu.ua, канд. техн. наук, доц., доц. кафедри інформаційно-комунікаційних та нафтогазових технологій (Заклад вищої освіти "Міжнародний науково-технічний університет імені академіка Юрія Бугая")

Ліквідація прихоплень бурильного інструмента в горизонтальних свердловинах ускладнюється просторовим положенням бурильної колони, її контактом зі стінками свердловини та опором осьовому переміщенню. За таких умов ефективність застосування бурильних ясів залежить не лише від параметрів їх спрацювання, а й від передавання ударного навантаження вздовж колони до зони прихоплення [1, 2]. Актуальність проблеми також пов'язана з необхідністю врахування геолого-технічних умов і механічної взаємодії бурильної колони зі свердловиною [3].

Авторський виробничий аналіз 14 випадків прихоплень у горизонтальних свердловинах Дніпровсько-Донецької западини за 2012–2026 рр. показав, що 50 % припадало на візейські, а 36 % — на серпуховські відклади. Розподіл за механізмами прихоплення наведено в таблиці.

Таблиця. Розподіл випадків прихоплень бурильного інструмента за механізмом виникнення

Механізм прихоплення	Кількість випадків	Частка, %
Осипання гірських порід	9	64
Диференційне прихоплення	4	29
Розклинювання	1	7
Усього	14	100

Наведені дані обґрунтовують необхідність оцінювання передавання ударного навантаження з урахуванням взаємодії колони зі свердловиною. Під час аналізу різних ударних пристроїв слід враховувати відмінності в принципах формування удару та передавання навантаження [3].

У першому наближенні бурильну колону можна подати як однорідний пружний стрижень. Поздовжній рух його перерізів описується хвильовим рівнянням:

$$\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2}, \quad (1)$$

де $u(x,t)$ — поздовжнє переміщення перерізу колони; x — поздовжня координата; t — час; c — швидкість поширення поздовжньої пружної хвилі, яка для однорідного стрижня визначається залежністю ($c = \sqrt{E/\rho}$); E — модуль пружності матеріалу; ρ — густина матеріалу.

Осьове зусилля в перерізі колони пов'язане з поздовжньою деформацією залежністю:

$$N(x,t) = EA \frac{\partial u(x,t)}{\partial x}, \quad (2)$$

де $N(x,t)$ — осьове зусилля; A — площа поперечного перерізу колони. Знак зусилля визначається прийнятою системою координат і напрямком деформації.

Спільне використання рівнянь (1) і (2) дає змогу оцінювати часову зміну осьового зусилля в заданому перерізі колони за визначених початкових і граничних умов та заданого ударного збудження. Подібні підходи застосовують для аналізу поздовжніх коливань бурильної колони й оцінювання її динамічного відгуку [4].

Водночас базова одновимірна модель не враховує розподіленого контакту колони зі стінками горизонтальної свердловини, сил тертя та пов'язаних із ними дисипативних втрат. Тому осьове зусилля характеризує динамічний відгук у межах прийнятих припущень, але саме по собі не визначає ймовірності ліквідації прихоплення.

Отже, хвильовий опис поздовжніх коливань є теоретичною основою для аналітичного оцінювання передавання ударного навантаження вздовж бурильної колони. Подальший розвиток підходу

передбачає врахування контактної взаємодії, втрат енергії та профілю свердловини, що дасть змогу обґрунтовувати раціональне розташування бурильного яса відносно зони прихоплення.

Список використаної літератури:

1. Стефурак Р. І., Яремійчук Р. С. Деякі аспекти впровадження сучасних технологій буріння глибоких нафтових і газових свердловин (оглядова стаття). Мінеральні ресурси України. 2023. № 3. С. 30–38. https://doi.org/10.31996/mru.2023.3.30-38.
2. Lyskanych M. V., Slabyi O. O., Berezhnytskyi B. O. Analysis of wave disturbance in the drill string while releasing stuck pipes. Oil and Gas Power Engineering. 2020. № 1(33). P. 7–18. https://doi.org/10.31471/1993-9868-2020-1(33)-7-18.
3. Ihnatov A. O., Stavychnyi Ye. M., Askerov I. K., Bochkur Yu. V., Rybachuk S. A. Technical means and technologies for eliminating stuck drill pipes in wells. Collection of Research Papers of the National Mining University. 2026. № 85. https://doi.org/10.33271/crpnmu/85.056.
4. Tian J., Wu C., Yang L., Yang Z., Liu G., Yuan C. Mathematical Modeling and Analysis of Drill String Longitudinal Vibration with Lateral Inertia Effect. Shock and Vibration. 2016. Vol. 2016. Article ID 6281264. https://doi.org/10.1155/2016/6281264.

Інформаційні технології й управління людськими ресурсами: розпізнавання просторових жестів для систем невербальної тактичної комунікації

Сливка В. В., Мельничук В. Е.
(Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського",
E - mail: veronikaslyvka@gmail.com)

Ведення розвідувальних операцій жорстко регламентується режимом радіомовчання. Невербальна комунікація часто стає єдиним безпечним каналом передачі тактичних наказів. Бійці використовують стандартизовані просторові жести [1], які зобов'язані безперервно відстежувати оператори дронів або стаціонарні системи відеоспостереження. Проте існує критична апаратна вразливість, оскільки тривалий моніторинг екрана провокує стрімку зорову втому. Під час аналізу методів оптичного контролю було виявлено базову проблему — людський фактор неминуче призводить до втрати концентрації та пропусків життєво важливих візуальних сигналів. Інтерфейси спостереження потребують структурної оптимізації, тому впровадження інформаційних технологій автоматичного розпізнавання рухів дозволить частково нівелювати цей ризик, переклавши завдання первинної детекції сигналів з оператора на обчислювальні алгоритми.

Практична ціль дослідження зводиться до проєктування архітектури інформаційної системи, яка автономно ідентифікуватиме невербальні накази на відеопотоках з камер. Увагу зосереджено на

конструюванні безперебійного обчислювального ланцюга: від стартової розкадровки та фіксації силуету військовослужбовця до миттєвої генерації тригера. Виснажливий зоровий контроль має перетворитися на подієво орієнтований процес, у якому оператор реагуватиме виключно на готові апаратні сповіщення. Технічним фундаментом такого рішення є математичний апарат для обчислення просторових кутів, завдяки якому здійснюється точна верифікація статичних положень кінцівок. Паралельно алгоритм архівуватиме точний таймкод кожного виявленого жесту. Запропонований механізм надійно захищає від пропуску життєво важливих наказів через банальне виснаження або короткочасну відсутність людини біля дисплея.

Фундаментом обчислювального ядра обрано апарат векторної алгебри. Він дозволяє абстрагуватися від піксельної сітки зображення. Спочатку детектор генерує координати опорних суглобів. Зафіксований каркас людини утворює граф, і кожна анатомічна ланка формалізується як окремий вектор. Щоб алгоритм розумів конкретну команду, потрібно розробити механізм ідентифікації за допомогою обчислення кутів між суміжними векторами. Основою слугує скалярний добуток. Розрахункова логіка базується на такому принципі: косинус шуканого кута дорівнює відношенню скалярного добутку двох векторів до добутку їхніх геометричних довжин. Кут отримуємо через функцію арккосинуса. Даний підхід автоматично усуває проблему оптичного масштабування об'єкта, і дистанція не має значення. Кути згину ліктя чи зап'ястя є сталими величинами незалежно від відстані військовослужбовця до камери дрона. Кожен тактичний сигнал параметризується у вигляді числової матриці еталонних кутових значень, а система циклічно зіставляє поточну геометрію тіла з базою даних.

Програмна логіка функціонує як конвеєр обробки даних, де процес є циклічним. Спочатку модуль захоплення розщеплює вхідний відеопотік на ізольовані кадри, і при цьому одразу відфільтровуються артефакти компресії. Далі активується нейромережевий екстрактор. Застосовується архітектура сімейства YOLO для миттєвої детекції силуету та визначення ключових опорних точок тіла [2]. Координати цих вузлів передаються до математичного ядра. Саме тут алгоритм формує вектори кінцівок і обчислює поточні кути їхнього згину. Наступний етап – порівняння, під час якого обчислені значення накладаються на матрицю еталонних команд. Якщо відхилення лежить у межах допустимої похибки, система ідентифікує тригер. Видається попереджувальний сигнал черговому, і водночас записується точний

таймкод у базу даних, що дає змогу швидко переглянути конкретний фрагмент трансляції без перемотування годин порожнього ефіру.

Отже, теоретичне моделювання підтвердило можливість автоматизованого розпізнавання тактичних команд. Векторна алгебра ефективно нівелює проблему зміни оптичного масштабу. Проте можуть виникнути технічні обмеження: точність ідентифікації падатиме при нестандартних ракурсах зйомки або перекритті суглобів екіпіруванням, тому попереду ще потрібно буде провести етап польових тестувань. Незважаючи на вищезазначене, впровадження цієї технології зможе оптимізувати моніторинг, і оператор реагуватиме виключно на зафіксовані інциденти.

Література:

АрміяInform (2019). Мова позначень і жестів спецпризначенців. https://armyinform.com.ua/2019/08/16/mova-poznachen-i-zhestiv-speczpryznachencziv/
Official site of company Ultralytics. Pose Estimation. https://docs.ultralytics.com/tasks/pose

Фізично обґрунтоване агрегування прогнозів ансамблю нейронних мереж для обчислення коефіцієнта Шезі

[1]Ходневич Я. В., [2]Трофимчук О. М., [3]Корбутяк В. М.
([1,2]Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України,
[3]Національний університет водного господарства та природокористування.
E – mail: ya.v.khodnevych@gmail.com, Trofymchuk@nas.gov.ua, v.m.korbutiak@nuwm.edu.ua)

Обчислення коефіцієнта Шезі, який характеризує гідравлічний опір відкритих русел, є важливою складовою математичного моделювання річкових течій. Точність визначення цього емпіричного коефіцієнта впливає на результати гідравлічних розрахунків, зокрема під час моделювання паводкових потоків, оцінювання руслових процесів, розв'язання інженерних та екологічних задач [1]. Використання штучних нейронних мереж (ШНМ) дає змогу встановлювати залежності між гідрологічними та гідроморфологічними характеристиками русла й коефіцієнтом Шезі за обмеженими польовими даними [2]. Водночас застосування ансамблю нейронних мереж (АНМ) потребує обґрунтованого способу об'єднання прогнозів окремих моделей у єдиний результат [3].

Мета роботи — розроблення та апробація підходу до агрегування прогнозів ансамблю нейронних мереж для обчислення коефіцієнта Шезі

на основі модифікації методу максимального голосування з використанням фізично обґрунтованих гідравлічних співвідношень.

Для побудови АНМ використано польові дані про характеристики окремих ділянок рівнинних річок Дніпро (нижче за течією від м. Київ), Десна (м. Чернігів) і Прип'ять (м. Турів) [3, 4]. Вхідними параметрами моделей є гідрологічні та гідроморфологічні характеристики русла: коефіцієнт шорсткості Меннінга n, висота виступів шорсткості d, ухил поверхні води S_f, середні ширина B та глибина потоку h, гідравлічний радіус R, витрата води Q або середня швидкість течії V. Цільовою змінною є коефіцієнт шорсткості Шезі C.

Розглянуто однорідний ансамбль із трьох повнозв'язних ШНМ прямого поширення [4]. У прихованих шарах мереж використано сигмоїдну функцію активації, а їх вихідний нейрон має лінійну функцію активації. Для навчання ШНМ застосовано метод Bagging (Bootstrap Aggregating), який передбачає формування підвибірок навчальних даних; параметри нейронних мереж налаштовуються за допомогою алгоритму зворотного поширення похибки [3]. Усі три мережі формують оцінки коефіцієнта Шезі, а остаточне значення обирається за результатами обґрунтованого агрегування прогнозів [4].

Для агрегування прогнозів АНМ розглянуто гіпотезу щодо модифікації методу максимального голосування [3, 4], яка ґрунтується на розв'язанні зворотної гідравлічної задачі. А саме, для кожного прогнозованого значення коефіцієнта Шезі обчислюється відповідна середня швидкість потоку за формулою Шезі, $V = C \cdot (R \cdot S_f)^{0,5}$ [1]. Порівнюючи обчислену швидкість зі швидкістю, визначеною за польовими гідрологічними спостереженнями, обирається прогноз коефіцієнта Шезі, який забезпечує найменше відхилення.

Результати перевірки гіпотези показали, що запропонована модифікація методу максимального голосування забезпечує фізично обґрунтований вибір одного з прогнозів АНМ за критерієм найменшого відхилення обчисленої швидкості потоку від її еталонного значення, визначеного за польовими спостереженнями [4].

Апробацію запропонованого підходу виконано на польових даних річок Дніпро, Десна та Прип'ять шляхом порівняння спостережуваних і розрахованих значень витрати води. Відносні похибки прогнозування витрати води, обчисленої з використанням прогнозованого коефіцієнта Шезі, становили 0,5–3,9 %, а коефіцієнт ефективності моделі Неша—Сатклiффа (NSE) дорівнював 0,975 [4]. Для окремої нейронної мережі в межах аналогічної задачі відносні похибки становили 0,9–13,9 %, а NSE = 0,906 [2]. Отже, такі результати засвідчили підвищення точності обчислень з використанням АНМ із

фізично обґрунтованим агрегуванням прогнозів порівняно з окремою ШНМ в межах розглянутих випробувань.

Література

1. Sturm, T.W. (2001). Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York, 493 p.
2. 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. Information and Communication Technologies and Sustainable Development. ICT&SD 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, Vol. 809, pp. 444–458. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-46880-3_26
3. Mohammed, A., Kora, R. (2023). A comprehensive review on ensemble deep learning: Opportunities and challenges. Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences, Vol. 35, pp. 757–774. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2023.01.014
4. Ходневич, Я. В., Трофимчук, О. М., Корбутяк, В. М. (2026). Дослідження агрегування прогнозів ансамблю нейронних мереж для обчислення коефіцієнта гідравлічного опору. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. Харків: НТУ «ХПІ», 1 (10), с. 119–126. DOI: https://doi.org/10.20998/2222-0631.2026.01(10).12

Mathematical Model for Identifying a Dynamic Object in Automated Seismoacoustic Monitoring Systems

Mostovyy V., Коробенко А. П.

(Institute of Telecommunications and Global Information Space NASU, E-mail: vasyl.mostovyy@gmail.com.)

(KNU T. Shevchenko;e-mail: anton.korobenko.off@gmail.com.)

Introduction. In the context of industrial and security technology development, highly efficient automated seismo-acoustic monitoring systems are becoming increasingly important. Their reliable operation depends on the accurate and real-time identification of vibration sources. A crucial stage of this process is the acquisition of raw seismic data using highly sensitive accelerometers. To ensure effective signal analysis and interpretation, an appropriate mathematical model for identifying dynamic objects is required. The proposed model transforms recorded time-domain signals into compact vectors in a Euclidean parameter space. Each signal realization is thus represented by a unique geometric vector that characterizes the type or class of the detected dynamic object. This approach enables the differentiation and classification of disturbance sources based on their spectral-dynamic characteristics. Another important model parameter is the seismic signal arrival time at the recording point, which can be used to estimate the spatial coordinates of the detected object. The simulation results demonstrate the potential of the proposed approach to improve the sensitivity and efficiency of automated monitoring systems. The developed framework contributes to

advancing digital signal processing methods and geophysical instrumentation.

Mathematical Model. A physically realizable signal is well approximated by a superposition of oscillators; however, for real physical systems with a limited spectral bandwidth—and the consequent stretching of the wavefront—it is natural to model the signal as a superposition of Berlage pulses [1], which serve as a generalization of the oscillator, as expressed by the following formula:

$$y(t) = A\eta(t-\tau)(t-\tau)^{\beta} exp\{-\alpha(t-\tau)\}sin[\omega(t-\tau)] (1)$$

Here:

$\eta(t-\tau)-$ is the Heaviside function [2], for a generalized Berlage pulse arriving at time instant τ :

$y(t)-$ are the observed data; $\{A,\tau,\alpha,\omega,\ \beta\}-$ is the vector of free model parameters, where $A-$ is the oscillation amplitude; $\tau-$ is the signal arrival time; $\alpha-$ is the parameter characterizing signal decay (decrement); $\omega-$ is the signal frequency; $\beta-$ is the parameter characterizing the signal front.

A model consisting of K submodels, representing a superposition of pulses—each defined by formula (1) and incorporated into the model via a vector of physically realizable free parameters of the generalized Berlage pulse—is such that each pulse is fully determined by a row vector:

$$\mathbf{P}_{\langle k\rangle} = \{A_k, \tau_k, \alpha_k, \omega_k, \beta_k\} \quad (2)$$

Here $\mathbf{P}_k \in \boldsymbol{A}_k$, $\boldsymbol{A}_k$ –, is the set of all possible values of the vector $\mathbf{P}_k$.

The model for optimizing the dynamic parameters of monitoring critical infrastructure objects, based on seismoacoustic analysis and expressed in terms of a matrix of free parameters $\mathbf{P}$, takes the following form:

$$M(t,\mathbf{P}) = \sum_{k=1}^{K} \mathbf{P}_k^{\langle 1\rangle}\, \eta\left(t-\mathbf{P}_k^{\langle 2\rangle}\right)\left(t-\mathbf{P}_k^{\langle 2\rangle}\right)^{P_k^{\langle 5\rangle}} \exp\left\{-\mathbf{P}_k^{\langle 3\rangle}\left(t-\mathbf{P}_k^{\langle 2\rangle}\right)\right\} \sin\left[\mathbf{P}_k^{\langle 4\rangle}\left(t-\mathbf{P}_k^{\langle 2\rangle}\right)\right] \quad (6)$$

Here, $A,\tau,\alpha,\omega,\beta$ are the vectors are column vectors consisting of K rows, and K denotes the number of sub-models. The matrix P is formed by combining the vectors (5) $P_{k,s} = P_k^{\langle s\rangle}$. In the presented model $s = \overline{1,S}$; $S = 5$.

Formula (3) represents a new model of the discrete wavelet transform, which is widely used in tasks involving monitoring via seismological methods.

For model (6) and field observations $V(t)$ on the interval $(0,T)$, we construct the objective function $Q(\mathbf{P})$ in the metric $L_2(0,T)$. $T = \Delta t \cdot S1$, here Δt is the time quantum, $S1$ is the number of sampling points in the interval.

$$Q(\mathbf{P}) = \|V_{s1} - M(t_{s1}, \mathbf{P})\|_{L_2}; \quad k = \overline{1,K} (7)$$

To find the extrema of the function $Q(\mathbf{P})$, you need to solve the system of equations for all elements of the matrix $\mathbf{P}$:

$$\frac{\partial Q(\mathbf{P})}{\partial P_{S,k}} = 0, \quad k = \overline{1,K}; \quad s = \overline{1,S} (8)$$

Optimal estimation of the vector of free parameters of the model. So we find the global minimum of the functional $Q(\mathbf{P}_k)$ on the set of admissible, with a priori, known distribution, vectors $\mathbf{P}_k$ from the set $\boldsymbol{A}_k$ [4].

$$\min_{\mathbf{P}_k}\{Q(\mathbf{P}_k)\}; \quad k = \overline{1,K}; \quad \mathbf{P}_k \in \boldsymbol{A}_k$$

To evaluate the adequacy of the mathematical model used for identifying a dynamic object within automated seismo-acoustic monitoring systems (7), an analysis is proposed of a seismic record—obtained via an accelerometer—of an aircraft overflight, as illustrated in Fig. 1.

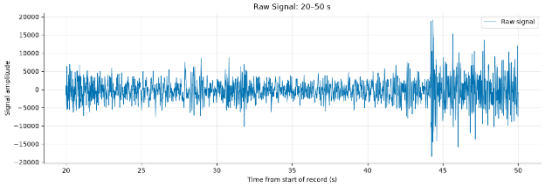


Fig. 1. A 30-second record of an aircraft overflight, captured by an accelerometer. The abscissa represents time in seconds, and the ordinate represents amplitude values in relative units.

The results obtained from applying the mathematical model for identifying a dynamic object within automated seismo-acoustic monitoring systems (7)—using 15 sub-models—are presented in Table 1.

№	Frequency	Modal attenuation factor	Arrival time
1	2.97746	0.0759533	44.0839
2	2.77769	0.469676	44.12913
3	2.48144	0.52772	44.09494
4	4.35398	0.477875	44.0926
5	25.0429	0.263708	44.17920
6	13.1525	0.744454	44.14327
7	8.83711	0.438452	44.08075
8	15.0751	0.162372	44.15868
9	9.77569	0.66472	44.15049
10	13.6355	0.176833	44.16550
11	0.492218	0.0481519	44.07676
12	3.76771	0.368742	44.17119
13	3.92741	0.138973	44.19564
14	10.1311	0.3765	44.16560

15	9.76743	0.734303	44.06184

Table 1. Free parameters of model (7) used to approximate the 30-second recording of the aircraft overflight shown in Fig. 1.

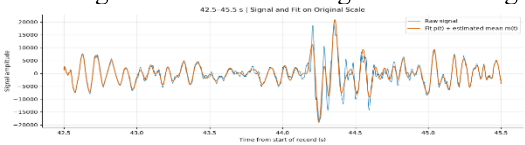


Fig. 2. A 3-second filtered segment of the recording presented in Fig. 1 (blue curve), along with the corresponding Model 7 approximation (brown curve). The abscissa represents time in seconds; the ordinate represents amplitude in relative units.

The figure 2 shows that the mathematical model, composed of 15 sub-models, provides a good approximation of the recording fragment.

Conclusions. As a result of the research work, a mathematical model for identifying dynamic objects—intended for automated seismo-acoustic monitoring systems—was developed and investigated. The obtained results facilitate primary data acquisition, object classification, and the spatial localization of vibration sources, which is of practical value for the modernization of geoinformation systems.

References

Mostovyy V., Mostovyy S. Estimation of parameters of seismic waves. Transactions of NAS of Ukraine.2014, Vol. 2, pp. 118-123.

Abramowitz M. Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables / M. Abramowitz, I. A. Stegun, // 9th printing.New York: Dover, 1972.

V. Mostovyy, S. Toliupa, A. Shevchenko optimization of the dynamic parameters of an object in a mathematical model of seismo-acoustic monitoring of natural and engineering objects Science based technologies NAU № 2(58), 2023 pp 112-119.

Cherevko, I., Kril, T., Mostovyy V., Shcherbyna, S., Structural health monitoring of heritage buildings under military actions. *International Journal of Conservation Science*. Volume 16, Issue 4, 2025, pp. 1755-1774, https://ijcs.ro/public/IJCS-25-04_09_Cherevko.pdf.

Compositional Foundations of Technological Programming Systems

***Redko D.I.*[1], *Redko I.V*[2]**

[1]*Institute of telecommunications and global information space of the NAS of Ukraine*

[2]*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

[1]*diredko@gmail.com*, [2]*redko.ihor@kpi.com*

The technologization of programming involves moving from predominantly intuitive program construction toward formally justified methods while retaining the developer's active role. Building on earlier work

on technological programming environments [1], this study treats program development as two interconnected transitions: from pragmatics to semantics, where a solution is constructed, and from semantics to syntax, where that solution is represented as code.

Standard program algebras of named functions provide the mathematical foundation. Compositions for sequencing, branching, iteration, superposition, and assignment support reduction schemes that decompose problems into simpler subproblems and integrate their solutions within a formally specified structure.

A concept refinement relation orders solution schemes according to their degree of refinement. The problem-solving process is represented by iteratively applying a refinement function, starting from an initial concept. The central theoretical result is a theorem on the existence of fixed points of these functions; its justification draws on Tarski's fixed-point theorem [2]. Within the adopted model and under its assumptions, a solution is interpreted as a fixed point. Together, the model and theorem support a transition from an intuitive account of problem solving to its formal definition. They make the relationship between process and result amenable to mathematical study: the process comprises successive refinements, while the solution remains unchanged under the chosen refinement function.

Oracle program schemes capture classes of problems while leaving some components open to further specification. Particular solutions are obtained by progressively instantiating these components [3], accommodating the developer's evolving understanding.

A semantic-syntactic descriptor maps compositions and basic functions to language templates. Their recursive application to a compositional term defines a code generation procedure; preservation of semantics during this transition is required for the constructed solution's correctness to carry over to its code.

The approach is illustrated through a numerical fixed-point iteration scheme and its transformation into Pascal-like code, demonstrating the connection between reduction-based programming and descriptor-based coding and the potential for automating code generation.

References

1. I. Redko, P. Yahanov, and M. Zylevich. "Concept-Monadic Model of Technological Environment of Programming." In 2020 IEEE 2nd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC), 2020. DOI: https://doi.org/10.1109/SAIC51296.2020.9239204

2. A. Tarski. "A lattice-theoretical fixpoint theorem and its applications." Pacific Journal of Mathematics, vol. 5, no. 2, pp. 285–309, 1955. DOI: https://doi.org/10.2140/pjm.1955.5.285

3. I. Redko, P. Yahanov, and M. Zylevich. "Reduction conceptualization of oracle schemes." System Research & Information Technologies, no. 1, pp. 21–33, 2021. DOI: https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2021.1.02

Застосування методів аналізу текстових даних в інформаційно-аналітичному забезпеченні оборонного огляду

Т.І. Просянкіна-Жарова[1], В.Ю. Вишняков[2], А. В. Юрченко[2]

([1]Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України, Україна [2]Національний університет оборони України, Україна

E - mail: t.pruman@gmail.com, wishnya_dzz@ukr.net, chystenebo@gmail.com)

Формування ефективної доктринальної бази інформаційно-аналітичного забезпечення з метою отримання вихідних даних для оборонного планування та опрацювання (уточнення) існуючих документів довгострокового планування для подальшого оборонного огляду на основі вивчення та впровадження набутого досвіду Збройних Сил України - є однією з актуальних задач підтримки прийняття державних рішень щодо забезпечення оборони держави.

Складність даної задачі потребує застосування системного підходу; детального аналізу: безпекового середовища, процесів, чинників та ситуацій; взаємодії учасників; тенденцій розвитку подій та їх наслідків; взаємодії всіх безпекових механізмів, як на рівні держави, так і окремих суб'єктів; опрацювання методик оцінювання ефективності рішень та їх наслідків.

Однією з нагальних проблем є розроблення нових та удосконалення існуючих методів, моделей, алгоритмів аналізу структурованої та неструктурованої інформації, що отримується з різних джерел, методичних підходів організації збору та оброблення вихідних даних, потрібних для оцінювання складових воєнного та економічного потенціалу, необхідного для реалізації рішень, що приймаються та раціонального використання наявних ресурсів.

Одним із шляхів її розв'язання є отримання об'єктивних відомостей про стан забезпечення, наявні проблеми, потреби та досвід безпосередніх учасників відповідних процесів з використанням результатів аналізу тематичних опитувань. Такий підхід дає змогу поєднати структуровані оцінки текстових відповідей респондентів, що містять описи практичних ситуацій, проблем, пропозицій та очікувань. Це також забезпечить зворотній зв'язок на різних рівнях та етапах прийняття рішень.

Запропонований підхід передбачає комплексне опрацювання результатів опитування, у якому основна увага приділяється змістовому аналізу текстових відповідей, а статистичний аналіз структурованих

даних дозволить доповнити та перевірити отримані висновки. На підготовчому етапі авторами пропонується формувати тематичний опитувальник та визначати коло опитуваних. Опитування має відбуватися у визначені терміни із дотриманням вимог безпеки та, за потреби, анонімності учасників. Отримані відповіді можуть містити як структуровані оцінки, так і текстові описи стану забезпечення, проблем, потреб і пропозицій. Для коректної інтерпретації результатів враховуються характеристики респондентів, зокрема освіта, фахова підготовка та практичний досвід. У процесі опрацювання результатів опитування запропоновано використовувати засоби інтелектуального аналізу текстової інформації. Їх застосування забезпечує тематичну класифікацію відповідей, виявлення типових проблем і потреб, встановлення семантичних зв'язків між поняттями та аналіз емоційного забарвлення висловлювань. Подальший тематичний аналіз дає змогу визначити основні напрями проблематики, встановити змістові взаємозв'язки між питаннями, а аналіз емоційного забарвлення доповнює результати оцінювання характеру сприйняття респондентами відповідних ситуацій. Поряд з аналізом тексту здійснюється статистичне опрацювання структурованих відповідей, зокрема аналіз розподілів, групування, кластеризація та встановлення взаємозв'язків між показниками. Поєднання результатів текстової аналітики та статистичного аналізу дає змогу зіставляти кількісні оцінки зі змістом відповідей, виявляти закономірності й тенденції, а також уточнювати важливість виявлених проблем. При цьому емоційне забарвлення відповіді не ототожнюється з пріоритетністю проблеми, а частота її згадування сама по собі не визначає обсяг необхідних ресурсів. Важливим аспектом інтерпретації результатів опитування є врахування освіти, фахової підготовки та практичного досвіду респондентів. Ці характеристики дають змогу визначити обґрунтованість відповіді, порівнювати оцінки різних груп і точніше розуміти умови виникнення описаних проблем. Вони не повинні автоматично визначати вагу відповіді, а використовуються лише як чинники її змістової інтерпретації. На етапі інтеграції та інтерпретації результатів аналізу формуються узагальнення щодо стану забезпечення, переліку виявлених проблем, актуальних потреб і тенденцій. Отримані результати використовуються для обґрунтування потреб у ресурсах, визначення пріоритетів та підготовки рекомендацій щодо ресурсного забезпечення, виявлення відхилень, тощо. Особливістю запропонованого підходу є забезпечення зворотного зв'язку між різними рівнями прийняття рішень, урахування ефективності рішень та набутого досвіду, які враховуватимуться під час планування розвитку

спроможностей Збройних Сил України у військовий час на середньострокову перспективу, а у мирний – на довгострокову перспективу. Таким чином, результати аналізу текстових даних використовуються не лише для одноразового обґрунтування рішень, а й для адаптації системи до зміни умов та набуття відповідного досвіду.

Список використаних джерел

1.Про затвердження Порядку проведення оборонного огляду Міністерством оборони. Постанова Кабінету Міністрів України від 31 жовтня 2018 р. № 941к. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/941-2018-п

2. Trofymchuk O. M, Bidiuk P. I., Prosiankina-Zharova T. I., Terentiev O. M. Decision support systems for modelling, forecasting and risk estimation: monography. Riga : LAP LAMBERT Academic Publishing. 2019. 176 p.

3.Корбич Ю., Шолохов О., Зарудний О., Коваль Р. Методика застосування кластеризації текстів на основі лінгвістичних правил для дослідження потреб населення у соціальному захисті та соціальному забезпеченні. Прикладні інформаційні системи та технології в цифровому суспільстві. 2024. Т. 1 № 1. С. 172-184. https://doi.org/10.17721/3041-2323.2024.172-184

Концептуальний підхід до виявлення резонансних та потенційно маніпулятивних тем в україномовному контенті соціальних мереж

Аброскін Ю. Ю., Терентьєв О. М.

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України

abroskin21@gmail.com, o.terentiev@gmail.com

Вступ.

Соціальні мережі та месенджери (Telegram, Facebook, Threads, X) генерують значні масиви неструктурованого контенту, серед якого присутні маніпулятивні матеріали, а обробка україномовного сегмента ускладнена сленгом, суржиком та обмеженістю спеціалізованих NLP-ресурсів [1]. Досвід робіт для мов, для яких бракує готових інструментів, зокрема для виявлення хибної інформації в змішаних текстах, де поєднуються луганда (одна з корінних мов Уганди) та англійська, показує, що такі завдання потребують створення локальних мовних ресурсів і наборів даних [2]. Тематичне моделювання (BERTopic, LDA) і розпізнавання іменованих сутностей (NER) дозволяють визначити тематику та згадувані об’єкти, проте не оцінюють рівень резонансності та можливий маніпулятивний характер публікацій. У межах розвитку інформаційної технології видобування знань з текстових масивів [3] запропоновано підхід, що поєднує тематичний, часовий, емоційний та графовий рівень аналізу.

Етапи підходу.

Підхід передбачає чотири етапи.

Тематична кластеризація. Збір дописів через OSINT-модуль, очищення, векторизація адаптованою моделлю S-BERT і формування тем за допомогою BERTopic зі зменшенням їх кількості [4].

Динаміка та резонансність. Аналіз еволюції тем у часових вікнах [5] і розрахунок показників залученості (перегляди, репости, реакції) для виявлення тем із нетипово швидким поширенням.

Емоційне профілювання. Оцінювання тональності й емоційної напруженості тем [6]. Аномальні емоційні сплески розглядаються лише як ознака, що потребує перевірки, оскільки достовірні повідомлення про кризові події також викликають сильні емоції.

Графовий аналіз сутностей. Вилучення персон, організацій і локацій за допомогою NER-UK 2.0 [3], побудова графа спільного згадування сутностей і зв'язків між джерелами для виявлення ознак координації публікацій.

Теми з високою резонансністю, нетиповим емоційним профілем і підозрілою структурою зв'язків у графі позначаються як потенційно маніпулятивні та передаються на фактчекінгову перевірку.

Висновки.

Запропонований підхід розширює технологію видобування знань [3] можливістю виявлення публікацій, що потребують верифікації. Ефективність підходу, зокрема зв'язок емоційного профілю з маніпулятивністю, потребує експериментальної перевірки. Заплановано програмну реалізацію конвеєра, його апробацію на україномовних Telegram-каналах та оцінювання за метриками Precision, Recall і F1-score порівняно з розміткою фактчекінгових організацій.

Список літератури

Vysotska V., Przystupa K., Kulikov Y., Chyrun S., Ushenko Y., Hu Z., Uhryn D. Recognizing fakes, propaganda and disinformation in ukrainian content based on NLP and machine-learning technology // International Journal of Computer Network and Information Security. – 2025. – Vol. 17, No. 1. – P. 92–127.

Nabende P., Kabiito D., Babirye C., Tusiime H., Nakatumba-Nabende J. Misinformation detection in Luganda-English code-mixed social media text // arXiv preprint arXiv:2104.00124. – 2021.

Терентьєв О. М., Аброскін Ю. Ю., Дуда В. О., Просянкіна-Жарова Т. І. Аналіз методів текстової аналітики для видобування знань з україномовного контенту соціальних мереж // Екологічна безпека та природокористування. – 2026. – Т. 57, № 1. – С. 161–170. – DOI: 10.32347/2411-4049.2026.1.161-170.

Janssens W., Bogaert M., Van den Poel D. LLM-assisted topic reduction for BERTopic on social media data // Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases. – Cham: Springer Nature Switzerland, 2025. – P. 426–438.

Mendonca M., Figueira A. Modeling Political Discourse with Sentence-BERT and BERTopic // arXiv preprint arXiv:2510.22904. – 2025.

Landowska A., Skorski M., Rajda K. Mapping the technological future: A topic, sentiment, and emotion analysis in social media discourse // arXiv preprint arXiv:2407.17522. – 2024.

Контрольоване перетворення природномовних запитів на записи локальної бази даних

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

Застосування великих мовних моделей до управління даними потребує чіткого розмежування ймовірнісної інтерпретації природної мови та детермінованих операцій зі сховищем. Такий підхід важливий для локальних систем, у яких користувачеві необхідно зберігати контроль над даними [1], а результат моделі має бути перевірюваним і відповідати обмеженням прикладної операції [2–3].

Мета роботи – розробити та експериментально оцінити інформаційну технологію перетворення природномовних повідомлень і файлів на записи локальної документно-орієнтованої бази даних з фіксацією історії змін. Програмну реалізацію утворюють два взаємопов'язані комплекси: вбудована СКБД TokkDb та асистент на основі великої мовної моделі. Рушій реалізовано як однофайлове сторінкове сховище з документною моделлю, індексами, транзакціями й історією версій. Асистент приймає структуровані та неструктуровані дані, визначає типи полів, формує контекст запиту, отримує від мовної моделі структуровану пропозицію й передає її на перевірку прикладному коду.

Архітектурне рішення відокремлює семантичне тлумачення від фактичного читання та запису даних. Модель не має прямого доступу до бази: операції виконуються через абстракцію сховища, а детермінований код перевіряє відповідь, типи значень і допустимість змін. Кожну структурну зміну підтверджує користувач. Для відтворюваності дій асистент записує трасування запиту, що пов'язує повідомлення, виклики моделі та зміни даних; передбачено журналювання й скасування запиту з перевіркою сторонніх змін.

Рушій і асистент реалізовано мовою C# на платформі .NET 10; інтерфейс асистента створено на .NET MAUI. Експерименти з асистентом проведено з локальною моделлю qwen3.5:4b у середовищі Ollama. Для кожного наскрізного сценарію виконано 20 прогонів,

результати подано як медіану часу та 95-й процентиль. Коректність реалізації додатково перевірено автоматизованими тестами: 637 тестів рушія та 611 тестів асистента. Часові вимірювання виконано на одному комп'ютері Apple M1 Pro з 16 ГіБ оперативної пам'яті, тому їх слід розглядати як результати для описаної конфігурації.

Розбір файлу з 10 000 рядками розділених значень зайняв 0,153 с за 95-м процентилем; приймання такого обсягу імпортером – 0,39 с за медіаною. Під час виведення типів для 100 колонок правильно визначено 96 типів. Наскрізне збереження тексту в нову колекцію мало медіанний час 11,79 с, а збереження таблиці з 1 000 рядків у наявну колекцію – 8,34 с. Пошук записів завершувався за 4,62 с; уточнення до щойно показаного результату, що не вимагало звернення до моделі, – за 0,13 с.

Цільову нижню межу надійності 0,80 за інтервалом Вілсона підтверджено у п'яти з шести перевірених сценаріїв. Для звіту, який потрібно розкласти на дві пов'язані колекції, результат становив 16 успішних виконань із 20, нижня межа – 0,58; цей сценарій цільового порога не досяг. Отже, вимірювання виявили не лише працездатність оброблення одиночних запитів і таблиць, а й конкретну межу складнішого сценарію, що потребує подальшого вдосконалення оркестрації та перевірки структури відповіді.

Запропонована технологія поєднує локальне збереження, контрольоване залучення мовної моделі та відтворювану історію операцій. Її практична особливість полягає в тому, що модель інтерпретує намір користувача, але цілісність даних, перевірка результату й підтвердження змін залишаються відповідальністю програмної системи та користувача. На розроблену технологію управління локальними базами даних отримано два акти впровадження.

Використані джерела:

1. Kleppmann M., Wiggins A., van Hardenberg P., McGranaghan M. Local-First Software: You Own Your Data, in Spite of the Cloud. Proceedings of the 2019 ACM SIGPLAN International Symposium on New Ideas, New Paradigms, and Reflections on Programming and Software. 2019. P. 154–178. https://doi.org/10.1145/3359591.3359737

2. Scholak T., Schucher N., Bahdanau D. PICARD: Parsing Incrementally for Constrained Auto-Regressive Decoding from Language Models. Proceedings of the 2021 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. 2021. P. 9895–9901. https://aclanthology.org/2021.emnlp-main.779/

3. Amershi S. et al. Guidelines for Human-AI Interaction. Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 2019. P. 1–13. https://doi.org/10.1145/3290605.3300233

Гіперболо-параболічна модель FPV-дрону з оптоволоконним кабелем

Дудчик О., Калюх Ю.

(Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України, E - mail: oleksandr.dudchyk@gmail.com)

Об'єктом дослідження є FPV-дрон з кабелем перемінної довжини (ФПВДК) в просторово-неоднорідному полі масових і поверхневих сил. Наукова проблема полягає у розробці коректної моделі ФПВДК та стійкого чисельного алгоритму для її розрахунку. Прикладна проблема включає визначення параметрів, при яких отримана модель буде коректною, визначення параметрів чисельного алгоритму на основі метод скінчених різниць (МСР) для її стійкого розрахунку. Наявність швидкоплинних і більш повільних хвильових процесів, що описуються в представленій моделі одночасно, являє собою певні труднощі для її чисельної реалізації на практиці. За визначенням закордонних вчених, отримана система квазілінійних диференціальних рівнянь є сингулярне збуреною. Тому метою роботи є дуплексне об'єднання отримання коректної математичної модель FPV-дрону з кабелем перемінної довжини в просторово-неоднорідному полі масових і поверхневих сил і відпрацювання параметрів коректного стійкого алгоритму для її чисельного розрахунку. При цьому модель буде враховувати багато факторів як внутрішніх (фізико-механічних характеристик), так і зовнішніх (систему керування, розподілені навантаження та ін.).

Було проведено огляд існуючих моделей і методів розрахунку ФПВДК. Для чисельного дослідження нелінійних диференціальних рівнянь кабелю можна використовувати кілька підходів. Найбільш поширеними серед них є дискретний підхід, метод скінчених елементів і МСР. Кожний з яких має свої недоліки і переваги. Для побудови цифрової моделі ФПВДК було використано МСР. МСР дозволяє вирішувати завдання з визначення силових і геометричних характеристик напружено-деформованого стану при нестаціонарних процесах в реальному масштабі часу, має певні переваги над дискретним підходом і методом скінчених елементів при розрахунку одновимірних кабельних систем. Серед наявних різницевих схем розв'язання матричного рівняння моделі досліджені різницеві схеми Кранка – Ніколсон та Ейлера. При використанні різницевої схеми Кранка – Ніколсон труднощів при апроксимації крайових умов зазвичай не виникає. Застосування різницевої схеми Ейлера вимагає задання

додаткових граничних умов. З порівняння ефективності та точності розв'язання рівнянь динаміки кабелю на основі різницевих схем Ейлера і Кранка – Ніколсон випливає, що чисельний алгоритм на основі різницевої схеми Кранка – Ніколсон має необхідну точність і може бути використаний більш ефективно для чисельного моделювання перехідних процесів в розподілених системах. Різниця в силових і геометричних характеристиках напружено-деформованого стану кабелю, отриманих на грубій і подрібнених різницевих сітках різницеві схеми Кранка – Ніколсон є незначною. Якісна ефективність отриманих автором результатів базується на коректній побудові моделі ФПВДК, доведення теореми Коші за Курантом для гіперболічної частини моделі. Кількісну ефективність нелінійної моделі доведено побудовою стійких алгоритмів її чисельного розрахунку і можливістю застосування їх на практиці.

How Much Does the Index Carry? A Graded-Index Model of Hippocampal Memory

Klymenko I.Y.[1], Litus A.A.[2]
([1]University of Alberta, Canada;
[2]University of Pennsylvania, USA;
E-mail: klymenk1@ualberta.ca, litus@psych.upenn.edu)

Storing information in the brain involves a basic trade-off. General knowledge must be learned slowly, otherwise each new example would overwrite the pattern it belongs to; particular episodes must be stored quickly, otherwise a single encounter would leave no trace. One network cannot do both, so the brain is thought to use two: neocortex for slowly built general knowledge, and the hippocampus for quickly formed, distinct episodes. Hippocampal Indexing Theory (HIT) is an account of how these two systems divide the work of forming and recalling episodic memories. In this paper we lay out HIT, set it beside two mathematical accounts of hippocampal function, Complementary Learning Systems (CLS) and the Tolman–Eichenbaum Machine (TEM), and describe a model we are building that turns the points where these theories disagree into parameters that can be fitted to data.

The central distinction in HIT is between content and index. Content is the episode itself, spread across modality-specific cortical regions; the index is a sparse pattern in the hippocampus that holds none of this content and only records which neocortical units were active when the event

happened. At encoding, the active cortical units drive the entorhinal cortex and then the dentate gyrus, which performs pattern separation, so that even similar events end up as sparse patterns with little overlap. The granule cells drive an ensemble in CA3, where potentiation among recurrent connections makes the ensemble a stable attractor, and plasticity along the return path through CA1 and entorhinal cortex ties that ensemble to the cortical units that were active. At retrieval, a cue activates part of the stored CA3 ensemble, the recurrent connections complete the pattern, and the full ensemble reinstates the original cortical pattern through the return path, which is the recall.

HIT also makes a claim about time. Every reinstatement co-activates the cortical units of the episode, and Hebbian plasticity slowly strengthens the direct connections between them. After enough repetitions a partial cue can complete the cortical pattern on its own, and the hippocampus becomes redundant for that memory. The theory has good support: patients with hippocampal damage keep conceptual knowledge and older memories but cannot form new episodic ones, and sensory regions active at encoding become active again during vivid recall. Still, two of HIT's assumptions, that the hippocampal code carries no content and that the index eventually stops being needed, are inferred from particular experimental setups rather than observed directly, and the competing accounts differ mainly in how they write these terms.

Complementary Learning Systems explains why cortex cannot simply learn episodes directly. Each cortical synapse changes by a small fraction of what the current experience calls for, so a weight becomes a running average of experience; hippocampal synapses change by a large fraction, so one exposure is enough. CLS also writes down how a single memory moves between the two systems over time:

$$\frac{dS_c}{dt} = CS_h(1 - S_c) - D_c S_c$$

Here S_c is the strength of the memory's cortical trace, on a scale from 0 to 1, S_h is the strength of its hippocampal trace, C is the consolidation rate and D_c is a slow cortical decay. Cortex gains strength in proportion to how strong the hippocampal trace still is, so transfer is a race between replay and hippocampal decay, and the factor $(1 - S_c)$ shuts transfer off once the cortical trace is complete, which is HIT's claim that the index becomes redundant, written as an equation. A later version, Go-CLS, stores each episode under a random index and asks how much consolidation is optimal. It finds that replaying memories with little predictable structure teaches cortex noise, so such memories should never leave the hippocampus, and that how quickly cortex first learns an item is a usable proxy for its predictability.

The Tolman–Eichenbaum Machine starts from a different question: how the same hippocampal circuit can handle spatial maps and non-spatial relational memory. Medial entorhinal cortex carries a structural code g (where the agent is in an abstract space) and lateral entorhinal cortex a sensory code x (what is being seen). The hippocampus binds the two:

$$p = f(g \otimes x)$$

The pattern p has one unit for every pair of a structural and a sensory unit, and f is a threshold such that a hippocampal cell fires only when both inputs are present. This is where TEM parts company with HIT: the hippocampal pattern is built from content. The patterns are stored in a fast Hebbian memory:

$$M_t = \lambda M_{t-1} + \eta(p_t - \hat{p}_t)(p_t + \hat{p}_t)^T$$

M is the matrix of hippocampal recurrent weights, λ is a forgetting rate, η is a learning rate, and $\hat{p}_t$ is what the memory already returned before the new input arrived, so the rule writes mainly what was not yet known. Retrieval runs a short attractor loop on M, which is pattern completion as in HIT. The structural weights that generate g are learned slowly across many environments, so TEM has the same two timescales as CLS; the difference is that generalization happens through the shared code g in the hippocampal formation rather than through slow cortical consolidation.

The first disagreement between these accounts is about content. HIT and CLS make the index a random, separated pattern, and Go-CLS makes it literally a random vector; TEM makes every hippocampal cell a function of what is being sensed. No current model has a term that sets how much content the code carries; each fixes it by assumption.

The second is about whether memories leave. The factor $(1 - S_c)$ in the CLS equation pushes every memory toward complete cortical storage, as HIT also holds, whereas Go-CLS supplies a quantitative criterion for what stays, and it is predictability rather than detail.

We are building a "graded-index" model that turns both assumptions into parameters that can be fitted to data. It makes two changes to the equations above.

The first adds a content parameter α to the hippocampal code:

$$p = (1 - \alpha)s + \alpha f(g \otimes x)$$

Here s is a content-free sparse random index of the active cortical units. With $\alpha = 0$ the model is HIT; with $\alpha = 1$ it is TEM. Whether the index carries content stops being an assumption and becomes a number to estimate, and p then enters the Hebbian memory exactly as in TEM.

The second makes consolidation depend on predictability and ties forgetting to cortical mastery. The single consolidation rate C in the CLS

equation becomes a rate per memory μ, and the single forgetting rate λ in TEM becomes a rate per memory as well:

$$C_\mu = C\sigma(\beta(\rho_\mu - \theta)),\ \lambda_\mu = 1 - \zeta c_\mu$$

ρ_μ is an online estimate of how predictable memory μ is: how fast the cortical reconstruction error for that episode drops across its first few replays. σ is a logistic switch with gain β and threshold θ, so consolidation is near zero for unpredictable memories and near C for predictable ones. c_μ is the accuracy with which the current cortical weights reconstruct the episode from a partial cue, and ζ sets the fastest rate at which an index can be released. A predictable memory consolidates, raises c_μ and only then loses its index; an unpredictable one barely consolidates and stays in the hippocampus.

Two computational reasons drive these changes. First, gating is required rather than optional: consolidating unpredictable memories raises cortical error on new experiences. Second, an uncoupled forgetting rate, as in TEM and CLS, can delete a memory before cortex holds it, whereas $\lambda_\mu = 1 - \zeta c_\mu$ guarantees that nothing is released before it has been transferred.

Our next step is to fit α and the gating parameters to reinstatement and replay data, so that the recordings rather than our assumptions decide how much content the index carries and when it is released. If the fits hold, the long-running disagreements between these accounts become differences of degree rather than of kind.

References

Teyler, T. J., & Rudy, J. W. (2007). The hippocampal indexing theory and episodic memory: Updating the index. *Hippocampus*, 17, 1158–1169.

McClelland, J. L., McNaughton, B. L., & O'Reilly, R. C. (1995). Why there are complementary learning systems in the hippocampus and neocortex. *Psychological Review*, 102, 419–457.

Sun, W., Advani, M., Spruston, N., Saxe, A., & Fitzgerald, J. E. (2023). Organizing memories for generalization in complementary learning systems. *Nature Neuroscience*, 26, 1438–1448.

Whittington, J. C. R., Muller, T. H., Mark, S., Chen, G., Barry, C., Burgess, N., & Behrens, T. E. J. (2020). The Tolman-Eichenbaum Machine. *Cell*, 183, 1249–1263.

Teyler, T. J., & DiScenna, P. (1986). The hippocampal memory indexing theory. *Behavioral Neuroscience*, 100(2), 147–154.

Scoville, W. B., & Milner, B. (1957). Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 20(1), 11–21.

Метод самоадаптивного керування ресурсами хмарної інфраструктури

Пазинін А.С.
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київ, Україна
E-mail: pazinin@gmail.com

Анотація. Запропоновано метод самоадаптивного керування хмарними ресурсами, який поєднує моніторинг, прогнозування навантаження, оцінювання стану та оновлення політики розподілу ресурсів. Наведено алгоритм і результати експериментального порівняння.
Ключові слова: хмарна інфраструктура, самоадаптивне керування, машинне навчання, прогнозування навантаження.

1. Вступ

Динамічність запитів ускладнює розподіл хмарних ресурсів. Порогові правила не завжди враховують часові залежності навантаження та стан вузлів. Машинне навчання дозволяє прогнозувати потреби в ресурсах [1], а самоадаптивні підходи узгоджують керуючі рішення з вимогами сервісів [2].

Мета роботи полягає у розробленні методу, який не лише змінює обсяг ресурсів за прогнозом, а й автоматизовано коригує політику керування за результатами виконаних дій.

2. Модель і алгоритм самоадаптивного керування

Архітектура охоплює моніторинг, аналітику, прогнозування, адаптивне прийняття рішень та оркестрацію. Зворотний зв'язок забезпечує оцінювання наслідків дій і коригування параметрів; передбачено самовідновлення сервісів у разі деградації вузлів.

Інтегральний показник стану поєднує нормалізовані параметри використання процесора, пам'яті, мережеві характеристики та швидкість зміни затримки. Це дозволяє враховувати поточне використання ресурсів і ознаки погіршення стану інфраструктури.

Навантаження прогнозується моделлю LSTM за історичними часовими рядами. Показник ризику перевантаження враховує використання ресурсів відносно критичних рівнів і нелінійну залежність від середнього навантаження. Без калібрування він не є імовірністю відмови.

Політика $\Phi(t)$ задає параметри розподілу ресурсів. Її оновлення залежить від стану системи, ризику, якості обслуговування та енергоспоживання. Коефіцієнт адаптації визначає інтенсивність змін, стабілізаційний компонент обмежує небажані коливання.

Керуюча дія обирається з допустимих альтернатив шляхом мінімізації зваженої суми ресурсних витрат, затримки, ризику перевантаження та енергоспоживання. Різнорозмірні критерії потребують узгодження масштабів і ваг.

Алгоритм включає збір телеметрії, аналіз стану, прогнозування, оцінювання ризику, вибір дії, оновлення політики й оркестрацію [3]. Після виконання дій аналізуються результати та коригуються параметри; передбачено перенавчання моделі.

3. Експериментальне оцінювання

Експериментальне середовище включало чотири вузли. Реалізацію виконано мовою Python із TensorFlow, NumPy та Pandas; використано Docker, Kubernetes, Prometheus і Grafana. Перевірялися стабільне й пікове навантаження, перевантаження та відмова вузла.

Порівнювалися порогове масштабування, горизонтальне автомасштабування Kubernetes, навчання з підкріпленням і запропонований метод. Час реакції становив відповідно 230, 190, 165 і 142 мс; використання ресурсів: 61, 72, 81 і 91 %; частка порушень якості обслуговування: 8,4; 5,1; 3,8 і 1,9 %.

Порівняно з пороговим підходом використання ресурсів зросло на 30 відсоткових пунктів. Показник споживання знизився зі 100 до 78 Вт. Ці значення характеризують потужність, а не витрачену енергію.

Результати стосуються дослідженого стенда. У статті не деталізовано конфігурацію вузлів, тривалість випробувань, повторення та статистичну мінливість. Узагальнення потребує перевірки відтворюваності й стійкості політики.

4. Висновки

Метод об’єднує прогнозування, оцінювання стану, аналіз ризику та оновлення політики в єдиний контур самоадаптації. Експеримент вказує на можливість зменшення затримок і порушень якості обслуговування. Подальші дослідження охоплюють перевірку стабільності, оптимізацію обчислювальних витрат та інтеграцію цифрового двійника.

Перелік посилань

1. Pintye I., Kovács J., Lovas R. Enhancing machine learning-based autoscaling for cloud resource orchestration. Journal of Grid Computing. 2024. Vol. 22. Art. 68. DOI: 10.1007/s10723-024-09783-1.

2. Nunes J. P. K. S., Nejati S., Sabetzadeh M., Nakagawa E. Y. Self-adaptive, requirements-driven autoscaling of microservices. Proceedings of SEAMS 2024. 2024. P. 168–174. DOI: 10.1145/3643915.3644094.

3. Zhong Z., Xu M., Rodríguez M., Xu C.-Z., Buyya R. Machine learning-based orchestration of containers: A taxonomy and future directions. ACM Computing Surveys. 2022. Vol. 54. DOI: 10.1145/3510415.

Метод адаптивного масштабування хмарних ресурсів на основі навчання з підкріпленням

Пазинін А.С.
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України, Київ, Україна
E-mail: pazinin@gmail.com

Анотація. Запропоновано метод адаптивного масштабування хмарних ресурсів на основі навчання з підкріпленням. Метод поєднує моніторинг інфраструктури, формування стану середовища, вибір керуючих дій та коригування політики за отриманою винагородою. Наведено модель станів, критерії оцінювання рішень і результати імітаційного порівняння з пороговим алгоритмом. Розглянуто можливості й обмеження застосування методу для сервісів зі змінним навантаженням.

1. Вступ

Хмарні інформаційні системи часто стикаються з коливаннями обсягу запитів, що зумовлює необхідність коригування обчислювальних ресурсів відповідно до поточного попиту. Якщо доступних ресурсів занадто мало, час обробки запитів може збільшитися. І навпаки, виділення більшої кількості ресурсів, ніж потрібно, призводить до неефективного використання інфраструктури та підвищення експлуатаційних витрат. Алгоритми на основі порогових значень відносно прості в реалізації, але їхня ефективність залежить від заздалегідь визначених правил та порогових значень. Прогностичні підходи дозволяють передбачати зміни попиту, хоча їхня ефективність залежить від точності базової моделі навантаження [1].

Навчання з підкріпленням пропонує інший підхід, дозволяючи агенту розробляти політику масштабування шляхом взаємодії з середовищем та на основі зворотного зв'язку щодо своїх дій [2, 3]. Метою цього дослідження є розробка методу автоматизованого управління хмарними ресурсами, що враховує стан інфраструктури, затримку запитів та споживання ресурсів. Метод призначений для адаптації рішень щодо масштабування у міру зміни умов робочого навантаження.

2. Модель і алгоритм адаптивного масштабування

Архітектура системи охоплює модулі моніторингу й аналізу стану, агента навчання з підкріпленням, підсистему прийняття рішень і механізм масштабування. Моніторинг забезпечує збирання показників використання процесора, оперативної пам'яті, мережевого навантаження та затримки запитів. На їх основі формується стан

середовища, після чого агент обирає дію: збільшити ресурси, зменшити їх або зберегти поточну конфігурацію.

Процес керування подано моделлю $M = \langle S, A, R, P \rangle$, де S є множиною станів, A є множиною дій, R є функцією винагороди, P визначає ймовірності переходів між станами. Вектор стану має вигляд $s_t = (uCPU, uMEM, uNET, d, n)$, де перші три компоненти характеризують використання процесора, пам'яті та мережі, d є затримкою обробки запитів, n є кількістю активних вузлів інфраструктури.

Функція винагороди визначається співвідношенням $R_t = \alpha Ueff - \beta D - \gamma C$, де Ueff характеризує ефективність використання ресурсів, D є затримкою обробки запитів, C є вартістю ресурсів, α, β, γ є ваговими коефіцієнтами. Вибір ваг задає пріоритети керування: продуктивність, мінімізацію затримки або економію ресурсів. Для спільного оцінювання різнорозмірних показників передбачається їх нормалізація.

Алгоритм утворює замкнений цикл: моніторинг, формування стану, вибір і виконання дії, оцінювання нового стану, обчислення винагороди та оновлення Q-функції. Поєднання дослідження нових дій із використанням накопиченого досвіду забезпечує поступове коригування політики. Особливістю методу є узгодження показників продуктивності та витрат у єдиному механізмі оцінювання рішень, а не лише реагування на перевищення окремого порогу.

3. Імітаційне оцінювання та обговорення результатів

Запропонований метод було оцінено шляхом моделювання роботи хмарної інфраструктури за кількох умов навантаження: стабільний попит, поступове збільшення обсягу запитів, раптовий сплеск навантаження та зниження активності користувачів. Як базовий варіант використовували традиційний алгоритм на основі порогових значень. Оцінка зосереджувалася на середній затримці запитів, використанні ресурсів, випадках надмірного масштабування, стабільності обслуговування та часі, необхідному для реагування на зміни навантаження.

Згідно з результатами моделювання, наведеними в оригінальній статті, запропонований метод забезпечив середню затримку запиту 112 мс, порівняно з 145 мс для алгоритму на основі порогових значень. Середній рівень використання ресурсів зріс з 68 % до 82 %, тоді як кількість випадків надмірного масштабування зменшилася з 14 до 6. Показник стабільності роботи сервісу покращився з 91 % до 97 %, а середній час реагування на зміни навантаження скоротився з 42 до 27 секунд.

Наведені значення характеризують досліджене модельне середовище, а не підтверджене виробниче впровадження. Вони вказують на

можливість поліпшення узгодженості масштабування з динамікою навантаження. Водночас у вихідному матеріалі не деталізовано конфігурацію стенда, тривалість експериментів, кількість повторень і спосіб обчислення показника стабільності. Тому узагальнення результатів на інші середовища потребує додаткової перевірки.
Практичне застосування методу залежить від якості даних моніторингу, налаштування винагороди та параметрів навчання. Початкове навчання агента може супроводжуватися недостатньо ефективними рішеннями. Подальше оцінювання має охоплювати відтворювані експерименти, різні профілі навантаження та перевірку поведінки системи за різких змін умов функціонування.

Перелік посилань

1. Alharthi S., Alshamsi A., Alseiari A., Alwarafy A. Auto-scaling techniques in cloud computing: Issues and research directions. Sensors. 2024. Vol. 24, No. 17. Art. 5551. DOI: 10.3390/s24175551.
2. Qiu H., Mao W., Wang C., Franke H., Youssef A., Kalbarczyk Z. T., Başar T., Iyer R. K. AWARE: Automate workload autoscaling with reinforcement learning in production cloud systems. 2023 USENIX Annual Technical Conference (USENIX ATC 23). 2023. P. 387–402.
3. Garí Y., Monge D. A., Pacini E., Mateos C., Garino C. G. Reinforcement learning-based application autoscaling in the cloud: A survey. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2021. Vol. 102. Art. 104288.

Decision support system for analysis of actuarial risks

Panibratov R.S.
(National academy of internal affairs, E - mail: roman.panibratov@gmail.com)

Actuarial risk analysis is the foundation of effective risk management in the insurance industry. It involves applying quantitative evaluation methods to methodically analyze potential financial losses.

Conscious, planned human behavior should serve as the foundation for the application of contemporary ideas in information technology, corporate management, knowledge acquisition, and intelligent system development. The development of environment-appropriate decision support information systems (DSS) is a crucial component of this.

Next methods were implemented during the process of development of intellectual DSS for analysis actuarial risks.

With the first component G being a directed acyclic graph that represents the variables of the process under study, a Bayesian network may

be represented as a cause-and-effect network of type $< G, B >$. The second element of pair B consists of a set of parameters that define the network.

The process of predicting a vertex's state based on a priori probability of other vertices' states in a Bayesian network is known as probabilistic inference building. Clustering techniques are based on the Lauritzen-Spigelhareter, or LS, method of probabilistic inference, which involves first transforming the Bayesian network's structure into a junction tree, then implementing probabilistic inference by sequentially enumerating the tables of conditional probabilities of the tree vertices and using the algorithm for propagating messages up and down the tree [1].

Generalized linear models (GLM) are a broad category of models, of which linear models are a particular instance. Normality, constant variance, and additivity of effects—the assumptions that confine the linear model—are eliminated.

The study [2] analyzed methods for estimating GLM parameters. The intelligent DSS was constructed using the Markov Chain Monte Carlo (MCMC) approach.

Actuarial data from insurance companies was used in the creation of DSS. Every worker's compensation insurance policy in this dataset has been involved in an accident.

Next types of GLM with specified link functions were implemented:

GLM with normal distribution and logarithmic link function.

GLM with exponential distribution and logarithmic link function.

GLM with Laplace distribution and identity link function.

The following model quality metrics were used after GLMs developed using the MCMC approach:

Logarithm of maximized value of a likelihood function;

Akaike information criterion (AIC);

Bayesian information criterion (BIC)

Table 1 provides values of metrics for all built GLM models

Table 1. Results of metrics for GLMs.

Metric	GLM Normal	GLM Exponential	GLM Laplace
Log-Likelihood	1.851	7.573	3.605
AIC	34.297	22.854	30.79
BIC	96.965	85.522	93.458

Figure 1 demonstrates the example of analysis of actuarial risks based on customer’s data from claim number.

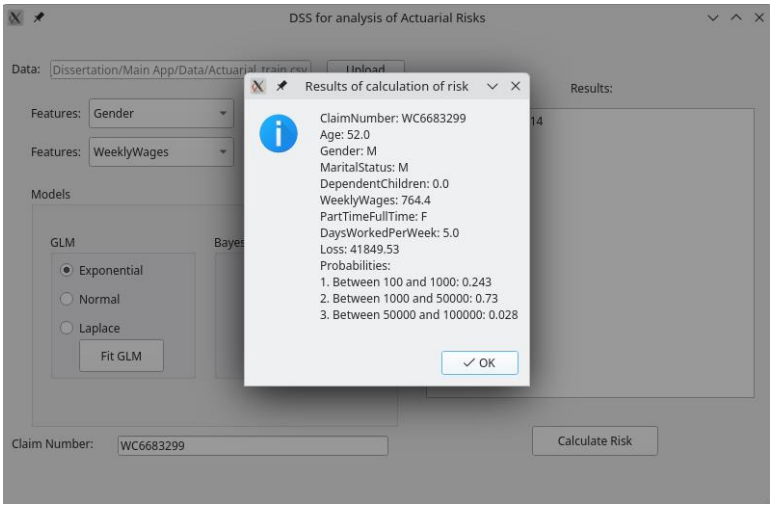


Figure 1 – Results of analysis of actuarial risk.

Results of implemented methods demonstrated, that the predictions and estimation of actuarial risks are quite accurate and acceptable.

References

Lauritzen S. L., and D. J. Spiegelhalter. "Local computations with probabilities on graphical structures and their application to expert systems." *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, vol. 50, no.2, 1988, pp. 157-194. https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1988.tb01721.x.

Panibratov, R., and P. Bidyuk. "Estimation of the Parameters of Generalized Linear Models in the Analysis of Actuarial Risks." *System research and information technologies*, no. 2, 2023, pp. 139-148. https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2023.2.10.

Оцінювання часової переносимості локально навченої моделі уточнення Dynamic World для 2020-2024 рр.

Підсадній С. Г., Охарєв В.О.

(Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України E-mail: sergiy.pidsadniy@gmail.com)

Попередня оцінка класифікації Dynamic World (DW) [1] для території України показала загальну точність (ОА) 51,15%. Після коригування території дослідження та повторної верифікації частини опорних точок ОА зросла до 64,58%, однак точність окремих класів залишалась недостатньою для аналізу змін землекористування [2].

Порогові методи на основі NDVI amplitude (амплітуди NDVI) та літньої фенології не забезпечили стабільного покращення через значне спектральне перекриття рослинних класів [2].

DW формується за допомогою Fully Convolutional Neural Network, FCNN (повністю згорткової нейронної мережі) на основі оптичних каналів Sentinel-2 L1C [1]. NDVI не використовується як окремий вхідний показник моделі, тому його сезонну динаміку було розглянуто як додатковий набір спектрально-фенологічних ознак.

Фінальна верифікаційна (manual) вибірка 2024 р. склала 1999 точок. Для частини вибірки проведено додаткову багатосезонну верифікацію за Sentinel-2; отримано 655 таких точок. Під час формування вибірок також враховувались лісова, лісостепова та степова природні зони України.

1. Локальне уточнення DW 2024 методом Random Forest.

Для уточнення DW навчено модель Random Forest (RF) [3]. 1577 точок використано для навчання та внутрішньої оцінки із застосуванням п'ятиблокової перехресної перевірки [4], 300 точок сформували незалежну відкладену контрольну (НВК) вибірку, ще 122 - набір складних випадків.

Для навчання використано 57 предикторів: 9 середніх річних смуг ймовірності класів (probability bands) DW [5], 9 часток появи класів як найбільш ймовірних упродовж року, 9 ознак річного домінуючого класу, 6 показників впевненості класифікації, кількість доступних спостережень, 12 місячних значень NDVI та 11 узагальнених фенологічних характеристик. На незалежній НВК-вибірці модель отримала OA 76,33 %, Kappa = 0,728 та Macro(Mr)-F1 = 71,17 %.

Для додаткової перевірки використано KPI-Ukraine land-use maps (Ukraine Crop Maps) [6]. Висока заявлена точність цього продукту стосується насамперед класифікації сільськогосподарських культур, тому його класи додатково зіставлялись із власною Sentinel-2-верифікованою вибіркою. Для 472 точок зі спільно підтримуваними класами OA між Manual та KPI становила 64,83%. Найстабільнішими виявились класи grass, flooded vegetation, crops та bare, для яких F1-score становив відповідно 73,0; 60,4; 76,3 та 66,3 %. Аналіз з урахуванням природних зон показав, що розбіжності між джерелами не пояснюються лише географічною нерівномірністю вибірки.

На незалежній збалансованій KPI-вибірці з 1500 точок застосування RF підвищило зовнішню узгодженість порівняно з Original DW: OA - з 70,47 до 72,20 %, Mr-F1 - з 65,13 до 69,10 %.

2. Тест часової переносимості моделі на 2021 рік.

Метою наступного етапу було перевірити можливість переносу моделі RFDW2024 на попередні роки без повторного навчання та повної ручної верифікації кожної річної класифікації.

Для перевірки використано незалежну просторову основу з 15 000 випадкових точок із фіксованими координатами для всіх років. Для 2021 р. сформовано стратифіковану підвибірку з 1500 точок за чотирма попередньо визначеними класами KPI: grass - 473, flooded vegetation - 248, crops - 472, bare - 307. DW під час відбору точок не використовувався.

Для кожної точки сформовано ті самі 57 предикторів, але за даними 2021 р., після чого до них застосовано незмінену модель RF, навчену на 2024 р. KPI2021 використовувався не як абсолютний еталон точності, а як зовнішнє джерело для оцінювання зміни узгодженості:

$$\Delta = Metric(RFDW2021, KPI2021) - Metric(DW2021, KPI2021).$$

Для Original DW2021 отримано OA 53,87%, збалансована точність (BA) 49,00% та Mr-F1 53,04%. Після переносу RF-моделі ці показники становили відповідно 61,93; 58,64 та 62,98%. Приріст Mr-F1 склав +9,94 в.п. Позитивна ΔF1 отримана для всіх чотирьох класів: grass +6,16 в.п., flooded vegetation +23,48 в.п., crops +0,62 в.п., bare +9,51 в.п. Відносно KPI2021 модель перевела 125 випадків із невідповідних у відповідні та 4 випадки - у зворотному напрямку..

Отримані результати підтверджують працездатність підходу при часовому переносі на 2021 р., однак характеризують зовнішню узгодженість, а не абсолютну точність RFDW2021. Додатковим незалежним джерелом для класу сільськогосподарських земель може бути ESA WorldCereal 2021 [7], зокрема річна карта поширення тимчасових культур. Його використання для автоматичної перекласифікації пікселів слід розглядати як окремий етап постобробки з подальшою незалежною валідацією.

Подальше дослідження передбачає аналогічний перенос моделі на 2020, 2022 та 2023 рр., визначення системності отриманих змін та незалежну багатосезонну верифікацію окремих років. Метою є формування узгодженого часового ряду LULC 2020-2024 рр. без необхідності повної ручної верифікації кожної річної класифікації.

Література

1. Brown C. F., Brumby S. P., Guzder-Williams B. et al. Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping. Scientific Data. 2022. Vol. 9. Art. 251. https://doi.org/10.1038/s41597-022-01307-4.

2. Okhariev, V., & Pidsadnii, S. (2026). Technology of improving the land use data accuracy for geospatial modeling tasks. Environmental Safety and Natural Resources, 58(2), 72-82. https://doi.org/10.32347/2411-4049.2026.2.72-82

3. Breiman L. Random Forests. Machine Learning. 2001. Vol. 45. P. 5-32. https://doi.org/10.1023/A:1010933404324.

4. Kohavi R. A Study of Cross-Validation and Bootstrap for Accuracy Estimation and Model Selection. Proceedings of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence. 1995. P. 1137–1145.
5. Myers D. T., Oviedo-Vargas D., Daniels M., Aryal Y. (2025). Increasing the Thematic Resolution for Trees and Built Area in a Global Land Cover Dataset Using Class Probabilities. Remote Sensing, 17(15), 2570. https://doi.org/10.3390/rs17152570.
6. Kussul N., Shelestov A., Yailymov B., Yailymova H., Lemoine G., Deininger K. Assessment of war-induced agricultural land use changes in Ukraine using machine learning applied to Sentinel satellite data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2025. Vol. 140. Art. 104551. https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104551.
7. Van Tricht K., Degerickx J., Gilliams S. et al. WorldCereal: a dynamic open-source system for global-scale, seasonal, and reproducible crop and irrigation mapping. Earth System Science Data. 2023. Vol. 15. P. 5491-5515. https://doi.org/10.5194/essd-15-5491-2023.

Проблеми передачі медичних даних в сучасних телемедичних сервіс-орієнтованих розподілених системах

Семко О.В.

(Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України, E - mail: ov_semko@ukr.net)

Основні проблеми передачі медичних даних в Україні пов'язані з обмеженнями бездротового радіосигналу (ускладнений рельєф, забудова) та потребою у передачі "важких" файлів — діагностичних карт (КТ/МРТ). Загалом ці перешкоди та шляхи їх подолання виглядають наступним чином:

1. Фізичні та технічні проблеми радіосигналу:

- *слабкий рівень сигналу та перешкоди*: у віддалених районах, де особливо необхідна телемедицина, базові станції мобільних операторів (*4G/LTE*) можуть мати недостатнє покриття, а також при послабшенні сигналу через негоду та фізичні перешкоди;

- *обмежена пропускна здатність*: для передачі потокового відео (відеоконсультації) або багатошарових зображень потрібна стабільна швидкість не нижче встановленого Наказу МОЗ № 218 стандарту (якщо мережа перевантажена, виникають зартримання та розриви зв'язку);

- *електромагнітні завади*: робота чутливого медичного обладнання (наприклад, кардіографів) може спотворюватися імпульсними радіосигналами сторонніх джерел.

2. Специфіка передачі медичних зображень (карт):

- *великий об'єм файлів*: файли комп'ютерної томографії (КТ) чи магнітно-резонансної томографії (*МРТ*) «важать» сотні мегабайт або навіть гігабайти і передача таких масивів даних через слабкий

радіоканал призводить до надмірної тривалості завантаження або втрати пакетів даних.

- *відсутність єдиної стандартизації*: для повноцінного аналізу кардіограм та томографічних зображень мають зберігатися у форматі *DICOM*, а проблеми виникають, коли обладнання різних виробників несумісне між собою на рівні 80програмного забезпечення.

3. Безпека інформації (Інформаційна безпека):

- *вразливість до перехоплення*: передача радіосигналами без належного шифрування становить ризик для медичної таємниці (інформація про стан здоров'я є конфіденційною згідно із Законом України «Про захист персональних даних»).

У зв'язку з цим проблеми передачі біомедичних сигналів і інформації можна розділити на дві категорій:

- проблеми надійності та якості зв'язку.

- проблеми надійності в сервіс-орієнтованих телемедичних системах (*SOA*).

Проблема надійності сучасних телемедичних сервіс-орієнтованих *SOA* полягає у забезпеченні безвідмовної взаємодії між незалежними вебсервісами (медичні карти, модулі біотелеметрії, сервіси ШІ-діагностики) в умовах нестабільного мережевого зв'язку, динамічного навантаження та жорстких вимог до часу відгуку (*QoS*).

Таким чином, проблеми надійності телемедичних сервіс-орієнтованих систем можливо сформулювати наступним наступним чином:

архітектурної надійності та оркестрації;

специфіки інфраструктури та умов експлуатації;

надійності даних та кібербезпеки (Cybersecurity);

масштабування та тестування.

Цифрові технології аналізу варіабельності серцевого ритму в системах дистанційного моніторингу

Зозуля А.М.

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ

Цифровізація медичних спостережень розширює можливості аналізу серцевого ритму поза межами разового обстеження. Важливим завданням є перетворення послідовності серцевих скорочень на відтворювані показники з відомою якістю. Інформаційна система має

забезпечувати збереження первинного запису, контроль помилок, обчислення характеристик та зрозуміле представлення результатів фахівцеві.

Мета роботи — обґрунтувати послідовність цифрового опрацювання ритмокардіографічних даних та їх інтеграції в дистанційний моніторинг. Об'єктом є інформаційні процеси аналізу серцевого ритму, предметом — методи представлення міжударних інтервалів, контролю якості й автоматизованої підтримки інтерпретації. Підхід передбачає поєднання математичного аналізу, програмних засобів і клінічного контексту.

Ритмокардіограма описує зміну тривалості послідовних міжударних інтервалів. Для аналізу варіабельності серцевого ритму важливо відокремлювати інтервали між нормальними скороченнями від артефактів та інших порушень послідовності. Базові підходи до їх вимірювання й інтерпретації систематизовано у рекомендаціях профільних кардіологічних товариств [1]. Дослідження ВСР доповнює інші спостереження, проте окремий показник не є самостійним діагнозом або універсальною оцінкою стану людини.

Архітектуру системи доцільно організувати як взаємодію модулів реєстрації, попередньої перевірки, обчислення ознак, зберігання та візуалізації. Кожний етап повинен залишати інформацію про виконані перетворення. Вихідні дані зберігають окремо від скоригованих послідовностей, щоб фахівець міг перевірити причину зміни результату. До запису включають дату, тип пристрою, тривалість спостереження та відомості про умови його проведення.

Контроль якості має передувати змістовій інтерпретації. Пропущене або помилково визначене скорочення змінює послідовність інтервалів і може спотворювати розрахунки. Програмне виправлення потребує явного позначення, а частка змінених даних — відображення у звіті. За недостатньої якості система повинна повідомляти про обмеження аналізу. Фотоплетизмографічні записи носимих пристроїв та електрокардіографічні вимірювання слід розрізняти, перевіряючи придатність кожного джерела до конкретного завдання.

Аналіз може охоплювати часові, частотні й нелінійні характеристики ВСР. Порівнюваність результатів залежить від тривалості запису, способу його опрацювання та умов реєстрації [1]. В інформаційній системі ці параметри доцільно подавати поруч із показниками. Зміни ритму не слід однозначно приписувати стресу, певному захворюванню або окремому механізму нервової регуляції. Такі висновки потребують урахування фізіологічного контексту та інших клінічних даних.

Методи машинного навчання можуть використовуватися для оцінювання якості записів, групування типових профілів і виявлення нетипової динаміки. Їхню працездатність необхідно перевіряти на незалежних учасниках, а не лише на інших фрагментах записів тих самих осіб. Потрібно розрізняти технічну точність алгоритму й клінічну корисність його висновків. Відмінності між віковими групами, пристроями та умовами спостереження мають бути представлені в плані перевірки [2].

Телемедична інтеграція передбачає передавання записів, результатів і позначок якості до уповноваженого фахівця. Інтерфейс має показувати час останнього оновлення та пропуски спостережень, щоб відсутність даних не сприймалася як стабільний стан. Правила сповіщень потребують окремого оцінювання за частотою хибних повідомлень і навантаженням на персонал. Доступ до відомостей організовують відповідно до ролей користувачів, із журналюванням перегляду й коригування результатів.

Отже, розвиток ритмокардіографічних інформаційних систем потребує узгодження цифрового аналізу, контролю якості та професійної інтерпретації. Запропонована організація опрацювання забезпечує простежуваність перетворень і можливість перевірки результатів. Подальша робота має охоплювати створення прототипу, тестування на незалежних записах і оцінювання клінічної доцільності визначених сценаріїв дистанційного моніторингу.

Список використаних джерел

1. Task Force of the ESC and NASPE. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. European Heart Journal. 1996. Vol. 17. P. 354–381.

2. S LupenkoThe rhythm-adaptive Fourier series decompositions of cyclic numerical functions and one-dimensional probabilistic characteristics f cyclic random processes Digital Signal Processing 140, 104104

Консолідація різнорідних даних та контроль достовірності в інформаційно-аналітичних системах

Тимчук Володимир

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного

Зростання обсягів цифрової інформації ускладнює роботу розподілених інформаційно-аналітичних систем. Відомості надходять із різних джерел, відрізняються структурою, часом створення, повнотою та ступенем перевірки. Накопичення записів без узгодження їхнього змісту може збільшувати навантаження на оператора й

приховувати суперечності. Тому консолідація має забезпечувати не лише технічне об'єднання даних, а й збереження їхнього походження, контроль якості та зрозуміле представлення невизначеності.

Мета роботи — визначити методичні принципи консолідованого опрацювання різнорідних відомостей із контролем достовірності та простежуваності їхніх перетворень. Об'єктом є інформаційні процеси в розподіленому цифровому середовищі, предметом — методи узгодження даних, опису їхньої якості й організації взаємодії користувача з аналітичною підсистемою. Розглянутий підхід стосується загальних завдань інформаційного забезпечення та не передбачає автоматичного виконання дій за результатами аналізу.

Основними проблемами є різнорідність форматів, неоднакові правила заповнення реквізитів, дублювання повідомлень і несинхронність оновлень. Окреме джерело може надавати неповні дані, а кілька каналів — повторювати один і той самий первинний запис. За цих умов кількість повідомлень не можна ототожнювати з кількістю незалежних підтверджень. Для коректного узагальнення необхідно розрізняти першоджерело, канал передавання та подальші інтерпретації інформації.

Модульний підхід передбачає виділення компонентів приймання, перевірки, нормалізації, зберігання та аналітичного представлення. Кожен компонент має визначені функції та правила обміну. Узгоджений опис реквізитів дозволяє відокремити структуру запису від особливостей конкретного програмного засобу. Оновлення модуля потребує перевірки сумісності з іншими частинами системи та збереження можливості відтворити оброблення раніше отриманих матеріалів.

Нормалізація охоплює ідентифікатори, часові позначки, одиниці вимірювання, назви категорій і правила позначення пропусків. Порожнє поле слід відрізняти від нульового значення, а невідомий час події — від часу отримання повідомлення. Початковий запис зберігають окремо від нормалізованої версії. Це дозволяє перевіряти помилки перетворення й уточнювати правила без втрати оригінальної інформації.

Семантичне узгодження передбачає формування словника понять та явних зв'язків між ними. Онтологічна модель може описувати типи документів, джерела, події оброблення та відповідальних користувачів. Однакові назви не завжди означають однаковий зміст, тому автоматичне зіставлення потребує контролю контексту. Для термінів із кількома значеннями доцільно зберігати пояснення й область

застосування, а нерозв'язані неоднозначності позначати для експертного розгляду.

Якість інформації доцільно характеризувати окремими показниками повноти, узгодженості, актуальності та простежуваності. Ці властивості не є взаємозамінними: своєчасний запис може містити помилковий реквізит, а повний — спиратися на неперевірене джерело. Підсумкова оцінка має супроводжуватися поясненням її складових. Відсутність суперечностей між записами сама по собі не доводить їхньої істинності, особливо коли вони походять від одного повідомлення.

Пошук дублікатів потрібно відокремлювати від встановлення достовірності. Збіг тексту або реквізитів може вказувати на повторне надходження, однак схожі записи іноді описують різні події. Злиття має зберігати посилання на всі вихідні матеріали та підставу об'єднання. Суперечливі версії доцільно представляти поруч із зазначенням часу і джерела, а не автоматично замінювати одну іншою. Виправлення користувача повинні залишатися видимими в історії змін.

Методи машинного навчання можуть застосовуватися для класифікації документів, вилучення реквізитів і виявлення нетипових записів. Їхні результати слід подавати як допоміжні оцінки, які потребують перевірки відповідно до важливості завдання. Показник упевненості моделі не дорівнює підтвердженій достовірності повідомлення. Навчальні дані повинні охоплювати характерні формати й помилки, а перевірні приклади — бути незалежними від матеріалів налаштування.

Інтерфейс аналітичної підсистеми має показувати походження відомостей, дату оновлення та наявні обмеження. Користувачеві необхідно розрізняти вихідний факт, машинну інтерпретацію й експертний висновок. Доцільні можливості перегляду першоджерела, зіставлення версій та відхилення помилкового узагальнення. Надмірна кількість повідомлень про незначні відмінності може знижувати увагу, тому правила сповіщень оцінюють також за їхньою зрозумілістю та корисністю.

Організація доступу ґрунтується на розподілі повноважень і фіксуванні дій користувачів. Зміна довідників, правил нормалізації та результатів перевірки повинна мати визначеного відповідального. Журналювання дозволяє встановити, який запис було використано, як його перетворено та ким підтверджено. Збереження історії не усуває потреби в контролі доступу до самих журналів, оскільки вони можуть містити відомості про користувачів і службові процеси.

Перевірку прототипу доцільно проводити на знеособленому або синтетичному наборі документів із відомими пропусками, дублікатами

та суперечностями. Оцінюють правильність вилучення реквізитів, частоту помилкового об'єднання, повноту виявлення дублікатів і відтворюваність результату. Окремо перевіряють, чи може користувач пояснити походження підсумкового запису. Числові значення ефективності мають визначатися експериментально, а не виводитися лише з опису архітектури.

Практичне значення підходу полягає у впорядкуванні інформаційних потоків, скороченні повторного ручного введення та підвищенні прозорості аналітичних процедур. Його застосування можливе в документообігу установ, наукових інформаційних ресурсах і системах адміністративного обліку. Для кожної предметної області потрібні власні словники, критерії якості й правила експертного підтвердження. Універсальність технічних модулів не означає однаковості змістових правил.

Отже, консолідоване опрацювання інформації доцільно будувати на узгодженні структури й змісту даних, збереженні першоджерел та явному представленні невизначеності. Важливими складовими є модульність, семантична сумісність, контроль версій і відповідальність користувача за підтвердження висновків. Подальші дослідження мають зосередитися на перевірці показників якості, стійкості до неоднорідності вхідних матеріалів і зручності аудиту результатів.

Інженерія інформаційно-аналітичної системи прогнозування відтоку клієнтів банку на основі методів машинного навчання та пояснювального штучного інтелекту

Чернякова О. П., Гуськова В. Г.

(Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», E-mail: cherniakova.oleksandra-ka51mp@edu.kpi.ua)

Актуальність. Відтік клієнтів є однією з ключових операційних загроз банківського сектору: втрата клієнта означає втрату пожиттєвої цінності (Customer Lifetime Value, CLV) та неповернення витрат на залучення (Customer Acquisition Cost, CAC) [1]. Реактивні підходи до утримання неефективні, тому потрібні проактивні моделі прогнозування ризику відтоку з інтерпретованими рекомендаціями для підрозділів утримання. Мета роботи – спроєктувати та реалізувати інформаційно-аналітичну систему, що поєднує порівняння архітектур машинного навчання, метод значень Шеплі (SHapley Additive

exPlanations, SHAP), оптимізацію порогу класифікації за вартістю помилок і двомовний інтерфейс.

Методи та реалізація. Задачу формалізовано як бінарну класифікацію: для вектора ознак клієнта x оцінюється $\hat{P}(Y = 1 \mid x)$, де $Y = 1$ – подія відтоку. Використано відкритий набір Bank Customer Churn Prediction (10 000 записів), стратифіковане розбиття 80/20; дисбаланс класів (~20,4%) компенсовано ваговими схемами. Порівнювалися градієнтний бустинг XGBoost, випадковий ліс із сигмоїдною калібрацією ймовірностей (метод Платта) та логістична регресія [2], [3]. Для пояснення прогнозів інтегровано SHAP: на рівні клієнта – каскадна діаграма факторів ризику, на рівні портфеля – зведений графік розподілу внесків ознак [4]. Оптимальний поріг τ^* мінімізує сукупні втрати $FN \cdot CLV + FP \cdot C_int$ на тестовій вибірці. Систему реалізовано як веб-застосунок зі режимами макро- та мікроаналізу, пакетним скорингом CSV і локалізацією UA/EN.

Результати. За порогу $\tau = 0{,}5$ XGBoost досягнув ROC-AUC = 0,868 і F1 = 0,609; Random Forest – найкраще калібрування (оцінка Брієра = 0,104) і Precision = 0,714; логістична регресія – ROC-AUC = 0,797 за час навчання менше 1 с. Заміна $\tau = 0{,}5$ на $\tau^* = 0{,}16$ (CLV = 1 500 USD, C_int = 50 USD) скорочує сукупні фінансові втрати приблизно на 59% на тестовій вибірці [5].

Висновки. Розроблено інформаційно-аналітичну систему прогнозування відтоку, що поєднує порівняння моделей, пояснювальний модуль SHAP і вартісну оптимізацію порогу. Це дає змогу обирати модель за бізнес-пріоритетом (виявлення відтоку або точність імовірностей) і формувати пріоритетний список клієнтів для операційного управління. Перспективи: потокові дані, альтернативні методи пояснення та перенесення на промислові джерела.

Література

1. Neslin S. A. et al. Defection detection: Measuring and understanding the predictive accuracy of customer churn models // Journal of Marketing Research. – 2006. – Vol. 43, No. 2. – P. 204–211.

2. Chen T., Guestrin C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System // Proc. 22nd ACM SIGKDD. – 2016. – P. 785–794.

3. Breiman L. Random Forests // Machine Learning. – 2001. – Vol. 45, No. 1. – P. 5–32.

4. Lundberg S. M., Lee S.-I. A Unified Approach to Interpreting Model Predictions // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2017. – Vol. 30.

5. Elkan C. The Foundations of Cost-Sensitive Learning // Proc. IJCAI. – 2001. – P. 973–978.

Впровадження адаптивного чат-бота для оцінювання персоналу в цифровій економіці

Ющенко К.С.,[1] Медвідь С.С.[2]
[1]Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України
E-mail: k.yuschenko@gmail.com
[2]Запорізький національний університет

Цифрова трансформація підвищує значення даних у прийнятті управлінських рішень. Мета роботи – обґрунтувати практичну схему впровадження адаптивного чат-бота для оцінювання персоналу. В її основу покладено підхід до формування тесту з банку завдань, параметризованих за компетентністю, складністю, темою, вагою, часом і відповідністю профілю працівника [1]. Актуальність дослідження пов'язана з тим, що поширення штучного інтелекту та хмарних обчислень із продуктивністю й конкурентоспроможністю економіки [2] призводять до виникнення нових швидкозмінних вимог до персоналу. На рівні організації це передбачає цифровізацію кадрових процедур, зокрема оцінювання компетентностей. Така структура пов'язує зміст тесту з вимогами посади; адаптивний добір узгоджується з принципами комп'ютерного адаптивного тестування [3].

Впровадження варто починати з визначення цільових посад і компетентностей та експертної перевірки банку завдань. Для кожного питання задають складність, тему, вагу й орієнтовний час. Чат-бот формує допустиму множину відповідно до профілю працівника, виключає повтори та обирає складність за заданим розподілом. Після відповіді він фіксує правильність, час і підказки та адаптує наступне завдання. Звіт відображає оцінки за компетентностями; кадрове рішення має також спиратися на додаткові дані й експертний розгляд.

В імітаційному випробуванні, представленому в роботі [1] завдання не повторювалися в межах тестових сесій. Для тестів із восьми питань середня частка правильних відповідей становила 0,71, тривалість – 418,8 с, а підсумкові бали – 63,7–88,4. Середня складність була вищою для краще підготовлених профілів (1,17–1,21) і нижчою для менш підготовлених (0,79–0,81). Це обґрунтовує пілотування механізму, однак показники є результатами моделювання, а не оцінкою ефекту організаційного впровадження.

Для пілотної версії підходу була запропонована обмежена група посад, зіставлення результатів чат-бота з незалежним експертним

оцінюванням і перевірка збалансованості тестів. Подальшу інтеграцію з кадровою системою було супроводжено контролем доступу до персональних даних, журналюванням і перевіркою результатів уповноваженим працівником. Ефект оцінено за покриттям компетентностей, відсутністю повторів, часом тестування, узгодженістю оцінок і витратами на оцінювання.

Список використаних джерел:

1. Ющенко К.С. Підхід до формування множини тестових завдань для оцінювання персоналу з використанням чат-ботів. Математичні машини і системи. 2026. № 2. С. 58–69. [Електронний ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/404728623_Approach_to_forming_a_set_of_test_tasks_for_personnel_assessment_using_chatbots (дата звернення: 24.09.2026).
2. Медвідь С., Череп А. Світові тенденції цифровізації економіки: драйвери, перспективи, виклики. Grail of Science. 2026. № 62. С. 471–476. DOI: https://doi.org/10.36074/grail-of-science.20.02.2026.048.
3. van der Linden W.J., Glas C.A.W. (eds.). Elements of Adaptive Testing. Springer, 2010. DOI: https://doi.org/10.1007/978-0-387-85461-8.

Методологія байєсівського підходу в оцінюванні ризиків для об'єктів критичної інфраструктури

[1]Гуськова В.Г., [1]Бідюк П.І., [2]Халигов А.А.

([1]Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», [2]Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, E - mail:guskovavera2009@gmail.com)

Методика оцінювання ризиків кібербезпеки, затверджена наказом Адміністрації Держспецзв'язку від 02.06.2026 № 402 [1], нормативно закріпила байєсівський метод оцінювання кіберризиків: скалярну форму теореми Байєса та формули РОВ = ОРВ × ОЧР, ОРВ = ВА × КВ [2]. Такий підхід має три обмеження: а) не враховує взаємозалежностей активів, через які процес поширення порушень є нелінійним; б) задає ОЧР і КВ точковими значеннями, ігноруючи їх статистичну та параметричну невизначеність і хвіст розподілу втрат; в) передбачає періодичне оцінювання нестаціонарного потоку інцидентів. Для процесів із такими властивостями розвинуто методологію байєсівського програмування [3], на основі якої запропоновано методику з чотирьох послідовних кроків (рис. 1), що усуває ці обмеження зі збереженням сумісності з Методикою.

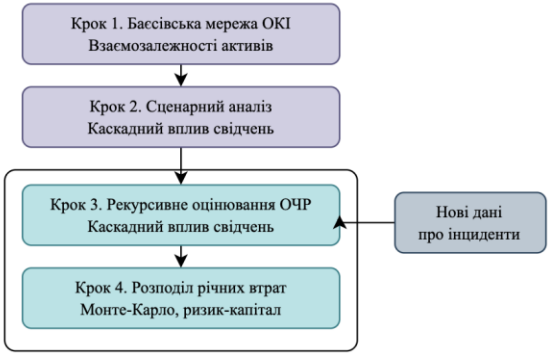


Рисунок 1. Схема методики оцінювання кіберризиків ОКІ на основі байєсівського програмування

Крок 1. Побудова байєсівської мережі ОКІ. За переліком активів і загроз (розділ II Методики) визначають вузли мережі: кіберзагрози, показники стану кіберзахисту, активи та цільовий сервіс. Зв'язки між вузлами відображають шляхи поширення порушень, зокрема каскадні. За браку статистики умовні розподіли задають експертними оцінками за схемою:

$$P(Y = 1|X_1, \ldots, X_n) = 1 - (1 - \lambda_0)\Pi(1 - \lambda_1)^{\{x_i\}},$$

де λ_i — імовірність того, що фактор X_i самостійно спричиняє подію Y; λ_0 — імовірність події з неврахованих причин.

Крок 2. Сценарний аналіз. Нову інформацію про стан кіберзахисту вводять у мережу як свідчення. Після перерахунку порівнюють апріорні та апостеріорні маргінальні ймовірності компрометації для всіх вузлів, а не лише для активу, якого безпосередньо стосується інформація. Так виявляють активи, критичність яких зростає через каскадні зв'язки.

Крок 3. Рекурсивне уточнення ОЧР. Очікувану частоту реалізації розглядають як випадкову величину λ з апріорним розподілом $Gamma(\alpha_0; \beta_0)$, параметри якого задають за експертною оцінкою або історичними даними. Кількість інцидентів n_t за період тривалістю Δt вважають пуассонівською, що утворює спряжену пару Гамма–Пуассон і дає аналітичне оновлення:

$$\alpha_t = \alpha_{t-1} + n_t; \beta_t = \beta_{t-1} + \Delta t; E[\lambda] = \frac{\alpha_t}{\beta_t}.$$

Апостеріорний розподіл кожного періоду стає апріорним для наступного, що відповідає п. 8 розділу VII Методики. Періодичність

оновлення визначається частотою надходження даних і може бути вищою за мінімальний щорічний перегляд.

Крок 4. Моделювання розподілу річних втрат. Замість точкової РОВ = ВА × КВ × ОЧР розподіл втрат будують методом Монте-Карло. У кожному прогоні генерують інтенсивність λ з апостеріорного розподілу кроку 3, кількість реалізацій $N \sim Poisson(\lambda)$ і для кожної реалізації коефіцієнт вразливості $КВ_k$ з бета-розподілу. Річні втрати обчислюють як $L = \Sigma_k ВА \times КВ_k$. Ризик-капітал на рівні довіри q визначають як q-квантиль розподілу L. Середнє розподілу збігається з точковою РОВ, що забезпечує сумісність із Методикою.

Висновки. Методологію байєсівського програмування адаптовано до оцінювання кіберризиків ОКІ зі збереженням сумісності з Методикою № 402. Запропонована методика враховує взаємозалежності активів за допомогою баєсівської мережі, забезпечує безперервне уточнення ОЧР за потоком даних і дає змогу обґрунтовувати обсяг заходів кіберзахисту за ризик-капіталом, а не лише за середніми втратами.

Список використаних джерел:

Про затвердження Методики оцінювання ризиків кібербезпеки: наказ Адміністрації Держ. служби спец. зв'язку та захисту інформації України від 02.06.2026 № 402: зареєстр. в Мін. юстиції України 18.06.2026 за № 880/46274. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0880-26

Кузнєцова Н. В., Бідюк П. І. Теорія і практика аналізу фінансових ризиків: системний підхід : монографія. Київ : Ліра-К, 2020. 400 с.

Di Giorgio A., Liberati F. A Bayesian network-based approach to the critical infrastructure interdependencies analysis. *IEEE Systems Journal*. 2012. Vol. 6, No. 3. P. 510–519. DOI: 10.1109/JSYST.2012.2190695.

Застосування гібридної архітектури TCN-Bayesian-LSTM для прогнозування врожайності зернових культур в умовах кліматичних змін

Просянкін Д. І.

(Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України, E – mail: conference.itgis@gmail.com)

Врожайність зернових культур є нестаціонарним і зашумленим часовим рядом, у якому міжрічні коливання, зумовлені погодними екстремумами, часто переважають відмінності між агротехнічними варіантами. Традиційні детерміновані регресійні моделі та класичні часові моделі не завжди здатні відтворити нелінійні порогові ефекти,

синергію між кліматом і добривами та невизначеність прогнозу. Для систем програмування урожйності потрібен не лише точковий прогноз, а й кількісно обґрунтований довірчий інтервал, який дозволяє оцінити ризик агротехнічного рішення.

Дослідження виконано на даних понад 2700 польових дослідів фахівців Уманського національного університету садівництва, отриманих у 1964–2007 рр. Для підвищення точності прогнозу урожайності озимої пшениці за урахування кліматичних змін, розроблено гібридну архітектуру TCN-Bayesian-LSTM. Поєднання TCN, байєсівського LSTM, динамічної адаптивної регуляризації та гетероскедастичної параметризації дисперсії забезпечило $R^2 = 0{,}81$, MAE $= 2{,}98$ ц/га, CV_RMSE $= 11{,}4\%$ та 95 % coverage rate $= 94{,}2\%$. За MAE модель перевершила XGBoost на 18,1 % і детермінований LSTM на 12,6 %. SHAP-аналіз підтвердив практичну цінність моделі для виявлення порогових ефектів температури та азотно-водного режиму.

Порівняльні результати наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння результатів прогнозування врожайності, отриманих за використання

Модель	R^2	MAE, ц/га	CV_RMSE, %	95 % coverage rate, %
TCN-Bayesian-LSTM	0,81	2,98	11,4	94,2
Детермінований LSTM	0,72	3,40	15,2	78,5
XGBoost	0,67	3,64	18,7	—
Random Forest	0,65	3,71	19,1	—

Запропонована модель (TCN-Bayesian-LSTM) забезпечила $R^2 = 0{,}81$, MAE $= 2{,}98$ ц/га та CV_RMSE $= 11{,}4\%$. Порівняно з показниками XGBoost це дало зниження значення MAE на 18,1%, а з детермінованим LSTM — на 12.6%. За показником R^2 перевага пропонованого підходу над XGBoost становить 20.9%. Особливу ефективність модель показала в роки з екстремальними погодними явищами. Під час посухи 2010 р. прогнозований 95 % довірчий інтервал повністю накрив фактичну врожайність $32{,}4$ ц/га, тоді як ансамблеві методи давали похибку понад 17 %. CV_RMSE для авторської моделі становив $11{,}4\%$ проти $18{,}7\%$ в XGBoost; CRPS для посушливого року — $0{,}11$. SHAP-аналіз дозволив кількісно локалізувати

агрономічні пороги. Для озимої пшениці виявлено різке падіння SHAP-значень при $T_{\max} > 28°C$ у фазу цвітіння: кожен градус перевищення норми коштував 4,2–5,1 ц/га (у презентації наведено середню оцінку 4,8 ц/га). Для кукурудзи критичний поріг виявлено на рівні $32°C$ під час викидання волоті. Для азотних добрив встановлено нелінійну взаємодію з вологою: за опадів менше 40 мм внесення азоту понад 80 кг/га має негативний SHAP-внесок (до -8 ц/га, що відповідає зниженню врожаю на 12–15 %), тоді як за опадів 60–80 мм оптимальна доза розширюється до 120 кг/га.

Отже, пропонований підхід, науковою новизною якого є застосування гібридної ймовірнісної архітектури для нестаціонарних агрономічних рядів новизна, ефективність якого перевірена емпірично. Як показали чисельні експерименти, пропонована гібридна модель може бути використана для підтримки прийняття рішень у системі програмування урожайності зернових культур. Обмеженням даного дослідження є те, що для побудови моделей використано: дані однієї ґрунтово-кліматичної зони. В подальшому дане дослідження буде розвинуто за рахунок застосування зовнішньої валідації в інших агроекологічних зонах, трансферного навчання, включення екологічних критеріїв (зокрема, вимивання нітратів, емісії N_2O) до цільової функції та перехід до інтервальних прогнозів із моніторингом дрейфу якості моделі.

Список використаних джерел

van Klompenburg, T., Kassahun, A., & Catal, C. (2020). Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review. Computers and Electronics in Agriculture, 177, 105709. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105709

Khaki, S., Wang, L., & Archontoulis, S. V. (2020). A CNN-RNN framework for crop yield prediction. Frontiers in Plant Science, 10, 1750. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01750

Srivastava, A. K., Safaei, N., Khaki, S., Lopez, G., Zeng, W., Ehsani, R., et al. (2022). Winter wheat yield prediction using convolutional neural networks from environmental and phenological data. Scientific Reports, 12(1), 3215. https://doi.org/10.1038/s41598-022-06249-w

Schierhorn, F., Hofmann, M., Gagalyuk, T., et al. (2021). Machine learning reveals complex effects of climatic means and weather extremes on wheat yields during different plant developmental stages. Climatic Change, 169(3–4), 39. https://doi.org/10.1007/s10584-021-03272-0

Rajbongshi, A., Johora, F., Hossain, A., et al. (2026). Leveraging explainable AI for sustainable agriculture: A comprehensive review of recent advances. Artificial Intelligence Review, 59(3), 105. https://doi.org/10.1007/s10462-025-11459-5

Quyoom, B., Wani, A., Lone, A., et al. (2026). A maize-centric framework for explainable artificial intelligence in decoding drought tolerance mechanisms. Discover Plants, 3(1), 18. https://doi.org/10.1007/s44372-026-00485-4

Choi, J. W., Hidayat, M. S., Cho, S. H., et al. (2025). Recent trends in machine learning, deep learning, ensemble learning, and explainable artificial intelligence techniques for evaluating crop yields under abnormal climate conditions. Plants, 14(18), 2841. https://doi.org/10.3390/plants14182841

Javed, M. A., & Murad, M. A. A. (2024). Crop yield prediction in agriculture: A comprehensive review of machine learning and deep learning approaches, with insights for future research and sustainability. Heliyon, 10(24), e40836. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40836

Напрями оцінювання ризиків функціонування систем генеративного штучного інтелекту

Деркач О. Ю., Клименков О. А.
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна
oleksandr.derkach@proton.me; oleg@klymenkov.com

Надійне використання систем генеративного штучного інтелекту (ГШІ) у цифрових сервісах потребує оцінювання не лише відповідей, а й наслідків їх використання. NIST AI 600-1 передбачає контекстне вимірювання ризиків і перевірку валідності метрик [1]. Мета роботи - систематизувати обрані підходи та визначити вимоги до оцінювання ризиків україномовних систем із зовнішніми даними й агентними діями. Проведено тематичне зіставлення праць [2-8] за об'єктом оцінювання, показниками та межами застосування; огляд не претендує на вичерпність.

Невизначеність відповіді. Семантична ентропія характеризує невизначеність змісту відповідей і допомагає виявляти конфабуляції - окремий клас галюцинацій. Її дискретний варіант не потребує доступу до імовірностей генерацій [2]. Проте цей показник сам по собі не визначає тяжкості наслідків помилки в конкретному сервісі.

Зовнішні дані. Непрямі ін'єкції інструкцій можуть змінювати поведінку застосунків [3], а PoisonedRAG демонструє нав'язування цільових відповідей через отруєння бази знань у досліджених конфігураціях [4]. Частка успішних атак характеризує стійкість за заданої моделі загроз, але не дорівнює ймовірності шкоди в експлуатації.

Агентні дії. ToolEmu поєднує емуляцію інструментів, автоматичне оцінювання небезпечних дій та людську перевірку результатів [5]. Отже, системне оцінювання вже розвивається; для конкретного сервісу необхідно визначити небезпечні події, допустимі дії та критерії завершення захисної реакції.

Мовний контекст. Багатомовні випробування виявили залежність безпечності від мови для досліджених моделей [6]. UAlign показує відмінності етичного узгодження українською й англійською [7], але не

охоплює перевірку всього маршруту роботи із зовнішніми даними та інструментами. Мова є наскрізною умовою оцінювання, а не окремим етапом роботи системи.

Надійність оцінювача. Узгодженість сильних суддів-моделей із людськими перевагами в MT-Bench і Chatbot Arena не є універсальною гарантією фактичної правильності [8]. Потрібна перевірка оцінювача на предметних даних із визначеними категоріями, незалежною експертною розміткою та оцінкою невизначеності.

Постановка подальшого дослідження. Пропонується пов'язувати джерело загрози, спостережувану ознаку, небажану подію, наслідок і захисну реакцію в межах заданого контексту. Для цього слід: визначити події й тяжкість наслідків; калібрувати оцінки та враховувати похибки оцінювачів; перевіряти правила продовження роботи, додаткового контролю, зупинення дії або передавання людині. Неприпустимі наслідки потребують окремих обмежень, які не компенсуються високою корисністю відповіді.

Висновки. За результатами зіставлення визначено вимоги до врахування контексту й наслідків, надійності оцінювача та ефективності захисної реакції. Подальша перевірка передбачає парні українсько-англійські сценарії, фіксовані версії систем і відкладений набір даних. Слід порівняти базовий контроль із запропонованим за частотою небезпечних подій, хибних блокувань, затримкою та витратами; імовірність помилки відокремлювати від імовірності шкоди. Зведення показників до одного числа потребує окремого обґрунтування.

Використані джерела

1. NIST. Artificial Intelligence Risk Management Framework: Generative Artificial Intelligence Profile. NIST AI 600-1. 2024. DOI: 10.6028/NIST.AI.600-1.
2. Farquhar S. et al. Detecting hallucinations in large language models using semantic entropy. Nature. 2024. Vol. 630. P. 625-630. DOI: 10.1038/s41586-024-07421-0.
3. Greshake K. et al. Not what you've signed up for: Compromising Real-World LLM-Integrated Applications with Indirect Prompt Injection. AISec '23. 2023. P. 79-90. DOI: 10.1145/3605764.3623985.
4. Zou W. et al. PoisonedRAG: Knowledge Corruption Attacks to Retrieval-Augmented Generation of Large Language Models. USENIX Security 2025. P. 3827-3844.
5. Ruan Y. et al. Identifying the Risks of LM Agents with an LM-Emulated Sandbox. ICLR 2024. arXiv:2309.15817.
6. Deng Y. et al. Multilingual Jailbreak Challenges in Large Language Models. ICLR 2024. arXiv:2310.06474.
7. Kravchenko A., Paniv Y., Drushchak N. UAlign: LLM Alignment Benchmark for the Ukrainian Language. UNLP 2025. P. 36-44. DOI: 10.18653/v1/2025.unlp-1.4.
8. Zheng L. et al. Judging LLM-as-a-Judge with MT-Bench and Chatbot Arena. Advances in NeurIPS. 2023. Vol. 36. arXiv:2306.05685.

3D Building Entity Resolution for Ukraine's Reconstruction: Challenges and Evaluation Requirements

Nina Klimenkova[1], Oleg Klymenkov[2], Roee Shraga[1]
[1] Worcester Polytechnic Institute, E-mail: nklimenkova@wpi.edu, rshraga@wpi.edu;
[2] Institute of Telecommunications and Global Information Space, National Academy of Sciences of Ukraine

Digital representations of buildings and urban infrastructure are becoming an important component of Ukraine's reconstruction efforts [1]. The European Commission is developing a Digital Twin for the Reconstruction of Ukraine that aims to combine 3D city representations with satellite imagery, drone footage, and digitized inspection reports [2]. UNIDO is also exploring a 3D city-model and digital-twin platform, with attention to interoperability and data governance [3]. Together, these efforts motivate a data-integration problem: independently produced 3D models and related observations need to be associated with the same physical buildings.

Conventional geographic information system (GIS) methods can match buildings by location or footprint overlap when geographic references are reliable [4]. Different coordinate systems are not a problem if they can be accurately transformed. However, some independently reconstructed 3D meshes may lack trustworthy geographic alignment, even when the source imagery contains location metadata. The positional accuracy of photogrammetric models depends on georeferencing procedures and ground control [5]. In such cases, spatial matching may be inconclusive or incorrect.

Consider a municipality with a georeferenced 3D building inventory and a contractor's new survey models that cannot be aligned reliably. Identifying which models describe the same building is an entity-resolution (ER) task. 3dSAGER [4] uses intrinsic 3D mesh properties to retrieve candidate pairs and classify potential matches without requiring aligned geographic coordinates. Thus, it can provide complementary evidence when conventional GIS matching is unsuitable.

Geometric evidence may also be uncertain. Figure 1 illustrates (a) one building modeled at different levels of detail; (b) the same building before and after physical change; and (c) distinct buildings with similar geometry. The first two are identity matches despite geometric differences; the third is not, despite visual similarity.

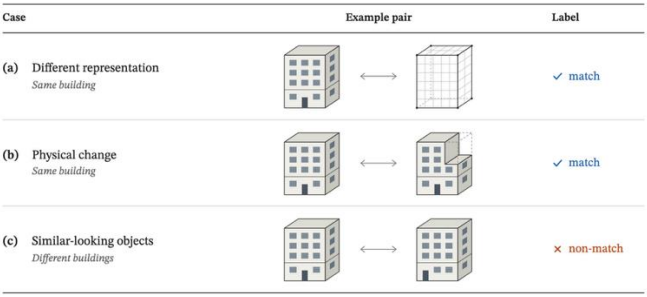


Fig 1. – Three building-identity conceptual situations.

3dSAGER is coordinate-independent by design and has already been evaluated on urban and post-disaster datasets [4]. Reconstruction raises a different question: whether geometric matching remains reliable when buildings change or have similar shapes. We therefore distinguish uncertainty in geographic alignment from uncertainty in building identity. When geometry alone is ambiguous, combining it with available reliable GIS information, historical records, or survey metadata could reduce uncertainty. Otherwise, a correspondence should remain unresolved.

Future studies should evaluate geometry-based ER on verified cross-source and cross-time building pairs, separating differences in representation, physical changes, and lookalike buildings. Conventional GIS matching provides a baseline when geographic information is reliable; geometry-based matching may be useful when it is not. A further comparison could test whether additional evidence reduces incorrect or unresolved links. Metrics include candidate recall, matching precision and recall, and unresolved-case rates.

References

[1] State Agency for Restoration and Infrastructure Development of Ukraine. “Building a Digital Ecosystem for Ukraine’s Recovery: Second Cohort of the ‘BIM for Project Managers’ Program Launched,” June 4, 2026. https://restoration.gov.ua/en/blog/building-a-digital-ecosystem-for-ukraines-recovery-second-cohort-of-the-bim-for-project-managers-program-launched/

[2] European Commission. “Digital Twin for the Reconstruction of Ukraine,” November 13, 2025 (updated June 24, 2026). https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/digital-twin-reconstruction-ukraine

[3] United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). “Exploring the development of a 3D city model platform in Ukraine,” June 19, 2026. https://www.unido.org/news/exploring-development-3d-city-model-platform-ukraine

[4] B. Genossar, S. Dalyot, R. Shraga, and A. Gal. “3dSAGER: Geospatial Entity Resolution over 3D Objects,” Proceedings of the ACM on Management of Data, vol. 3, no. 6, Article 286, pp. 1–28, 2025. https://doi.org/10.1145/3769751

[5] E. Sanz-Ablanedo, J. H. Chandler, J. R. Rodríguez-Pérez, and C. Ordóñez. "Accuracy of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and SfM Photogrammetry Survey as a Function of the Number

and Location of Ground Control Points Used," Remote Sensing, 10(10), 1606, 2018. https://doi.org/10.3390/rs10101606

Побудова цифрових двійників для управління водними ресурсами регіону за умови воєнних ризиків

Джалладова І.А., Камінський О.Є.

(Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана, E - mail: olkam@kneu.edu.ua)

Пошкодження гідротехнічної інфраструктури, нестабільність енергопостачання та тривалі посухи ускладнюють забезпечення регіонів водними ресурсами. За таких умов управлінські рішення мають ураховувати взаємозалежність природних процесів, технічний стан споруд і потреби водокористувачів. Це можливо через поєднання гідрологічного та гідродинамічного моделювання з методами машинного навчання й оптимізації. Практичним засобом їх інтеграції є побудова цифрового двійника водної системи (її обчислювального відображення), яке регулярно уточнюється за результатами вимірювань і дає змогу оцінювати наслідки можливих управлінських рішень [1].

Перспективним напрямом розвитку цифрових двійників є диференційовне моделювання, що забезпечує узгоджене оцінювання параметрів фізичної моделі та навчання її окремих складових на основі даних [2]. Зокрема, нейронні мережі з фізичними обмеженнями враховують рівняння водного руху й балансові співвідношення під час мінімізації похибки [3], а графові нейронні мережі застосовують для опису взаємозв'язків між ділянками річкового басейну.

Попередньо навчені геопросторові моделі поєднують дані дистанційного зондування для визначення меж і змін площі водних об'єктів. Контур функціонування цифрового двійника наведено на рис. 1. На початковому етапі дані спостережень узгоджують у часі та просторі, перевіряють їхню повноту й виявляють аномальні значення. Уточнена модель є основою для розрахунку водного балансу та порівняння сценаріїв посухи, пошкодження гідротехнічних споруд або припинення роботи насосного обладнання. За результатами розрахунків оператор обирає та затверджує управлінське рішення. Подальші вимірювання дають змогу оцінити його наслідки, скоригувати модель і підготувати наступний цикл розрахунків. Таким чином забезпечується зворотний зв'язок між спостереженням, моделюванням та управлінням водними ресурсами.

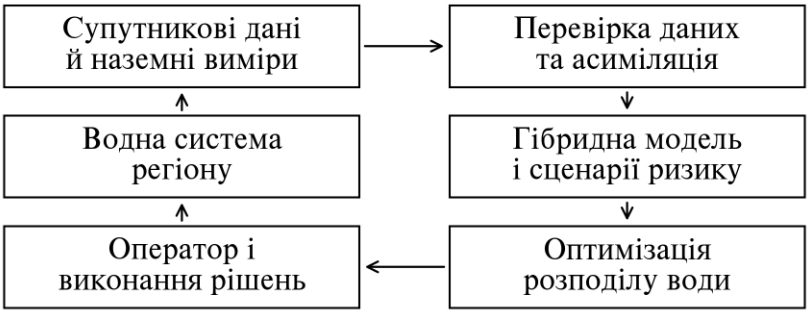


Рис. 1. Контур цифрового двійника водних ресурсів

Для водосховища баланс за добу t запишемо як

$$V_{t+1} = V_t + I_t - E_t - q_t - \sum_i u_{it}. \qquad (1)$$

де: V — запас води в м. куб.;

I — сумарний приплив за добу;

E — випаровування та фільтраційні втрати за добу;

q — екологічний попуск за добу;

u_i — обсяг подачі води споживачу і за добу.

Для кожного сценарію, залежно від припливу й стану споруд, баланс обчислюється окремо.

Розподіл води пропонується визначати робастною моделлю:

$$\min_u \max_{s \in S} \sum_t \sum_i w_i (d_{it} - u_{it}^s), \qquad (2)$$
$$0 \le u_{it}^s \le d_{it};$$
$$V_{мін} \le V_t^s \le V_{макс};\ q_t^s \ge q_{мін}.$$

де S — сценарії;

d — потреба у воді;

$w_i > 0$ - це вага пріоритету.

Модель (2) мінімізує найбільший зважений дефіцит води серед розглянутих сценаріїв з урахуванням пропускної здатності мережі. Сценарії з однаковою історією спостережень передбачають однакові рішення до надходження нової інформації. План водорозподілу регулярно уточнюється, узгоджуючи потреби водокористувачів, енерговитрати та екологічні вимоги. Навчання з підкріпленням доцільно порівнювати з методами оптимізації в імітаційному середовищі з перевіркою дотримання обмежень безпеки.

Практичне застосування потребує документування рішень, простежуваності походження даних і резервного режиму роботи за втрати зв’язку. Результативність моделі необхідно підтвердити на регіональних даних.

Список використаних джерел

1. ECMWF. «Destination Earth moves into its third phase», 2026. URL: https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/news/2026/destination-earth-moves-its-third-phase (дата звернення: 23.10.2026).
2. Zhang C. et al «A differentiability-based processes and parameters learning hydrologic model for advancing runoff prediction and process understanding». *Journal of Hydrology*. 2025. Vol. 661. Art. 133594. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2025.133594.
3. Raissi M., Perdikaris P., Karniadakis G. E. «Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations». *Journal of Computational Physics*. 2019. Vol. 378. P. 686–707.

Методичний підхід до оцінювання впливу прогнозних гідрометеорологічних умов на прийняття управлінських рішень щодо реагування на надзвичайні та кризові ситуації

Вишняков В.Ю.[1], Клименко В.І.[2], Долинний В.В.[3], Брага Д.М.[4]
[1]Національний університет оборони України, Україна [2]Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України, Україна
[3] ТОВ «Аналітика», Україна
[4] Управління космічної політики у сфері оборони Міністерства оборони України, Україна
E-mail: wishnya_dzz@ukr.net, klimenko_vika@ukr.net

Зростання частоти та інтенсивності небезпечних гідрометеорологічних явищ у світі зумовлює необхідність удосконалення підходів до використання прогнозної інформації під час підготовки та прийняття управлінських рішень щодо реагування на надзвичайні й кризові ситуації. Інформування про очікувані метеорологічні параметри не завжди забезпечує достатнє підґрунтя для визначення пріоритетності захисних заходів, оскільки однакові погодні умови можуть спричиняти різні наслідки залежно від характеристик території, наявності об'єктів критичної інфраструктури, уразливості населення, готовності відповідних служб тощо.

Вирішення цієї проблеми потребує якісного й своєчасного оцінювання впливу прогнозованих небезпечних явищ на населення, інфраструктуру та функціонування систем життєзабезпечення. Такий підхід відповідає концепції *impact-based forecasting and warning services - «прогнозування та попередження з урахуванням впливу»*, викладеній у рекомендаціях Всесвітньої метеорологічної організації, та передбачає

перехід від повідомлення про ймовірність небезпечного явища до оцінювання можливих наслідків його реалізації.

Метою роботи є розроблення методичного підходу до оцінювання впливу прогностичних гідрометеорологічних умов на прийняття управлінських рішень щодо реагування на надзвичайні та кризові ситуації.

Для досягнення поставленої мети запропоновано п'ятиетапну послідовність опрацювання прогнозної інформації:

Збирання та підготовка даних. Передбачає отримання найбільш імовірних прогнозів гідрометеорологічних параметрів від наявних глобальних та регіональних прикладних моделей для чисельного прогнозування гідрометеорологічних умов моделей чисельного прогнозу погоди, а також відомостей про критерії небезпечних явищ, характеристики території та розміщення потенційно уразливих об'єктів. Для кожного джерела доцільно фіксувати час формування прогнозу, просторову роздільну здатність, період дії та відомості про невизначеність.

Визначення об'єктів і умов можливого впливу. Здійснюється ідентифікація об'єктів критичної інфраструктури, транспортних комунікацій, систем енергозабезпечення, населення та інших елементів, функціонування яких може бути порушене внаслідок небезпечного явища.

Оцінювання ймовірності та можливих наслідків. Прогнозовані параметри зіставляються з установленими для відповідних об'єктів критеріями небезпеки. Враховуються очікувана інтенсивність явища, тривалість його дії, просторове охоплення, уразливість об'єктів і наявні можливості реагування.

Формування матриці впливу. Результати оцінювання систематизуються за територіями, об'єктами, часовими інтервалами, характеристиками небезпечного явища та очікуваними наслідками. Для попереднього ранжування пропонується використовувати три аналітичні категорії: вплив мінімальний; вплив не критичний (можуть бути ускладнення); вплив критичний (потребує негайного втручання та вжиття відповідних заходів). Ці категорії є елементом запропонованого методичного підходу й не замінюють установлених нормативними документами рівнів небезпеки або порядку оповіщення.

Підготовка інформації для прийняття рішень. На основі матриці визначаються пріоритетні об'єкти спостереження, потреба в уточненні прогнозу, доцільність завчасного залучення сил і засобів та напрями запобіжних заходів. Остаточне рішення приймається уповноваженою

посадовою особою з урахуванням нормативних вимог, фактичної обстановки й доступних ресурсів.

Концептуально вплив пропонується подати як залежність:

$$R=f(H,E,V,C),$$ де

R – оцінка очікуваного впливу; H – характеристики небезпечного гідрометеорологічного явища; E – експозиція населення та об'єктів; V – їх уразливість; C – спроможність та умови реагування.

Зазначена залежність відображає структуру оцінювання, а не завершену розрахункову модель. Для її практичного використання запропоновано визначити показники, шкали оцінювання, вагові коефіцієнти та порогові значення з урахуванням типу небезпечного явища, особливостей території й наявних статистичних даних. Це дасть змогу уникнути необґрунтованого застосування єдиних критеріїв до різних за природою та наслідками подій.

Важливим елементом методичного підходу є забезпечення контрольованості та можливості коригування результатів. Матриця впливу має містити посилання на джерело прогнозу, час його отримання, оцінені параметри, категорію очікуваного впливу, обґрунтування висновку та рекомендований напрям реагування. Оновлення прогнозних даних повинно супроводжуватися порівнянням з попередніми оцінками, що дасть змогу враховувати зміну метеорологічної обстановки та зменшувати ризик прийняття рішень на основі застарілої інформації.

Запропонований підхід створює передумови для інтеграції гідрометеорологічних прогнозів із геопросторовими даними та інформацією про критичні об'єкти. Його практична реалізація може підтримувати територіальне ранжування ризиків, визначення пріоритетів моніторингу, завчасне планування ресурсів і підготовку обґрунтованих рекомендацій для органів управління та сил реагування.

Водночас ефективність підходу потребує експериментальної перевірки на матеріалах реальних небезпечних подій. Основними критеріями такої перевірки можуть бути своєчасність оцінювання, відповідність прогнозованих наслідків фактичним, частота хибних попереджень і непрогнозованих небезпечних подій, а також ефективність прийнятих управлінських рішень.

Розроблений методичний підхід передбачає послідовне перетворення прогнозних гідрометеорологічних даних на структуровану оцінку очікуваного впливу та інформаційну основу для прийняття управлінських рішень. Його відмінною рисою є поєднання характеристик небезпечного явища з експозицією й уразливістю об'єктів та умовами реагування. Подальші дослідження пропонується

спрямувати на формалізацію критеріїв оцінювання, визначення порогових значень для різних типів небезпечних явищ і перевірку запропонованого методичного підходу за фактичними даними.

Список використаних джерел:

World Meteorological Organization. Guidelines on Multi-hazard Impact-based Forecast and Warning Services. WMO-No. 1150. Geneva : WMO, 2015. URL: https://etrp.wmo.int/pluginfile.php/16270/mod_resource/content/0/wmo_1150_en.pdf.

Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/5403-17.

Potter S. H. et al. Research gaps and challenges for impact-based forecasts and warnings: Results of international workshops for High Impact Weather in 2022. International Journal of Disaster Risk Reduction. 2025. Vol. 118. Art. 105234. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2025.105234.

Zollo A. et al. Methods and technologies for impact-based early warning of weather and geo-hazards: Overview and perspectives for multi-risk integration. Journal of the European Meteorological Society. 2026. Vol. 4. Art. 100038. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jemets.2026.100038.

Концептуальна модель інформаційної технології інтеграції різнорідних даних для аналізу соціально-економічних процесів

Дуда В. О., Терентьєв О.М..

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України.

dudavolodimir@gmail.com , o.terentiev@gmail.com

Вступ.

Аналіз і прогнозування соціально-економічних процесів потребують використання значних обсягів різнорідних даних, отриманих із статистичних, фінансово-економічних, соціальних, текстових та web-джерел. Такі дані характеризуються різною структурою, якістю та повнотою, що ускладнює їх безпосереднє використання для побудови аналітичних моделей.

Тому актуальним є створення інформаційної технології, яка забезпечує послідовну інтеграцію етапів збору, підготовки, аналізу, моделювання та прогнозування даних із подальшим формуванням інформаційної підтримки прийняття рішень [1].

Метою роботи є розроблення концептуальної моделі інформаційної технології інтеграції різнорідних даних для аналізу соціально-економічних процесів.

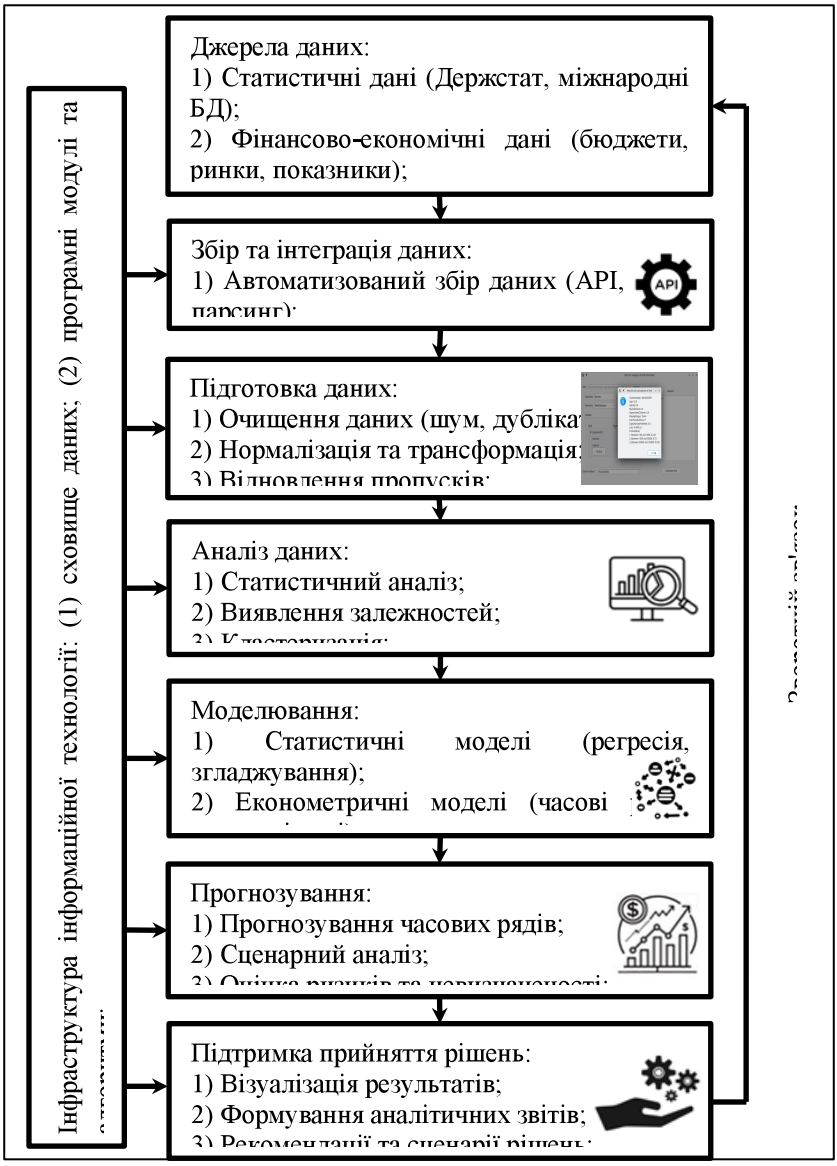


Рис. 1. Концептуальна модель інформаційної технології інтеграції різнорідних даних для аналізу, моделювання та прогнозування процесів.

В рамках дисертаційного дослідження було запропоновано концептуальну модель (рис. 1), яка передбачає послідовне проходження даних через етапи збору, інтеграції та підготовки, після чого сформований масив використовується для статистичного та інтелектуального аналізу. Залежно від характеру задачі на наступному етапі можуть застосовуватися статистичні, економетричні, машинного навчання або ймовірнісні моделі. Результати моделювання використовуються для прогнозування та формування інформаційної підтримки прийняття рішень.

Висновки.

Запропонована модель (рис. 1) передбачає використання різних типів даних та методів їх опрацювання залежно від характеру досліджуваної задачі, а механізм зворотного зв'язку забезпечує можливість уточнення параметрів моделей і повторного опрацювання даних.

Апробацію окремих етапів моделі було здійснено на даних державної платформи Open Budget [2]. Отримані результати показали можливість автоматизованого отримання та подальшого контролю якості значних обсягів різнорідних даних. У процесі дослідження було отримано дані для 12 340 місцевих бюджетів та виконано 74 040 API-запитів, також виявлено суттєву нерівномірність повноти даних за роками.

Отримані результати підтверджують доцільність включення процедур автоматизованого збору, інтеграції та контролю якості даних до складу інформаційної технології аналізу соціально-економічних процесів.

Список літератури.

1. O. M. Trofymchuk, P. I. Bidyuk, T. I. Prosyankina-Zharova, O. M. Terentiev. Decision Support Systems for Modeling, Forecasting and Risk Estimation (Monograph Second Edition). – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2026. – 176 p. – ISBN-13: 978-620-9-65780-1 – ISBN-10: 3659612146. – EAN: 9783659612145. – URL: https://www.morebooks.shop/shop-ui/shop/product/9786209657801 (get access on 07-OCT-2026)

2. Дуда В. О., Терентьєв О.М. Розробка прикладної аналітичної програми для отримання даних місцевих бюджетів з державної платформи Open Budget // Колективна монографія за матеріалами XXII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток» (Київ, 14-15 листопада 2023 р.) / За заг. ред. С.О. Довгого. – К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2023. – 38-43 с.

Структурно-семантичне моделювання електронних документів для інтелектуального управління інформаційними потоками

Зотова Л.В., Хабова Н.В., Маслова О.Г.
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ

Розвиток електронного документообігу потребує узгодженого опрацювання текстів, таблиць, зображень і метаданих. Різнорідність форматів, неповнота реквізитів та зміни версій ускладнюють пошук і встановлення зв'язків між матеріалами. Для наукових установ і органів управління важливо забезпечити відтворюваність оброблення, збереження змісту та контроль походження інформації. Тому актуальним є поєднання структурного аналізу документів із семантичним і графовим моделюванням.

Мета роботи — обґрунтувати багаторівневий підхід до представлення електронних документів, який поєднує їхню структуру, змістові характеристики та історію перетворень. Об'єктом є інформаційні потоки електронного документообігу, предметом — методи формалізації документів і зв'язків між ними. Запропоновані положення становлять методичну основу побудови системи; кількісні переваги мають бути встановлені під час експериментальної перевірки.

На структурному рівні документ доцільно описувати як сукупність блоків: заголовків, абзаців, таблиць, рисунків і реквізитів. Кожному блоку надається ідентифікатор та фіксується його місце в документі. Для сканованих матеріалів передбачається розпізнавання тексту з контролем помилок. Вихідний файл зберігається окремо від нормалізованого представлення, щоб результати автоматичного оброблення можна було зіставити з першоджерелом.

Семантичний рівень охоплює виокремлення ключових понять, назв установ, дат, тематичних ознак і посилань. Методи оброблення природної мови доцільно поєднувати зі словниками предметної області та правилами перевірки реквізитів. Для українськомовних матеріалів потрібно враховувати відмінювання, скорочення і варіативність написання власних назв. Значення, визначені з недостатньою впевненістю, передаються на перевірку фахівцеві.

Для узгодження різних компонентів пропонується представляти документ через ідентифікатор, набір структурних блоків, метадані, змістові ознаки, версію та права доступу. Текст, зображення й таблиці зберігають власні характеристики, але пов'язуються з відповідним документом. Така організація дозволяє аналізувати мультимодальний

матеріал зі збереженням контексту: підпис рисунка, наприклад, розглядається разом із його зображенням і посиланням у тексті.

Графове представлення доповнює опис документа зв'язками між інформаційними об'єктами. Вершинами можуть бути документи, їхні версії, автори, установи та тематичні поняття; ребрами — цитування, належність, погодження або походження від попередньої редакції. Тип і час встановлення зв'язку фіксуються окремо. Для опису походження даних доцільно враховувати модель W3C PROV, яка розрізняє сутності, дії та відповідальних учасників.

Послідовність опрацювання включає реєстрацію файлу, перевірку формату, вилучення вмісту, нормалізацію реквізитів, семантичне індексування та оновлення графа зв'язків. На кожному етапі зберігаються відомості про використаний алгоритм і версію його налаштувань. Зміна документа створює новий стан із посиланням на попередній, що дозволяє відстежувати виправлення та відновлювати історію оброблення.

Оцінювання якості має охоплювати повноту вилучення реквізитів, точність класифікації, якість пошуку та час опрацювання. Для класифікації доцільно визначати precision, recall і F1 за кожним класом. Навчальні й контрольні вибірки слід розділяти за документами, а споріднені версії одного матеріалу залишати в одній частині набору. Це зменшує ризик завищення результатів через потрапляння майже однакових текстів до різних вибірок.

Практичне застосування підходу можливе в електронному архіві наукової установи для пов'язування звітів, публікацій, супровідних листів і редакцій матеріалів. Пошук має враховувати права користувача, а автоматично встановлені зв'язки — містити позначку про спосіб їх отримання. Перспективним є виявлення неповних реквізитів і суперечностей між версіями з подальшим підтвердженням фахівцем.

Отже, поєднання структурного, семантичного та графового рівнів формує цілісне представлення електронної документації. Методичне значення підходу полягає в узгодженні змістового аналізу з контролем версій і походженням даних. Подальша робота передбачає створення прототипу та його перевірку на різнорідному корпусі документів наукової установи.

Підхід до персоналізації відповідей чат-бота для підтримки управлінських інформаційних процесів

Іванов І.А., Кряжич О.О., Купрін О.М.
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України
E-mail: task-smolder1r@icloud.com

Застосування великих мовних моделей у діалогових системах розширює можливості автоматизованої підтримки користувачів, однак однакова відповідь не завжди відповідає різним рівням підготовки, цілям і поточним потребам щодо використання окремих працівників ефективно у виробничому процесі. Дослідження персоналізованого діалогу охоплюють профілі користувачів, контекст розмови та адаптацію генерації, але для практичного застосування важливо враховувати й сам поточний запит, зокрема коли історія взаємодії відсутня або неактуальна [1–2].

Мета роботи – розробити підхід до персоналізації відповіді чат-бота за параметрами поточного запиту та пов'язаними з ним уточненнями. Підхід розглядається як окремий модуль між введенням запиту та генеративною мовною моделлю. Він формує тимчасовий словник поточної взаємодії, використовуючи змістові, прагматичні, стилістичні й емоційні ознаки запиту. Такий словниковий рівень узгоджується з підходами до керування предметною лексикою в діалогових системах [3]. Модуль використовує також рекомендаційну систему пропозиції працівників для окремих видів робіт. Рекомендація основана на аналізі якості і швидкості попереднього виконання подібних робіт.

Алгоритм включає п'ять послідовних операцій: формування тимчасового словника, відбір релевантних слів, комбінування відібраних одиниць, підстановку в каркас відповіді, перевірку логічної та семантичної узгодженості. За незадовільного результату система повторно переглядає склад словника. Отже, мовна модель отримує не лише початкове формулювання, а й керувальні параметри відповіді – її обсяг, рівень складності, стиль, тональність і структуру.

Формалізація пов'язує параметри запиту, тимчасового словника та ймовірність одержання релевантної персоналізованої відповіді. У моделі використовуються: q – впорядкований набір слів або алфавіт словника; n – середня кількість слів у запиті чи підказці; розмір тимчасового словника; кількість можливих семантичних інтерпретацій запиту та підказок; кількість допустимих комбінацій словникових одиниць; імовірність позитивного завершення персоналізації. Окремо

оцінюються витрати часу користувача й системи на введення запиту, перегляд результату, уточнення та підтвердження відповіді.

Експериментальне оцінювання охоплювало два модельні сценарії: запит один (q=32, n=8) та запит два (q=10, n=12). У кожному сценарії збільшення кількості кроків уточнення підвищувало розрахункову ймовірність позитивного завершення персоналізації. Водночас витрати часу залежали від структури й довжини запиту та інформаційної місткості словника: для складнішого й довшого запиту модель передбачала більшу трудомісткість. У тестовому прикладі середній час аналізу запиту з додатковими підказками та формування персоналізованої відповіді становив 3,056 с. Ці результати характеризують два модельні сценарії та узагальнюють результат тестування.

Практичну спрямованість результатів розглянуто з урахуванням досвіду автоматизації управлінських інформаційних процесів. За результатами практичного застосування отримано акт впровадження від ТОВ «Тисагаз», де було апробовано спосіб автоматизації управлінських процесів як засіб підтримки рішень персоналу, а також модель програмної реалізації «Пульс» для автоматизованої обробки управлінської інформації та рутинних операцій збору й аналізу виробничих даних. Це створює прикладний контекст для подальшого використання діалогових засобів у роботі з інформацією підприємства; акт підтверджує саме зазначені в ньому елементи автоматизації.

Запропонований підхід може бути застосований як модуль адаптації відповідей у системах консультаційної підтримки, зокрема в освітніх і виробничо-управлінських сценаріях. Його особливістю є формування короткочасного профілю поточної взаємодії без необхідності попередньо створювати повний статичний профіль користувача.

Використані джерела:

1. Chen Y.-P., Nishida N., Nakayama H., Matsumoto Y. Recent Trends in Personalized Dialogue Generation: A Review of Datasets, Methodologies, and Evaluations. Proceedings of LREC-COLING 2024. 2024. P. 13650–13665. https://aclanthology.org/2024.lrec-main.1192/

2. Zhang Z. et al. Personalization of Large Language Models: A Survey. arXiv:2411.00027. 2024. https://arxiv.org/abs/2411.00027

3. Kryazhych O. et al. Devising an approach to constructing a specialized dictionary to train chatbots with generative artificial intelligence. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2026. Vol. 1, No. 2 (139). P. 58–67. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2026.351414

Особливості застосування ситуаційного підходу прийняття управлінських рішень щодо ліквідації надзвичайних ситуацій в умовах сучасної України

Дроздович І.Г

(Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України
E-mail: irina.drozdowicz@gmail.com)

Однією з проблем прийняття рішень у деяких предметно-орієнтованих галузях є відсутність точних математичних моделей та аналітичних залежностей. У них переважає декларативний опис понять, бракує формалізованих зв'язків між ними та процедур виведення нових знань із наявних. У таких сферах використовується переважно якісна інформація, що характеризується наявністю численних НЕ-факторів. До подібних галузей належить і управління станом інженерних мереж міста, що насамперед стосується виникнення надзвичайних ситуацій. За таких умов ефективним інструментом оперативного управління інженерними мережами є інтелектуальна система підтримки прийняття рішень (ІСППР), в основі якої лежить ситуаційне управління. Цей метод управління ґрунтується на використанні множини концепцій, моделей і наявних технологій для розпізнавання, пояснення та прогнозування ситуацій, які виникли або можуть виникнути в динамічній системі протягом визначеного часу роботи, а також для цілеспрямованого впливу на них. Для формування ефективних рішень щодо оперативного управління станом інженерних комунікацій міста пропонується ІСППР, побудована на нечіткій ситуаційній мережі (див. рис. 1) із використанням математичного апарату нечіткої логіки.

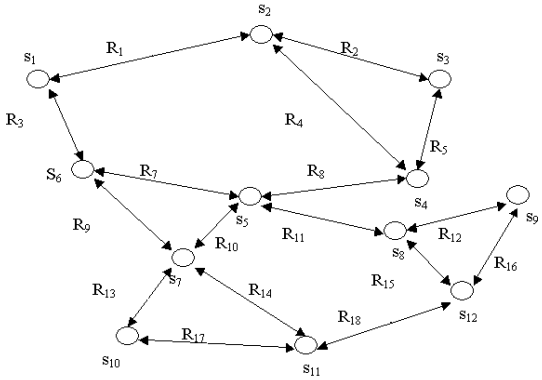


Рис.1. Нечітка ситуаційна мережа.

Задача прийняття рішень (ЗПР) формується у наступному вигляді [1,2]:

$$ЗПР = (T,A,Q,Y,F,G,D) \quad (1)$$

де :Т-постановка задачі; А-множина альтернатив; Q-набір критеріїв вибору (оцінка ефективності варіантів рішення);Y-кілька методів для вимірювання зв'язків між варіантами; F-зіставлення набору дійсних опцій з набором оцінок; G-системні переваги експертів; D-правило прийняття рішень, яке відображає систему переваг.

Поточна ситуація (ПС), яка виникла, описується як нечітка ситуація такого типу [1,2]:

$$S_{пот} = \{M_{Si}(x_i)/x_i\}, x_i \in X \quad (2)$$

де $M_{Si}(x_i)$-функція приналежності до лінгвістичної змінної хі, що характеризує поточну НС.

Припустимо, що для кожної лінгвістичної змінної відповідає j-й терм набору термів у базі знань. Тоді формулу (1) можна записати як:

$$S_i = \{M_{Snom}(T^i_j)/ T^i_j, j\} = 1,\dots,M; i = 1,\dots,N; x_i\} \quad (3)$$

де T^i_j - j-й терм i-й лінгвістичної змінної.

Для оцінювання поточної ситуації здійснюється її порівняння з набором відомих штатних ситуацій у базі знань ІСППР, на основі чого центр управління приймає рішення щодо подальших оперативних дій. Якщо поточна ситуація є штатною, оперативне управління виконується автоматично за наявним алгоритмом. У разі виникнення нештатної ситуації ІСППР забезпечує вибір стратегії управління для найбільш подібної відомої ситуації або формування нової стратегії, якщо аналогів не знайдено. Ступінь відповідності поточної ситуації штатній визначається у нормованому діапазоні [0, 1] таким чином:

$$t_{від} = [\alpha_{min}, 1], \quad (4)$$

де α_{min} - нижня межа ступеня відповідності, зазвичай $\alpha_{min} = 0.7\text{-}0.8$

Формула (4) свідчить про те, наскільки нечіткі ознаки поточної ПС входять у нечіткі значення відповідних ознак штатної ПС

Прийняття рішень у більшості випадків складається з генерації можливих альтернативних рішень, їх оцінки та вибору найкращого варіанту. Як зазначалося вище, у більшості випадків вибір потенційно кращого рішення здійснюється в умовах інформаційної невизначеності та суперечливих факторів. При зміні зовнішніх умов можливий перехід від однієї штатної ситуації до іншої, який пропонується здійснювати методом структурної спільності [2]. Слід зауважити, що безперебійна робота інженерних мереж (тепло-, водо- та електропостачання,

водовідведення, зв'язок) є критичною основою життєдіяльності мегаполіса. Вона забезпечує базові потреби населення, стабільну роботу бізнесу та критичної інфраструктури, мінімізуючи ризики екологічних і техногенних катастроф, а також наслідків військових дій, і зберігає безпечне функціонування житлового фонду, лікарень, освітніх закладів, транспортної системи та економіки мегаполіса. У сучасних реаліях війни в Україні актуальність безпеки інженерних мереж інфраструктури міст зведена до найвищого пріоритету через військові ризики та потенційні аварії в енергосистемі. Також ІСППР ситуаційного типу може ефективно використовуватися для оперативного управління трафіком міського транспорту [2, 3].

Джерела:

1. Stenin, A., Drozdovych, I., & Soldatova, M. (2020). Situational management of urban engineering networks with intelligent support for dispatching decisions. In S. Subbotin (Ed.), Proceedings of the Third International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2020) (CEUR Workshop Proceedings, Vol. 2608, pp. 118–131). https://ceur-ws.org/Vol-2608/

2. Trofymchuk, O., Stenin, A., Soldatova, M., & Drozdovich, I. (2022). Intelligent decision support systems in the development of megalopolis infrastructure. System Research and Information Technologies, (2), 61–74. https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2022.2.04

Стенин А. А., Лисовиченко О. И., Дроздович И. Г., Стенин С. А. Анализ пассажиропотока и ситуационное управление движением городского транспорта. Bulgarian Journal for Engineering Design. 2019. Issue 40. P. 7–12. ISSN 1313-7530. URL: https://bjed.tu-sofia.bg/items/BJED-0040(2019).pdf

Трансформація екологічного законодавства України в умовах воєнного стану: виклики та євроінтеграційний вектор

Клименко Є.А..

Економіко-правовий фаховий коледж Київського кооперативного інституту бізнесу і права (ККІБП)

E-mail: 2957008193k@gmail.com

Повномасштабна військова агресія рф проти України спричинила катастрофічний та безпрецедентний за масштабами вплив на навколишнє природне середовище. Станом на сьогодні загальна сума збитків українському довкіллю перевищує 71 мільярд євро. Військові дії призвели до руйнування унікальних екосистем, масштабного забруднення ґрунтів і водних ресурсів, знищення лісових масивів та деградації об’єктів природно-заповідного фонду.

Ці виклики виявили системну неготовність довоєнних адміністративно-правових інструментів реагувати на екологічні загрози воєнного характеру. Традиційні механізми державного моніторингу,

екологічного контролю та ліцензування виявилися заблокованими або малоефективними в умовах активних бойових дій та тимчасової окупації територій. Як наслідок, виникла гостра потреба у докорінній трансформації національного екологічного законодавства, здатного забезпечити ефективне державне управління екологічною безпекою в умовах воєнного стану.

Питаннями правового регулювання охорони довкілля та адаптації екологічного права до кризових умов присвячено праці таких провідних українських вчених, як Г. Анісімова, А. Гетьман, Н. Краснова, М. Краснова, В. Носік та ін. Окремі аспекти правової фіксації воєнної шкоди довкіллю активно досліджуються експертами громадських організацій, зокрема МБО «Екологія-Право-Людина» та ГО «Екодія». Проте, комплексний адміністративно-правовий аналіз адаптації екологічних процедур до воєнних реалій у синергії із євроінтеграційними вимогами потребує додаткового наукового осмислення.

Метою серії статей є дослідження трансформації адміністративно-екологічного законодавства України в умовах воєнного стану, виявлення ключових системних викликів у сфері державного управління довкіллям та визначення оптимальних шляхів їх подолання крізь призму євроінтеграційних стандартів.

Євроінтеграційний вектор як драйвер реформ воєнного часу. Повномасштабна війна не зупинила, а навпаки — прискорила інтеграцію України до європейського правового простору. Отримання статусу кандидата, а згодом і відкриття офіційного переговорного процесу щодо членства в ЄС поставили перед державою чітку вимогу: адаптувати національне законодавство до європейського *acquis communautaire*, зокрема до вимог надскладного Розділу 27 «Довкілля та зміна клімату».

Трансформація екологічного права в умовах воєнного стану має унікальний двовекторний характер:

З одного боку, законодавство адаптується до кризового управління (спрощення процедур для оборонного сектору, фіксація руйнувань, оперативне реагування на техногенні катастрофи).

З іншого боку, триває системна заміна радянських та пострадянських підходів сучасними європейськими директивами.

Ключовим документом, який визначає філософію цієї трансформації, є *Європейський зелений курс (European Green Deal)*. Для України його впровадження під час війни стало не просто екологічною метою, а умовою отримання фінансової допомоги від міжнародних партнерів на повоєнне відновлення. Західні донори чітко артикулюють

принцип *«Build Back Better»* (відбудувати краще, ніж було), що унеможливлює відновлення старої, екологічно брудної промисловості за застарілими стандартами.

У межах цієї гармонізації екологічного права вже відбулися та тривають кілька фундаментальних реформ:

- *Реформа системи моніторингу та промислового забруднення:* Україна активно імплементує положення *Директиви 2010/75/ЄС про промислові викиди*. Це передбачає перехід на систему інтегрованих довкільних дозволів та впровадження Найкращих доступних технологій і методів управління (НДТМ). Навіть під час бойових дій підприємства, що готуються до відбудови, змушені орієнтуватися на суворі європейські нормативи викидів.
- *Управління відходами руйнувань:* Бойові дії породили новий, катастрофічний за обсягами вид відходів — будівельне сміття від зруйнованих міст та інфраструктури. На виконання *Рамкової Директиви ЄС про відходи (2008/98/ЕС)*, українське законодавство трансформувалося у бік циклічної економіки (повторного використання матеріалів, ресайклінгу), що закріплено у відповідних урядових постановах щодо поводження з відходами руйнувань.
- *Реформа водного менеджменту:* Попри воєнні руйнування (включаючи катастрофу на Каховській ГЕС), Україна продовжує впроваджувати басейновий принцип управління водними ресурсами згідно з *Водною рамковою директивою ЄС*. Це є основою для чинної Водної стратегії України, яка координує відновлення гідросистем з урахуванням європейських екологічних стандартів.

Таким чином, європейська інтеграція виступає не просто зовнішнім зобов'язанням, а жорстким каркасом, який утримує українську екологічну політику від регресу під тиском воєнних обставин. Воєнний стан змусив державу шукати баланс між національною безпекою та суворими екологічними стандартами ЄС.

Розроблений методичний підхід передбачає послідовне перетворення прогнозних гідрометеорологічних даних на структуровану оцінку очікуваного впливу та інформаційну основу для прийняття управлінських рішень. Його відмінною рисою є поєднання характеристик небезпечного явища з експозицією й уразливістю об’єктів та умовами реагування. Подальші дослідження пропонується спрямувати на формалізацію критеріїв оцінювання, визначення порогових значень для різних типів небезпечних явищ і перевірку запропонованої методики за фактичними даними.

Резюмуючи аналіз євроінтеграційного вектора, повномасштабна війна стала каталізатором для реформування екологічного права

України, де адаптація до acquis communautaire залишається безальтернативним вектором розвитку. Дослідження має теоретичну та практичну цінність, оскільки фіксує феномен «воєнного дуалізму», систематизує адаптаційні процеси, надає інструментарій для законотворців та створює методологічний базис для подальшої серії публікацій.

Список використаних джерел:

1. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text
2. Про оцінку впливу на довкілля: Закон України від 23.05.2017 № 2059-VIII. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text
3. Про стратегічну екологічну оцінку: Закон України від 20.03.2018 № 2354-VIII. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19#Text.
4. Directive 2011/92/EU of the European Parliament and of the Council of 13 December 2011 on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment. *Official Journal of the European Union*. 2012. L 26. P. 1–21. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2011/92/oj/eng
5. Directive 2001/42/EC of the European Parliament and of the Council of 27 June 2001 on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment. *Official Journal of the European Union*. 2001. L 197. P. 30–37. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2001/42/oj/eng
6. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). *Official Journal of the European Union*. 2010. L 334. P. 17–119. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/75/oj/eng
7. Екологічні наслідки війни в Україні: Звіт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. Офіційний вебпортал «ЕкоСистема» / «ЕкоЗагроза». 2026. https://ecozagroza.gov.ua/

Геопросторове моделювання та інформаційні технології в управлінні відновленням деокупованих територій (на прикладі ПК «КОБЗА COGNITIVE CENTER»)

Попель В. А. Чумаченко С.М.

(Державний науково-дослідний інститут технологій кібербезпеки, м. Київ, E-mail: valeriy.popel@gmail.com
Державний науково-дослідний інститут авіації, м. Київ, E-mail: sergiy23.chumachenko@gmail.com)

Вступ та актуальність. Забезпечення стійкості та функціональної сталості критичної інфраструктури в умовах воєнного стану та під час повоєнного відбудови України є одним із ключових пріоритетів техногенної безпеки та цивільного захисту населення і територій, як складових національної безпеки [1]. Однією з форм організації управління процесами захисту критичної інфраструктури на рівні

держави є ситуаційні центри (СЦ) при органах державного управління [2]. Вони покликані докорінно трансформувати традиційне реагування, переходячи від реактивного моніторингу каскадних подій до проактивного когнітивно-прогнозного управління. Уповільнення виявлення техногенних і екологічних ризиків та нераціональний розподіл обмежених ресурсів обумовлюють необхідність впровадження сучасних інформаційних технологій для мережі ситуаційних центрів як регіонального так і державного рівня [3].

Мета дослідження полягає у науковому обґрунтуванні методів просторового моделювання, когнітивно-прогнозних технологій та алгоритмів оптимізації ресурсних витрат на прикладі програмного комплексу (ПК) «КОБЗА Cognitive Center» (НДКР «Кобза») для підтримки прийняття рішень під час відновлення критичної інфраструктури деокупованих територій [3, 4].

Основний зміст та технологічні рішення. ПК «КОБЗА Cognitive Center» розроблений за агентно-орієнтованою мікросервісною архітектурою і містить Когнітивно-Прогнозне Ядро (Fuzzy-AI Core), контур збору даних (SCADA/IoT, UAV Link, Дія/Реєстри), сховище (PostgreSQL/PostGIS, TimescaleDB, Redis) та симуляційний контур «Цифровий двійник» (Digital Twin) [4]. Серцем системи є Модуль Математичної Трансформації Задач (ММТЗ), який здійснює лінгвістичний розбір природно-мовних розпоряджень оператора та їх переклад у нечіткі системи виведення (Fuzzy Inference Systems за алгоритмами Сугено та Мамдані). Це дозволяє опрацьовувати якісні оцінки в умовах високої невизначеності та браку первинної інформації.

Важливість прогнозів СЦ для розробки планів відновлення та оптимізації ресурсних витрат. Ключовою складовою функціонування когнітивного ситуаційного центру є розробка середньострокових і оперативних планів відновлення, які спираються безпосередньо на результати роботи прогнозної математичної моделі [3]. Моделювання каскадних відключень та розрахунок сценаріїв перекомутації в ГІС-контурі дозволяють завчасно прогнозувати розвиток аварійних ситуацій та формувати покрокові диспетчерські графіки аварійно-відновлювальних робіт. В умовах суттєвого обмеження матеріальних, фінансових та людських ресурсів критично важливого значення набуває теза про математичну оптимізацію витрат. Використання оптимізаційних алгоритмів (зокрема методів нелінійного програмування, динамічної ефективності кінцевих різниць та аналітичних мереж) дозволяє досягти максимізації захисного та відновлювального ефекту без залучення додаткового обсягу ресурсів,

забезпечуючи раціональний та обґрунтований розподіл сил і засобів [4, 5].

Результати та висновки. Побудова проактивного ситуаційного центру на базі ПК «КОБЗА Cognitive Center» забезпечує високу точність прогнозування каскадних наслідків від техногенних аварій і катастроф, скорочує час опрацювання кризових ситуацій у 2–3 рази та гарантує оптимізацію витрат ресурсів під час ліквідації надзвичайних ситуацій і відбудови об'єктів критичної інфраструктури на деокупованих територіях.

Література

1. Закон України «Про критичну інфраструктуру» від 16.11.2021 р. № 1882-IX (зі змінами від 18.10.2022 р. № 2684-IX). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 22 липня 2022 р. № 821 «Про затвердження Порядку проведення моніторингу рівня безпеки об'єктів критичної інфраструктури». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/821-2022-%D0%BF
3. Попель В. А. Інформаційна технологія підвищення живучості об'єктів критичної енергетичної інфраструктури за фактором управління системою інформаційної безпеки: дис. ... д-ра філософії: 151 / Національний університет харчових технологій. Київ, 2023. 140 с.
4. Чумаченко С. М., Кутовий О. П., Гуйда О. Г., Попель В. А., Заїка Н. В. Комплексний підхід до визначення рівня безпеки критичної енергетичної інфраструктури на основі інтегральної системи захисту її об'єктів від БПЛА та крилатих і балістичних ракет // Вчені записки ТНУ ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2023. Т. 34 (73), № 2. С. 261–267.
5. Теленик С. С. Державна система захисту критичної інфраструктури України: концептуальні засади адміністративно-правового регулювання: монографія. Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2020. 602 с.
6. Загородня С. А., Шевякіна Н. А. Застосування інформаційних технологій для досліджень стану складових довкілля // Матеріали XXV Міжнародної наук.-практ. конф. «ІКТ для перемоги та відновлення». Київ: ІТГІП НАНУ, 2026. С. 1–3.

Інформаційна інтеграція та нейромережевий аналіз даних моніторингу мереж радіозв'язку

Триснюк В.М., Дзюба В.А., Теличко Р.І.
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ

Розвиток безпроводових мереж супроводжується збільшенням кількості джерел випромінювання, різноманітності сигналів та обсягів вимірювальної інформації. Для дослідницького контролю радіочастотного середовища необхідно поєднувати технічне спостереження зі змістовим аналізом і перевіркою якості даних.

Програмно-визначене радіо та нейромережеві методи створюють можливості автоматизації, проте їх практична цінність залежить від відтворюваності експериментів і обґрунтованості інтерпретації отриманих результатів.

Мета роботи — узагальнити засади інтеграції вимірювальних даних та нейромережевого аналізу в інформаційній технології моніторингу мереж радіозв'язку. Об'єктом є процеси отримання й опрацювання радіовимірювальної інформації, предметом — методи її узгодження, класифікації та оцінювання достовірності. Основу становлять положення дисертації В.А. Дзюби [1] та спільного рукопису авторів. Розглядаються загальнонаукові завдання контролю спектра, експериментальної перевірки й інформаційного забезпечення.

SDR-підхід дозволяє відокремлювати частину функцій цифрового оброблення від жорстко заданої апаратної реалізації. Зміна програмних модулів спрощує дослідницьке порівняння способів представлення сигналів на спільному наборі вимірювань. Водночас характеристики аналогового тракту, смуга приймання та похибки перетворення залишаються властивостями обладнання. Тому програмна гнучкість не усуває потреби в калібруванні й не гарантує однакової якості записів, отриманих різними пристроями.

Інформаційну архітектуру доцільно представляти через вимірювальний, аналітичний та користувацький рівні. Перший забезпечує отримання записів і метаданих; другий — перевірку, формування ознак і класифікацію; третій — представлення результатів та експертний контроль. Взаємодія рівнів має зберігати походження кожного висновку. Таке розмежування дозволяє оновлювати алгоритми аналізу без втрати зв'язку з первинними матеріалами та повторно перевіряти попередні результати.

Запис I/Q-відліків повинен супроводжуватися відомостями про час, частоту налаштування, частоту дискретизації, тривалість фрагмента й стан вимірювального обладнання. Окремо позначають пропуски, перевантаження та інші ознаки непридатності даних. До аналітичної бази включають також версію програмного забезпечення і параметри перетворень. Без цих реквізитів відмінності між записами можуть бути помилково інтерпретовані як властивості сигналів, хоча насправді зумовлені умовами вимірювання.

Для наукового аналізу застосовують спектральні та спектрально-часові представлення, зокрема FFT, STFT і вейвлетні перетворення. Вибір представлення залежить від характеру сигналу й завдання дослідження. Спектр узагальнює частотний склад фрагмента, тоді як спектрограма відображає його зміну в часі. Порівнюючи методи,

необхідно контролювати вплив масштабування та нормалізації, щоб оцінювати інформативність ознак, а не випадкові відмінності в оформленні вхідних масивів[2].

Згорткові нейронні мережі використовуються для розпізнавання закономірностей у підготовлених представленнях сигналів. У дисертації описано експериментальний модуль CNN, навчений на синтетичних даних, і наведено точність класифікації понад 95% для більш ніж 15 типів випромінювань [1]. Цей результат характеризує досліджені умови. Його не слід автоматично поширювати на довільне обладнання, інший склад класів або натурне середовище без додаткової перевірки.

Розділення синтетичних і натурних даних є суттєвою умовою інтерпретації. Модель може засвоювати особливості генератора або приймального тракту замість стійких ознак класу. Для перевірки узагальнення доцільно використовувати незалежні сеанси запису й окремі пристрої, не залучені до навчання. Порівняння має охоплювати різні рівні шуму та типові спотворення в межах дослідницької постановки. Поділ сусідніх фрагментів одного запису між вибірками може завищувати оцінку якості.

Підсумкову точність необхідно доповнювати матрицею помилок, повнотою та точністю за класами. Для незбалансованих наборів важливо оцінювати малопредставлені категорії окремо. Система повинна допускати результат «невизначено», якщо вхідні дані відрізняються від навчальних або прогноз недостатньо обґрунтований. Значення впевненості нейромережі не є прямою імовірністю істинності висновку без перевірки калібрування. Експертний перегляд має спиратися на доступний первинний запис.

Об’єднання даних декількох вимірювальних джерел потребує узгодження часу, форматів і показників якості. Повторне надходження одного запису через різні канали не створює незалежного підтвердження. У базі слід розрізняти початкові вимірювання, похідні ознаки та аналітичні оцінки. Суперечливі результати доцільно зберігати разом із поясненням причин їх відмінності. Оглядові просторові подання можуть характеризувати покриття спостереженнями й якість даних, не підмінюючи самих вимірювань.

Перевірку технології слід організовувати як зіставлення модельних і стендових результатів за однаковими критеріями. GNU Radio та MATLAB можуть використовуватися як середовища дослідницького опрацювання, описані в матеріалах роботи [1]. Для відтворення експерименту потрібні склад вибірки, версії алгоритмів, перелік класів і порядок розрахунку метрик. Важливо окремо оцінювати якість

класифікації, повноту метаданих та повторюваність результату, не зводячи їх до одного узагальненого показника.

Отже, поєднання SDR, спектрально-часових представлень, CNN та контролю походження даних формує основу відтворюваної інформаційної технології радіомоніторингу. Положення дисертації В.А. Дзюби дозволяють узгодити апаратне отримання записів з інтелектуальним аналізом і експериментальною оцінкою. Подальший розвиток пов'язаний із розширенням незалежних натурних вибірок, дослідженням міждоменного перенесення та вдосконаленням пояснюваності результатів.

Список використаних джерел

1. Триснюк В.М., Єгоров В.О. Математична модель розподілу засобів радіомоніторингу на спостереження супутникових каналів зв'язку із використанням нейронних мереж. Екологічна безпека та природокористування, 1(53) 2025 с.132-139 ISSN: 2411-4049.

https://doi.org/10.32347/2411-4049.2025.1.132-138.

2. Vasylenko, Vladyslav & Zaitsev, Serhii & Tkach, Yuliia & Korchenko, Oleksandr & Ziubina, Ruslana & Veselska, Olga. (2024). Method of assessing the information reliability of in 5G wireless transmission systems. International Journal of Electronics and Telecommunications. 205-210. https://doi.org/10.24425/ijet.2024.149532. (Q4).

Узгодження транзакцій блокчейну в гетерогенних мережах із нестабільними каналами зв'язку

Жебка В.В.

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, м. Київ

Гетерогенні мережі об'єднують вузли з різними обчислювальними ресурсами, пропускною здатністю каналів і характеристиками затримки. Використання блокчейну в такому середовищі ускладнюється тим, що передавання транзакцій і підтверджень відбувається нерівномірно. Навіть за працездатності всіх вузлів тимчасова деградація окремого каналу може спричинити накопичення повідомлень, повторні запити й збільшення часу підтвердження операцій.

Мета роботи – обґрунтувати спосіб узгодження передавання та підтвердження блокчейн-транзакцій у гетерогенних мережах з урахуванням неоднорідності каналів зв'язку. Об'єктом дослідження є процеси обміну транзакційними повідомленнями між вузлами, предметом – правила маршрутизації, повторного надсилання та

контролю стану підтверджень. Основну увагу приділено взаємодії мережевого рівня з логікою прикладного сервісу.

На відміну від однорідної мережі, у гетерогенному середовищі різні сегменти можуть мати неоднакову доступність, затримку та частоту втрат повідомлень. Це характерно для поєднання корпоративних мереж, бездротових підключень, периферійних пристроїв та віддалених обчислювальних вузлів. Тому рішення про повторне передавання не слід приймати лише за фіксованим тайм-аутом. Потрібно враховувати поточний стан каналу та факт реєстрації транзакції у блокчейні.

Запропоновано розділяти процес оброблення на три логічні етапи: доставлення запиту до шлюзу блокчейну, прийняття транзакції мережею та отримання підтвердження з необхідним рівнем фінальності. Для кожної операції формується сталий ідентифікатор, який зберігається під час повторних спроб. Стан транзакції ведеться в окремому журналі, що дозволяє відрізняти недоставлений запит від уже прийнятої, але ще не підтвердженої операції.

Перед повторним надсиланням сервіс перевіряє доступні відомості про транзакцію. Якщо її вже зареєстровано, повторне створення операції не виконується, а система продовжує очікування підтвердження. Якщо стан невідомий, запит переводиться до контрольованої черги повторної обробки. Така організація знижує ризик дублювання прикладних дій, хоча сама по собі не гарантує відсутності дубльованих транзакцій без відповідних правил на рівні смартконтракту.

Для вибору каналу передавання доцільно враховувати доступність маршруту, поточну затримку, частку невдалих спроб і навантаження на шлюз. Оцінювання має бути адаптивним: параметри оновлюються за результатами фактичних обмінів, а канал із тимчасово погіршеними характеристиками може отримувати нижчий пріоритет. Водночас зміна маршруту не повинна змінювати ідентичність транзакції або порушувати правила її авторизації.

Важливо відокремлювати мережеве підтвердження доставлення від підтвердження блокчейн-операції. Успішна відповідь транспортного сервісу ще не означає включення транзакції до реєстру. Так само тимчасова відсутність відповіді не доводить, що операція не була виконана. Тому прикладний сервіс має використовувати модель проміжних станів і відкладене узгодження результатів після відновлення зв’язку.

Перевірку запропонованої організації доцільно виконувати на модельній мережі з кількома сегментами, що мають різні затримки та ймовірності втрат. Порівнюються фіксований маршрут із незмінним

тайм-аутом та адаптивний вибір каналу з журналом станів. Основними показниками є час отримання остаточного підтвердження, частка операцій, що потребували повторної перевірки, кількість зайвих повторних надсилань і час відновлення узгодженого стану після збою.

Отже, узгодження транзакцій блокчейну в гетерогенних мережах потребує спільного врахування характеристик каналів, станів оброблення операцій та правил повторного передавання. Запропонований підхід передбачає адаптивний вибір маршруту, збереження ідентичності транзакції й контроль її підтвердження до досягнення заданої фінальності. Подальші дослідження мають охоплювати реалізацію прототипу та кількісне порівняння поведінки за різних профілів мережевої деградації.

Список використаних джерел

1. Cachin C., Vukolić M. Blockchain Consensus Protocols in the Wild. arXiv:1707.01873. 2017.

2. Androulaki E., Barger A., Bortnikov V. et al. Hyperledger Fabric: A Distributed Operating System for Permissioned Blockchains. Proceedings of EuroSys. 2018. Article 30. DOI: 10.1145/3190508.3190538.

Оцінювання технологічних обмежень інтеграції DLT-платформ у корпоративні інформаційні системи

Жебка С.В.

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, м. Київ

Інтеграція технологій розподіленого реєстру (DLT) у корпоративні інформаційні системи потребує узгодження архітектури платформи з наявними сервісами, правилами доступу та вимогами до обміну даними. Технічно придатна для виконання транзакцій платформа не завжди забезпечує сумісність із прикладними інтерфейсами, журналами подій і процедурами адміністрування організації. Тому інтеграційні обмеження доцільно аналізувати до початку розроблення програмних компонентів.

Мета роботи – обґрунтувати підхід до виявлення та оцінювання технологічних обмежень інтеграції DLT-платформ у корпоративні інформаційні системи. Об’єктом є процеси взаємодії корпоративних сервісів із розподіленим реєстром, предметом – критерії сумісності, механізми обміну даними та правила визначення критичних інтеграційних ризиків. На відміну від загального рейтингу DLT-платформ, увагу зосереджено на перевірці конкретних архітектурних умов упровадження.

Вихідним етапом є опис інтеграційного контуру: наявних баз даних, API, систем ідентифікації, брокерів повідомлень, засобів аудиту та зовнішніх сервісів. Для кожного потоку даних встановлюють джерело, отримувача, допустиму затримку, вимоги до цілісності й правила відновлення після збою. Окремо визначають, які дані допустимо записувати безпосередньо до реєстру, а які слід залишати в корпоративному сховищі з фіксацією криптографічного підтвердження.

Запропоновано розглядати інтеграційну придатність через три взаємопов'язані рівні. На інтерфейсному рівні перевіряють підтримку необхідних протоколів, форматів повідомлень і подійних механізмів. На транзакційному рівні аналізують фінальність, повторне виконання операцій, ідемпотентність і узгодження станів між реєстром та корпоративною базою даних. На організаційному рівні оцінюють керування ключами, розмежування ролей, аудит дій та можливість оновлення компонентів.

Критичні обмеження мають перевірятися окремо від показників продуктивності. Наприклад, відсутність необхідного механізму підтвердження фінальності або неможливість реалізувати регламентований доступ до даних не повинні компенсуватися високою пропускною здатністю платформи. Для кожної вимоги встановлюють статус виконання: підтверджено, виконується за додаткових умов або не виконується. Альтернативи з невиконаними обов'язковими умовами виключають із подальшого порівняння до перегляду архітектури.

Для допустимих альтернатив доцільно формувати профіль інтеграційних витрат. Він охоплює потребу в адаптерах, зміни прикладної логіки, додаткові мережеві виклики, зберігання службових даних, моніторинг і супровід. Важливо розрізняти одноразові витрати впровадження та витрати, що повторюються під час експлуатації. Оцінювання проводять за однаковими сценаріями навантаження та фіксують припущення, щоб порівняння не залежало від прихованих налаштувань окремої платформи.

Особливої уваги потребують відмови на межі корпоративної системи й DLT-мережі. Підтвердження транзакції може надходити із затримкою, повідомлення – повторюватися, а локальна операція – завершуватися раніше за запис у реєстрі. Тому інтеграційний прототип повинен передбачати кореляційні ідентифікатори, журналювання проміжних станів, ідемпотентну обробку та механізми узгодження після відновлення зв'язку. Такі властивості слід перевіряти ін'єкцією збоїв, а не лише тестами нормального режиму.

Практичну перевірку підходу можна організувати на типовому корпоративному процесі, у якому створення документа в інформаційній

системі супроводжується фіксацією підтвердження в DLT. Для кожної платформи реалізують однаковий набір операцій: створення запису, перевірку підтвердження, повторне надсилання запиту, відновлення після втрати зв'язку та зміну прав доступу. Результати документують у матриці відповідності вимогам із зазначенням необхідних адаптацій і спостережуваних обмежень.

Отже, запропонована організація оцінювання дозволяє відокремити технологічну можливість виконання DLT-транзакцій від фактичної придатності платформи до інтеграції з корпоративними сервісами. Послідовна перевірка критичних вимог, аналіз інтерфейсної та транзакційної сумісності й оцінювання витрат адаптації формують прозору основу для архітектурного рішення. Подальша робота передбачає реалізацію порівняльного прототипу та експериментальну перевірку поведінки інтеграційного контуру за затримок і відмов.

Список використаних джерел

1. ISO/IEC 25010:2023. Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – Product quality model.

2. Farshidi S., Jansen S., España S., Verkleij J. Decision Support for Blockchain Platform Selection: Three Industry Case Studies. IEEE Transactions on Engineering Management. 2020. Vol. 67(4). P. 1109–1128. DOI: 10.1109/TEM.2019.2956897.

Інтегровані інформаційні технології оцінювання стану морських і прибережних екосистем в умовах воєнних впливів

Олександр Трофимчук, Василь Триснюк,
Тарас Волинець, Вячеслав Вишняков
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ

Морські та прибережні екосистеми України перебувають під сукупним впливом техногенного навантаження, кліматичної мінливості та наслідків воєнних дій. Пошкодження інфраструктури, зміни річкового стоку, порушення берегових природних комплексів і ризики аварійного забруднення потребують регулярного просторового контролю. Водночас обмежений доступ до окремих ділянок Чорного та Азовського морів зменшує можливості контактних обстежень. У цих умовах важливим є поєднання аерокосмічних спостережень, геоінформаційного аналізу та наземних вимірювань у єдиному інформаційному середовищі.

Мета роботи — узагальнити засади побудови інтегрованої технології оцінювання стану морських акваторій і прибережних

територій та визначити її застосування для моніторингу воєнних екологічних змін. Об'єктом є морські й прибережні природно-техногенні системи, предметом — методи збирання, узгодження, автоматизованого дешифрування та картографічної інтерпретації даних. Виклад спирається на результати, систематизовані в монографії «Геоінформаційні та аерокосмічні технології дослідження морських і прибережних екосистем» [1].

Методична основа передбачає багаторівневу організацію моніторингу. На регіональному рівні супутникові архіви забезпечують аналіз великих акваторій і багаторічної динаміки. На локальному рівні високодетальні зображення та аерозйомка БПЛА уточнюють берегові об'єкти, межі пошкоджень і просторову неоднорідність водної поверхні. Контактні вимірювання забезпечують перевірку фізичних, хімічних та біологічних характеристик. Поєднання рівнів дає змогу пов`язати оглядове виявлення змін із цільовим дослідженням їхніх причин.

Склад даних визначається тематичним завданням. Оптичні знімки Sentinel-2 і Landsat використовують для аналізу відбивних властивостей води, стану прибережної рослинності та змін берегової зони. Радіолокаційні спостереження Sentinel-1 доповнюють їх інформацією про шорсткість поверхні та просторову структуру водних об'єктів за хмарності й у темний час доби. Температуру поверхні оцінюють за відповідними тепловими каналами інших сенсорів; Sentinel-1 і Sentinel-2 не забезпечують її прямого теплового вимірювання.

Узгодження різнорідних матеріалів охоплює перевірку координат, часу спостереження, просторового розрізнення та рівня попереднього оброблення. Для оптичних зображень важливі атмосферна корекція, маскування хмар, тіней і сонячного відблиску; для SAR — калібрування та врахування геометрії знімання. Поблизу берега на сигнал впливають мілководдя, відбиття від дна та сусідніх ділянок суші. Тому алгоритм, придатний для відкритої акваторії, потребує окремої перевірки в лиманах, затоках і гирлових областях.

Спектральна неоднорідність морської поверхні є вихідною ознакою для тематичного аналізу, але не однозначним показником хімічного забруднення. Контрастні плями можуть бути пов'язані із завислими речовинами, фітопланктоном, річковими водами, зміною хвилювання або іншими природними процесами. Надійність інтерпретації зростає за зіставлення оптичних і радарних матеріалів, метеорологічних умов та контактних спостережень. Карти дистанційних аномалій слід відокремлювати від карт лабораторно підтверджених концентрацій[2].

Для аналізу нафтових плівок радарні дані дозволяють виділяти ділянки зі зниженим зворотним розсіюванням, пов'язаним із пригніченням коротких хвиль. Водночас подібний вигляд можуть мати слабковітрові області та природні поверхневі плівки. Тому темна пляма на SAR-знімку розглядається як об'єкт перевірки. Її інтерпретація потребує врахування вітру, форми, оточення, повторних спостережень і доступних незалежних відомостей. Визначення типу речовини лише за геометрією контуру недостатнє.

Програмний засіб Sea Image Processor (IMPROC), призначений для візуалізації, попереднього оброблення та тематичного аналізу зображень морської поверхні. Його функціональна ідея полягає у переході від растрових відмінностей яскравості до просторово визначених об'єктів. Процедура охоплює пошук аномальних областей, порогове розділення, фільтрацію та формування замкнених контурів. Векторні результати забезпечують подальше вимірювання геометричних параметрів і включення до бази геоданих.

Розвиток тематичного аналізу пов'язаний із використанням нейромережевих методів. Детектори родини YOLO застосовують для локалізації окремих об'єктів, а U-Net і DeepLabv3+ - для піксельної сегментації берегових комплексів та просторових аномалій. Ці завдання мають різні вихідні результати: обмежувальні рамки об'єктів і тематичні маски. Їх поєднання доцільне за чіткого визначення класів, вимог до деталізації та способу перевірки, а не як взаємозамінні способи розпізнавання.

У монографії [1].наведено показники IoU в межах 0,82–0,88 для сегментації супутникових і безпілотних зображень із використанням нейромережевих архітектур. IoU характеризує відношення площі перетину прогнозної та еталонної масок до площі їх об'єднання. Цей діапазон стосується описаних авторами експериментів і не є універсальною точністю для всіх акваторій. Перенесення моделей на інші сезони, сенсори або типи узбережжя потребує незалежної перевірки та уточнення складу навчальних даних.

Контроль якості має включати просторове розділення навчальних і тестових вибірок, перевірку рідкісних класів та аналіз помилок на межах суші й води. Сусідні фрагменти одного знімка не повинні створювати ілюзію незалежної перевірки. Поряд із середнім IoU доцільно подавати показники за окремими класами, повноту виявлення та частоту хибних спрацювань. Для прикладного моніторингу важливими є також точність контуру, час отримання результату та здатність експерта відтворити процедуру аналізу.

Показовим прикладом комплексної задачі є оцінювання наслідків руйнування Каховської ГЕС для північно-західної частини Чорного моря. Зміни річкового стоку та надходження завислих речовин утворили просторово й часово мінливу картину водних мас. Для її дослідження необхідні різночасові знімки, характеристики вітру, течій і контактні спостереження. Одноразова карта плямистості фіксує стан на момент знімання, але не відтворює всього процесу перенесення й трансформації речовин.

Картографування цього процесу доцільно організовувати як послідовність зіставних часових зрізів. Для кожної дати виділяють контрастні області, визначають їхню площу, положення та взаємне розташування щодо гирлової області, лиманів і прибережних природоохоронних об'єктів. Інтерпретацію доповнюють інформацією про попередні метеорологічні умови. Зміщення контуру між двома знімками не можна автоматично вважати швидкістю течії, оскільки форма плями змінюється внаслідок перемішування, осадження та оптичної мінливості.

Чисельне гідродинамічне моделювання доповнює дистанційний аналіз оцінкою можливих напрямків поширення домішок. У монографії розглянуто використання середовища Delft3D Mesh Suite для аналізу наслідків аварійного впливу [1]. Застосування моделі потребує узгоджених батиметричних даних, граничних умов, характеристик стоку та вітрового впливу. Результати слід перевіряти за незалежними вимірюваннями або доступними супутниковими ознаками, розрізняючи прогноз перенесення й фактично спостережувану картину.

БПЛА забезпечують деталізацію берегової лінії, стану рослинного покриву та локальних порушень, які недостатньо виражені на супутникових зображеннях. Ортофотоплани й цифрові моделі поверхні дозволяють уточнювати геометрію берегових об'єктів, але не замінюють батиметричних вимірювань. Повторні зйомки потребують геодезичного контролю та узгодження рівня води. За обмеженого доступу виконання польотів визначається безпековими умовами й чинним режимом використання повітряного простору.

Геоінформаційна модель об'єднує результати дешифрування з батиметрією, гідрографією, природоохоронними територіями, рекреаційними зонами та відомостями про джерела техногенного навантаження. База даних має зберігати походження, дату, масштаб і точність кожного шару. Важливо відокремлювати вихідні спостереження, результати автоматизованого аналізу, експертні висновки та сценарні прогнози. Це забезпечує простежуваність змін і можливість оновлення оцінок без втрати попередніх станів.

Практичним результатом інтегрованої технології є комплект взаємопов'язаних карт стану акваторії, берегових трансформацій, потенційних осередків впливу та ділянок додаткового контролю. Пріоритет реагування визначають з урахуванням достовірності спостереження, чутливості екосистеми та можливих наслідків. Для природоохоронних і рекреаційних територій важливо оцінювати просторовий перетин аномалій із вразливими ділянками. Висновки щодо обмеження використання водних ресурсів мають спиратися на відповідні вимірювання й компетентне експертне оцінювання.

Отже, поєднання ДЗЗ, БПЛА, автоматизованого дешифрування, ГІС та контактного контролю забезпечує послідовний перехід від виявлення просторових змін до їх перевірки й управлінської інтерпретації. Узагальнені в монографії результати формують основу для розвитку моніторингу Чорного та Азовського морів в умовах воєнних впливів. Подальша робота пов'язана з незалежною валідацією моделей, розширенням часових рядів і включенням результатів до систем підтримки рішень щодо збереження та відновлення морських і прибережних екосистем.

Список використаних джерел

Трофимчук О., Триснюк В., Волинець Т., Вишняков В. Геоінформаційні та аерокосмічні технології дослідження морських і прибережних екосистем. Київ: Академперіодика, 2026. 143 с.

Трофимчук О.М., Адаменко О.М., Триснюк В.М. Геоінформаційні технології захисту довкілля природно-заповідного фонду Івано-Франківський нац. тех. ун-т нафти і газу. - Івано-Франківськ :Супрун В.П., 2021. – 343 с.// ISBN 978-617-7468-53-9 10.3997/2214-4609.201902083

Квантово-федеративна аналітика рідкісних користувацьких сегментів у цифрових екосистемах

Фадєічев С. В.

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ

Виявлення малочисельних користувацьких сегментів ускладнюють нерівномірність розподілу класів і обмежений доступ до персоналізованої інформації. Висока загальна точність класифікації можлива й за незадовільного виявлення рідкісної групи, тому потрібні показники повноти, точності позитивних прогнозів і вартості їх перевірки [1].

Мета роботи – визначити умови перевірки результативності гібридної квантово-федеративної архітектури для рідкісних сегментів.

Об’єкт дослідження – розподілене опрацювання даних цифрових екосистем; предмет – поєднання федеративного навчання, квантового пошуку й захисту обміну оновленнями.

Федеративна частина передбачає локальне навчання учасників без централізованого збирання вихідних масивів [2]. Співвідношення 75 % і 25 % у досліджуваній конфігурації [3, 4] є вагами поєднання оцінок федеративної моделі та квантової процедури, а не розподілом навантаження; агрегацію в прототипі спрощено до вибору однієї локальної моделі.

Квантову складову пов’язано з алгоритмом Гровера [5], теоретична перевага якого стосується лише кількості звернень до оракула; підготовка стану, кодування даних і вимірювання можуть її нівелювати [6]. В експерименті його відтворено класичним моделюванням амплітуд (блоки по 16 станів) з евристичними множниками.

Оракул має позначати цільові стани лише за ознаками, доступними з постановки задачі, інакше результат відображатиме попереднє знання відповіді [7]. Аналіз виявив саме такий ризик: оракул і федеративна модель використовували згенеровану ознаку, відмінну від нуля лише в цільових користувачів (за початкового значення 42 її мали 63 із 67 кандидатів з найвищими оцінками).

Синтетичний набір містить 1 млн записів взаємодій 100 тис. користувачів, з них 300 (0,3 %) утворюють рідкісну групу; поділ 70/30 виконано за користувачами, у тестовій частині 90 цільових осіб.

Повнота виявлення становить 79,5 % ± 8,6 % для гібридної схеми, 24,4 % ± 5,5 % для федеративного навчання та 4,6 % ± 1,9 % для вибірки Томпсона (середнє ± стандартне відхилення, 5 запусків × 3 кампанії); точність позитивних прогнозів – 16,9 %, 5,0 % і 0,9 %, F1-міра – 0,28, 0,08 і 0,02. Відмінності значущі за t-критерієм Стьюдента та U-критерієм Манна – Вітні ($p < 0{,}001$; d Коена 4,66–11,6), але 15 значень не є незалежними: результати вибірки Томпсона в усіх запусках однакові, а повторні запуски не замінюють перевірки на нових користувачах.

За 450 перевірок по 10 доларів США гібридна схема виявила в середньому 70,8 із 90 цільових осіб, тобто близько 63,6 долара на виявлення. Це не CAC (Customer Acquisition Cost – вартість залучення клієнта), а ROI (Return on Investment – рентабельність інвестицій) потребує підтверджених доходів.

Локальне зберігання записів не усуває ризиків приватності, оскільки модельні оновлення й метадані теж можуть розкривати чутливу інформацію; потрібні модель загроз, контроль обміну та окремо перевірені методи обмеження витоку, зокрема диференційна

приватність [8]. Федеративна архітектура сама по собі не підтверджує дотримання вимог до оброблення персональних даних. Для постквантового захисту обміну орієнтиром є стандарти NIST (Національний інститут стандартів і технологій США) FIPS 203 (ML-KEM) і FIPS 204 (ML-DSA) [9, 10]; прототип поки використовує підпис SPHINCS+ і спрощену інкапсуляцію ключів. Обраний механізм не гарантує захисту системи загалом: значення мають реалізація, керування ключами, автентифікація учасників і контроль оновлень.

Отже, без контролю інформації, доступної оракулу, виміряну перевагу не можна віднести до квантової процедури. Подальша перевірка потребує оракула лише на доступних ознаках, незалежних вибірок, однакових умов порівняння й обліку повних обчислювальних витрат.

Список використаних джерел

1. Saito T., Rehmsmeier M. The precision-recall plot is more informative than the ROC plot when evaluating binary classifiers on imbalanced datasets. PLoS ONE. 2015. Vol. 10, No. 3. e0118432. DOI: 10.1371/journal.pone.0118432.

2. McMahan B., Moore E., Ramage D. et al. Communication-efficient learning of deep networks from decentralized data. Proc. of AISTATS 2017. PMLR. Vol. 54. P. 1273–1282.

3. Фадеічев С. В., Трофимчук О. М., Триснюк В. М. Синергія квантових обчислень та федеративного навчання в інформаційних технологіях виявлення прихованих цільових груп. Екологічна безпека та природокористування. 2025. Т. 56, № 4. С. 114–122. DOI: 10.32347/2411-4049.2025.4.114-122.

4. Фадеічев С. В. Гібридна квантово-федеративна модель для виявлення рідкісних цільових груп у цифрових екосистемах. Інформаційно-комунікаційні технології для стійкості та відновлення : кол. моногр. / за заг. ред. С. О. Довгого. Київ : Юстон, 2025. С. 90–92.

5. Grover L. K. A fast quantum mechanical algorithm for database search. Proc. of the 28th Annual ACM Symposium on Theory of Computing. 1996. P. 212–219. DOI: 10.1145/237814.237866.

6. Babbush R., McClean J. R., Newman M. et al. Focus beyond quadratic speedups for error-corrected quantum advantage. PRX Quantum. 2021. Vol. 2. 010103. DOI: 10.1103/PRXQuantum.2.010103.

7. Kapoor S., Narayanan A. Leakage and the reproducibility crisis in machine-learning-based science. Patterns. 2023. Vol. 4, No. 9. 100804. DOI: 10.1016/j.patter.2023.100804.

8. Dwork C., Roth A. The Algorithmic Foundations of Differential Privacy. Foundations and Trends in Theoretical Computer Science. 2014. Vol. 9, No. 3–4. P. 211–407. DOI: 10.1561/0400000042.

9. FIPS 203. Module-Lattice-Based Key-Encapsulation Mechanism Standard. NIST, 2024. DOI: 10.6028/NIST.FIPS.203.

10. FIPS 204. Module-Lattice-Based Digital Signature Standard. NIST, 2024. DOI: 10.6028/NIST.FIPS.204.

Вплив руйнування Каховського гідровузла на інженерно-геотехнічну безпеку Запорізької АЕС

Трофимчук О.М., Яковлев Є.О., Охарєв В.О.
(Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України
E-mail: okhariev.vo@gmail.com)

Російська окупація Запорізької атомної електростанції (ЗАЕС) і руйнування Каховського гідровузла у червні 2023 року сформували комплекс взаємопов'язаних загроз для критичної інфраструктури південних регіонів України. Зникнення водосховища змінило умови водозабезпечення станції, гідрогеологічний режим прилеглих територій (зона підпорного впливу водосховища) та інженерно-геологічні параметри зони затоплення і підтоплення [1, 2]. Поряд із прямими воєнними загрозами необхідно враховувати можливі деформації ґрунтів у підґрунті споруд і обмежені можливості їх контролю. Метою дослідження є визначення основних інженерно-геологічних небезпек, пов'язаних з руйнуванням гідровузла, для технологічного комплексу ЗАЕС та окреслення пріоритетів моніторингу.

В основу дослідження покладено аналіз архівних інженерно-геологічних досліджень, опублікованих досліджень наслідків руйнування гідровузла та орієнтовних гідрогеологічних розрахунків. Розглянуто зв'язок між зміною режиму поверхневих і підземних вод, станом ґрунтів і стійкістю інженерних споруд. Радіоекологічні наслідки проаналізовано як сценарні ризики [3].

За матеріалами інженерних досліджень на проммайданчику та в тілі дамби ставка-охолоджувача визначено наявність пухких (пливуноздатних) пісків та ґрунтів, властивості яких можуть погіршуватися при водонасиченні та динамічних навантаженнях *в*наслідок розвитку фільтраційної компресії при осушенні [4]. Також проаналізовано дані обстеження 1993 року щодо аварійного укосу дамби: серед ймовірних причин деформацій зазначено недостатнє ущільнення зворотної засипки, зміну властивостей пісків, суфозію та вібраційні впливи. Ці матеріали вказують на необхідність перевірки стану ґрунтів, однак самі по собі не встановлюють їхній нинішній стан.

Після осушення водосховища порушується зв'язок між рівнями поверхневих і підземних вод, що формувався протягом десятиліть. Зниження рівня підземних вод може спричинити фільтраційно-суфозійне ущільнення водонасичених ґрунтів, нерівномірні осідання та зміну напруженого стану основ споруд. Особливої уваги потребують

підгрунтя реакторних блоків, водоводів і градирень, а також дамба та ложе ставка-охолоджувача. Можливі наслідки для прибережних територій включають активізацію зсувних і суфозійних процесів [2].

За спрощеною розрахунковою схемою, орієнтовний час зниження рівнів напірних вод на відстані до 25 км від колишнього водосховища оцінено приблизно у чотири роки. Ця оцінка залежить від прийнятих параметрів водоносного горизонту і не є прогнозом для конкретної точки. Фактичний розвиток процесів потребує перевірки за даними спостережних свердловин і геотехнічних вимірювань. За результатами досліджень 1978–2011 років, потужність окремих прошарків пухких пісків у тілі греблі зменшилася в середньому на 35–40 %. Це може бути пов'язано з тривалим доущільненням ґрунтів і можливістю подальших деформацій земної поверхні підгрунтя відповідальних споруд ЗапАЕС (реакторні блоки, градирні, водоводи і ін.). У поєднанні зі зміною фільтраційного режиму та динамічними впливами ці особливості обґрунтовують необхідність повторного інструментального обстеження. Наведені історичні показники не дозволяють безпосередньо визначити сучасну несучу здатність дамби.

Потенційне поєднання деформацій основ, пошкодження водоводів чи дамби та впливів бойових дій може посилити ризики для систем охолодження. Навіть за зупинення реакторів відведення залишкового тепла та охолодження палива залишаються важливими для ядерної безпеки. Порушення процесів охолодження є одним із можливих ланцюгів розвитку потенційної аварії, але ймовірність і масштаб наслідків залежать від конкретного стану систем та перебігу подій [3]. Окремим чинником є реакція слабопроникних водонасичених порід на динамічне навантаження. За аналогією з досвідом Чорнобильської катастрофи, попередня оцінка часу зниження порового тиску складає близько 14 діб за прийнятих параметрів ґрунту і фундаменту. Вона ілюструє можливість тривалої реакції основи на навантаження.

Для оцінки можливого атмосферного перенесення радіонуклідів розглянуто модель дисперсії та виконано сценарний розрахунок за моделлю RODOS/DIPCOT за серпень 2022 року. Його результати залежать від характеристик умовного викиду й метеорологічних умов.

В цілому, руйнування Каховського гідровузла створило передумови для тривалої перебудови гідрогеологічного режиму, яка може вплинути на стійкість ґрунтових основ споруд ЗАЕС. Історичні дані про нестійкі піски та деформації дамби обґрунтовують потребу в перевірці сучасного стану майданчика. Пріоритетами є контроль рівнів підземних вод, осідань, фільтрації та стану ставка-охолоджувача і водоводів. За обмеженого доступу перспективним є використання

даних дистанційного зондування Землі для виявлення змін на досліджуваній території. При цьому, такі підходи доповнюють, але не замінюють наземні вимірювання та інструментальне обстеження відповідальних споруд. Для системної оцінки доцільно поєднувати архівні матеріали досліджень, дані про водний режим, результати спостережень за деформаціями земної поверхні та відповідальних споруд ЗапАЕС та сценарний аналіз. Пріоритетним залишається відновлення доступу фахівців до свердловин, дамби та інших відповідальних об'єктів. Комплексне зіставлення цих даних дасть змогу уточнити як інженерно-геологічні загрози, так і потребу в захисних заходах.

Джерела:

1. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. – М., Энергоатомиздат, 1987. – 192 с.
2. Правила експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду ГЕС. – Укргідпроект, 1981.
3. Hlavatskyi, D., O. Bonchkovskyi, P. Ostapenko, et al. 2025. Classification of War-Induced Soil Contamination by the Type of Military Impact in Eastern Ukraine." Land Degradation & Development 1-27. https://doi.org/10.1002/ldr.70397.
4. Запорожская АЭС: Инженерно-геологическое обоснование строительства жилпоселка на стадии техннического проекта. Отчет об инженерно-геологических условиях. Т.7. Пояснительная записка с текстовыми приложениями. - Харьков, Теплоелектропроект, 1978.

ГІС-оцінка територіальних відмінностей еколого-економічної шкоди від артилерійського забруднення ґрунтів України нітратами за 2022-2025 рр.

Рогожин О.Г., Трофимчук В.О., Хлобистов Є.В., Крета Д.Л.

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

Позиційна війна, на яку перетворилися бойові дії в Україні з 2023 р., має історичну аналогію у Першій світовій війні, коли гармати били годинами, цілячи у стаціонарні позиції. Тоді у Франції виникли суцільно сплюндровані території, офіційно названі «червоною зоною». З початку повномасштабної агресії в Україні і до кінця 2025 р. у нас вибухнуло понад 50 млн. крупнокаліберних артилерійських снарядів (до 500 на км^2 на лінії зіткнення).

На жаль, облік артилерійських вибухів під час бойових дій не здійснюється. Він можливий лише постфактум, зокрема засобами

аерокосмічного моніторингу високої роздільної здатності (до 1 м) шляхом підрахунку снарядних вирв на електронних зображеннях. Через це регіональні аспекти бойового забруднення ґрунтів і ґрунтових вод в Україні досі залишаються недостатньо вивченими у еколого-економічному аспекті.

Для приблизної оцінки шкоди від артилерійського забруднення ґрунтів на регіональному рівні узагальнення був застосований альтернативний підхід на основі використання даних міжнародної організації ACLED, яка здійснює фіксацію і облік втрат від бойових дій під час воєн і збройних конфліктів, зокрема й сучасної російсько-української війни [1]. Ми отримали доступ до бази даних моніторингу бойових атак на території України (Ukraine-Conflict-Monitor), що містить геоприв'язані записи подій таких атак і уражень за 24.02.2022-17.10.2025.

Згідно з територіально розподіленою базою даних ACLED, в межах населених пунктів України сталося понад 190 тис. атак всіх категорій, з них найбільше артобстрілів 47,5% (основний фактор ураження), 28,3% бойових зіткнень, 22,8% бомбово-ракетно-дронових обстрілів (найруйнівніший фактор ураження, передусім в містах). Найбільше атак та артобстрілів відбулися в Донецькій (з великим відривом) та Херсонській і Сумській областях.

Один артилерійській крупнокаліберний снаряд містить 7 кг ТНТ та 36 кг сплавів заліза. В разі його вибуху у довкілля надходить приблизно 5,8 кг NO_3 та 36 кг Fe. Умовно-розрахунково від зареєстрованих ACLED артобстрілів ($К_{арт}$) у довкілля надійде тонн забруднюючих речовин:

$$M_{NO3} = К_{арт} \times n \times 5{,}8 / 1000; \quad (1)$$

$$M_{Fe} = К_{арт} \times n \times 36 / 1000; \quad (2)$$

Тоді за максимальною оцінкою (n=500) у період спостереження від усіх бойових вибухів при артобстрілах в довкілля надійшло 176,3 т. тонн NO_3 та 1094,3 т. тонн Fe, що ми вважаємо вірогідним. Тоді середня щільність надходження забруднюючих речовин у довкілля (передусім у ґрунти) України від артобстрілів на 1 км^2 її території за період спостереження становила: NO_3 – 293,8 кг/км^2; Fe – 1823,7 кг/км^2. Причому щільність надходження забруднюючих речовин у ґрунти від артобстрілів є прямим відображенням відмінностей у обсягах викиду забруднюючих речовин від них, які у свою чергу є прямим відображенням відмінностей у кількості зареєстрованих ACLED артобстрілів.

Такий підхід до використання даних моніторингу ACLED дав можливість виконати територіальний аналіз засобами ГІС ArcMap 10.2 і

отримати зонування за щільністю артилерійського забруднення ґрунтів NO_3 та Fe на п'ять класів зон (рис. 1). Площа таких зон забруднення у т. км^2 становить: 27,0 («червона» зона 1); 52,1 («жовта» зона 2); 32,2 («зелена» зона 3); 49,8 («синя» зона 4); 435,2 («сіра» зона 5). Середня по зонах щільність бойового викиду NO_3 у кг/км^2 оцінена такими величинами: 9248,2 (зона 1); 1911,7 (зона 2); 391,5 (зона 3); 76,5 (зона 4); 11,2 (зона 5). Це дало змогу розрахувати загальний обсяг викиду NO_3 у т. тонн по зонах (і регіонах): 250,0 (зона 1); 99,5 (зона 2); 12,6 (зона 3); 3,8 (зона 4); 4,9 (зона 5). Цілком очікувано реально підвищений рівень бойового викиду нітратів за результатами ГІС-зонування на 5 зон спостерігається у перших 4 зонах, розташованих вздовж лінії зіткнення позиційних боїв, де концентруються артилерійські обстріли. Тому саме для них розраховувалася економічна шкода від артилерійського забруднення нітратами.

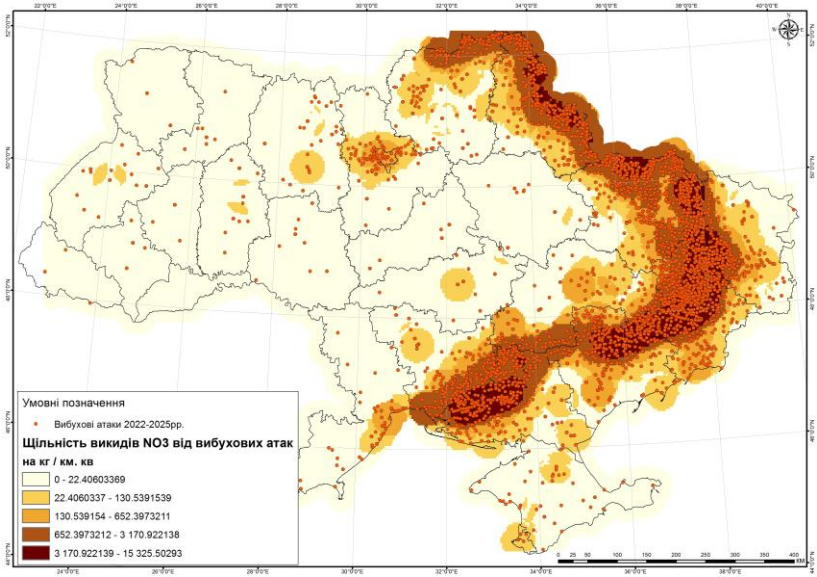


Рис. 1. Зонування за щільністю артилерійського забруднення ґрунтів NO_3 в Україні протягом 2022-2025 рр.

В Україні існують три основні методики розрахунку економічної шкоди від забруднення ґрунтів: методика МНС, розроблена для оцінки втрат від аварійного забруднення [2]; методика, запропонована О.Р. Губановою для сільськогосподарських земель [3, с. 181]; методика визначення розміру шкоди, завданої землі (ґрунтам) внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії, ухвалена у 2022 р. [4].

Причому тільки Методика МНС використовує в якості змінних не лише показник площі забруднення, а й показники маси та ГДК забруднюючої речовини, викинутої у довкілля. Тому лише Методику МНС можна використати для оцінки територіальних відмінностей економічної шкоди за даними зонування за щільністю забруднення. Але допустимий рівень забруднення ґрунтів Fe не нормується (тобто $ГДК_{Fe} = 0$), тому завдана шкода від артилерійських вибухів за методикою МНС може бути розрахована тільки в частині артилерійського забруднення NO_3 (нітратами).

ГІС-зонування за інтенсивністю артилерійського забруднення ґрунтів NO_3 та використання середніх значень щільності викиду по кожній зоні для перших 4 класів (тобто тих, де відзначається підвищений рівень забруднення) дає змогу розрахувати територіальні відмінності рівня та площі забруднення (таблиця 1). По тому оцінка еколого-економічної шкоди від артилерійського забруднення ґрунтів NO_3 за методикою МНС стає справою техніки за формулою (3), таблиця 2.

$$Зав_гр = (\boldsymbol{Mi}\times(0{,}05/ГДКi)) \times Кег \times n' \times n \times \boldsymbol{F} \times m \times n_a \times L \times 10; \quad (3)$$

де: ***Mi*** – викид *i*-тої забруднюючої речовини за період, кг;

ГДКі – гранично-допустима концентрація *i*-тої речовини, кг ($ГДК_{NO3\ грунт} = 130$ мг/кг);

F – площа забруднення, га;

n' – ставка компенсації збитків на одиницю умовної забруднюючої речовини (у частках неоподаткову-ваного доходу громадян, згідно з додатком до методики МНС);

n – величина неоподатковуваного доходу громадян (НМД), грн;

m – потужність забрудненої частини водоносного горизонту ($m \approx 2$ м);

n_a – коефіцієнт активної пористості ґрунтів ($n_a \approx 0{,}065$);

L – коефіцієнт природної захищеності ґрунтових вод ($L = 1$);

$К_{ег}$ – коефіцієнт еколого-господарського значення земель ($К_{ег} = 1{,}2$).

В разі використання нормативу НМД ($n = 17$ грн.) завдана шкода для ґрунтів від забруднення NO_3 за формулою (3) для перших 4-х зон оцінюється у \$166,4 млн. за курсом \$1 = 42 гривні (зона 1 – \$130,1 млн.; зона 2 – \$32,2 млн.; зона 3 – \$3,3 млн.; зона 4 – \$0,82 млн.).

Заміна нормативу НМД на норматив податкової соціальної пільги (50% прожиткового мінімуму для працездатної особи на місяць, $n = 1664$ грн.) збільшила оцінку завданої у перших 4-х зонах шкоди майже на два порядки, до \$16290,2 млн. (зона 1 – \$ 12732,4 млн.; зона 2

– $ 3153,8 млн.; зона 3 – $323,4 млн.; зона 4 – $80,6 млн.). Середня між цими версіями оцінка становить $8,2 млрд.

Цілком зрозуміло, що у найбільш забрудненій «червоній» зоні 1 генерується переважна частка еколого-економічної шкоди від бойового забруднення ґрунтів нітратами (78,2%); у «жовтій» зоні 2 – 19,4%; у зоні 3 – 1,99%; у зоні 4 – 0,49%.

Переважна частина загальної шкоди (90,1%) згенерована у Донецькій (61,3%), Запорізький (14,8%), Херсонській (7,6%) та Харківській (2,1%) областях, передусім за рахунок «червоної» (86,1%), значно менше – «жовтої» (12,2%) зон забруднення.

Оцінка еколого-економічної шкоди від артилерійського забруднення ґрунтів України NO_3 за методикою 2022 р. [4], що використовує в якості базової змінної показник площі забруднення, за мінімальною версією становить до $2 млрд., а за максимальною – до $10 млрд. (амплітуда відмінностей – 5 разів); середня оцінка становить $6 млрд. Розрахована за цією методикою сума завданої шкоди від артилерійського забруднення ґрунтів нітратами переважно концентрується в Донецькій, Херсонській, Сумській, Харківській, Запорізький та Чернігівській областях, розташованих вздовж лінії зіткнення позиційних боїв.

Висновки.

1) ГІС-зонування за інтенсивністю артилерійського забруднення ґрунтів NO_3 дало змогу використати методику МНС для оцінки територіальних відмінностей еколого-економічної шкоди у розрізі визначених зон забруднення в розподілі за регіонами України. Причому величина такої оцінки за мінімальною версією уявляється явно заниженою, за максимальною версією – дещо завищеною.

2) Цілком очікувано переважна частина суми оціненої за методикою МНС шкоди (понад 3/4) локалізується у найбільш забрудненій «червоній» зоні вздовж лінії бойового зіткнення в Донецькій, Запорізькій та Херсонській областях. У менш забрудненій «жовтій» зоні – генерується до 1/5 загальної суми оціненої шкоди, передусім у Харківській, Дніпропетровській, Миколаївській, Запорізькій, Донецькій, Сумській та Херсонській областях.

Таблиця 1.

Регіональний розподіл ГІС-зонування за щільністю артилерійського надходження нітратів в ґрунти України.

		Розрахункова площа забруднення NO_3 ($км^2$)					Розрахунковий викид NO_3 (тонн)				
Середній по зоні забруднення викид NO_3 в ґрунти (кг/$км^2$)		Зона 1 «червона»	Зона 2 «жовта»	Зона 3 «зелена»	Зона 4 «синя»	Всього	Зона 1 «червона»	Зона 2 «жовта»	Зона 3 «зелена»	Зона 4 «синя»	Всього
		9248,2	**1911,66**	**391,47**	**76,47**	-	**9248,2**	**1911,66**	**391,47**	**76,47**	-
Україна всього		27036,13	52069,27	32209,73	49808,41	161123,54	250036	99539	12609	3809	365993
1	АР Крим (з м. Севастополь)	0,00	0,00	0,00	111,33	111,33	0	0	0	9	9
2	Вінницька	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0
3	Волинська	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0
4	Дніпропетровська	369,66	4131,09	2973,52	3277,92	10752,19	3419	7897	1164	251	12731
5	Донецька	11578,59	5038,57	3836,81	4695,02	25148,99	107081	9632	1502	359	118574
6	Житомирська	0,00	0,00	0,00	0,21	0,21	0	0	0	0	0
7	Закарпатська	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0
8	Запорізька	4479,28	4535,51	4495,69	4931,02	18441,50	41425	8670	1760	377	52233
9	Івано-Франківська	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0
10	Київська (з м. Київ)	0,00	0,00	1531,00	5168,27	6699,27	0	0	599	395	995
11	Кіровоградська	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0
12	Луганська	1258,38	3482,96	3077,17	6312,87	14131,38	11638	6658	1205	483	19983
13	Львівська	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0
14	Миколаївська	508,41	4298,61	3367,41	2118,05	10292,48	4702	8217	1318	162	14400
15	Одеська	0,00	0,00	13,62	45,65	59,27	0	0	5	3	9
16	Полтавська	0,00	0,00	0,00	221,04	221,04	0	0	0	17	17
17	Рівненська	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0
18	Сумська	659,51	9781,82	2810,50	7354,65	20606,48	6099	18700	1100	562	26461
19	Тернопільська	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0
20	Харківська	2811,25	10006,50	7012,78	3889,55	23720,08	25999	19129	2745	297	48171
21	Херсонська	5371,06	6865,48	1627,13	4319,76	18183,43	49673	13124	637	330	63764
22	Хмельницька	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0
23	Черкаська	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0
24	Чернівецька	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0
25	Чернігівська	0,00	3928,73	1464,11	7363,06	12755,90	0	7510	573	563	8647

Таблиця 2.

Оцінювання еколого-економічних втрат від забруднення ґрунтів України артобстрілами за лютий 2022 - жовтень 2025 рр.
(апроксимація у зоні найбільшого забруднення за методикою МНС).

		$ млн.										%			
		Мінімальна оцінка (n=17 грн)					Максимальна оцінка (n=1664 грн)					Зона 1	Зона 2	Зона 3	Зона 4
		Зона 1	Зона 2	Зона 3	Зона 4	Всього	Зона 1	Зона 2	Зона 3	Зона 4	Всього				
Україна всього		130,08	32,22	3,30	0,82	166,43	12732,41	3153,83	323,36	80,56	16290,2	78,16	19,36	1,99	0,49
1	АР Крим (з м. Севастополь)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	Вінницька	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	Волинська	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	Дніпропетровська	0,19	4,85	0,51	0,12	5,67	18,39	474,62	50,36	11,95	555,31	3,31	85,47	9,07	2,15
5	Донецька	97,56	3,82	0,45	0,13	101,96	9549,25	373,79	44,39	12,98	9980,4	95,68	3,75	0,44	0,13
6	Житомирська	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	Закарпатська	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	Запорізька	19,47	4,13	0,83	0,20	24,62	1905,52	403,83	81,25	19,09	2409,7	79,08	16,76	3,37	0,79
9	Ів.-Франківська	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	Київська (з м. Київ)	0,00	0,00	0,02	0,04	0,05	0,00	0,00	1,57	3,50	5,07	0,00	0,00	31,00	69,00
11	Кіровоградська	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	Луганська	0,38	0,61	0,10	0,08	1,17	37,60	59,54	9,52	7,82	114,48	32,84	52,01	8,31	6,83
13	Львівська	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	Миколаївська	0,30	4,43	0,56	0,04	5,33	29,32	433,28	54,45	4,21	521,26	5,63	83,12	10,45	0,81
15	Одеська	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,30	68,70
16	Полтавська	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	100,00
17	Рівненська	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	Сумська	0,08	3,73	0,06	0,08	3,96	8,03	365,24	6,17	8,26	387,71	2,07	94,21	1,59	2,13
19	Тернопільська	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	Харківська	2,77	7,25	0,73	0,04	10,79	271,04	709,83	71,39	4,29	1056,6	25,65	67,18	6,76	0,41
21	Херсонська	9,33	3,15	0,04	0,05	12,57	913,26	308,44	3,55	4,88	1230,1	74,24	25,07	0,29	0,40
22	Хмельницька	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	Черкаська	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	Чернівецька	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	Чернігівська	0,00	0,26	0,01	0,04	0,30	0,00	25,25	0,72	3,55	29,52	0,00	85,55	2,43	12,02

3) Для всієї України перевищення максимальної оцінки шкоди від артилерійського забруднення ґрунтів NO_3 за методикою МНС для 4-х зон найбільшого рівня забруднення понад максимальну оцінку шкоди за методикою 2022 р. становить $6,2 млрд. (+62% від оцінки за методикою 2022 р.). Перевищення середньої оцінки – $2,2 млрд.(+36,7% від оцінки за методикою 2022 р.).

4) На нашу думку, зазначені розбіжності обумовлені тим, що наявні варіанти методики МНС та методики 2022 р., орієнтовані на оцінку еколого-економічної шкоди на об'єктовому рівні та потребують певної модифікації для більш адекватного врахування територіальних відмінностей на регіональному рівні узагальнення.

Використані джерела.

1. ACLED. (2025). Ukraine Conflict Monitor: Russia-Ukraine war map. // https://acleddata.com/monitor/ukraine-conflict-monitor

2. Кабінет міністрів України. (2003). Методика оцінки збитків від надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру. Затверджена постановами Кабінету Міністрів України № 175 від 15.02.2002 р. та № 862 від 04.06.2003 р.

http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/175-2002-%D0%BF.

3. Рогожин О.Г., Трофимчук В.О., Хлобистов Є.В. (2021). Економіка, організація та інформаційно-аналітичне забезпечення поводження з твердими побутовими відходами. Ін-т телеком. та глоб. інформ. простору. К.: ТОВ «Видавництво «Юстон». 230 с.

4. Міндовкілля (2022). Методика визначення розміру шкоди, завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану, затверджена наказом Міндовкілля від 04.04.2022 р. № 167, зареєстрованим в Мін'юсті 11.04.2022 за № 406/37742. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0406-22#Text.

Дослідження змін ландшафтної структури територій накопичення муніципальних відходів за допомогою ДЗЗ/ГІС-технологій

Трофимчук О.М.[1], Триснюк В.М.[1], Томченко О.В.[2], Азімов О.Т.[2]

[1]Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Trofymchuk@nas.gov.ua, trysnyuk@ukr.net

[2] ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України», azimov@casre.kiev.ua, tomch@i.ua

Місця видалення, зберігання й захоронення твердих побутових відходів (ТПВ) належать до екологічно небезпечних об'єктів. Одним з важливих інструментів їх геомоніторингу є використання даних дистанційного зондування Землі [1, 2 та ін.].

На прикладі Здовбицького сміттєзвалища ТПВ (Рівненська обл.) наведемо результати порівняльного оцінювання просторово-часових змін у геометричних параметрах і стані майданчиків цього об'єкта, у

зміні ландшафтної структури прилеглої до нього території на підставі даних знімання космічними апаратами (КА) WorldView-2 (отримані 02.05.2021 р.) і Sentinel-2 (отримані 06.09.2025 р.). Просторова розрізненність отримуваних із супутника Sentinel-2 матеріалів гірша порівняно з аналогічною, що надається знімальною апаратурою WorldView-2. Проте кількість каналів і лінійка спектральних діапазонів електромагнітних хвиль (ЕМХ) апаратури КА Sentinel-2 відповідно більші й ширша [3, 4].

На космічних знімках за травень 2021 р. і вересень 2025 р. добре розрізняється поточний стан Здовбицького звалища (рис. 1). Особливо інформативним щодо цього є травневий знімок 2021 р., на якому виразно відображається насамперед внутрішня "структура" об'єкта локалізації відходів: відпрацьовані ділянки, що покриті шаром інертного ґрунту; ділянки, де в даний час складуються відходи; різноманітні під'їзні шляхи, що використовувалися у різний період функціонування об'єкта захоронення відходів; тощо (рис. 1а).



а *б*

Рис. 1. Дешифрована з використанням космічних знімків площа накопичення Здовбицького сміттєзвалища ТПВ: *а* – за знімком із супутника WorldView-2 від 02.05.2021 р. (виділено майданчики **1**, **2**, **3**), *б* – за знімком із супутника Sentinel-2 від 06.09.2025 р.

Ретельний аналіз структурно-текстурних та спектрометричних характеристик дистанційно отриманого багатоспектрального зображення супутника WorldView-2, його проблемно орієнтоване дешифрування, інтерпретація й адекватне ототожнення земних покривів дозволили встановити загальну площу звалища станом на 02.05.2021 р., що дорівнює 42 845 м^2 (табл. 1). На Здовбицькому сміттєзвалищі були задіяні три діючих майданчики (рис. 1а).

Станом на 2025 р., за даними космічного знімання з супутника Sentinel-2 від 06 вересня, на сміттєзвалищі відбулося злиття усіх його

майданчиків. Між майданчиками № 2 і 3 з одного боку та майданчиком № 1 з іншого залишився лише незначний за площею осередок, представлений рослинним покривом (рис. 1б). Загальна площа звалища тепер досягла значення 47 367 м^2 (табл. 1).

Таблиця 1 – Геометричні параметри Здовбицького сміттєзвалища ТПВ за даними космічних знімків різних років*

Дата космічної зйомки	Загальна площа сміттєзвалища, м^2	Загальний периметр майданчиків, м
02.05.2021 р.	42845	1466
06.09.2025 р.	47367	1466**

* Результати 2021 р. – за даними знімка із супутника WorldView-2, 2025 р. – з КА Sentinel-2

** Значення периметра прийнято умовно

Стосовно периметра об'єднаного контуру трьох майданчиків Здовбицького об'єкта, то за матеріалами Sentinel-2 від 06.09.2025 р. він дорівнює 1093 м. Це приблизно на 25% менше від периметра, встановленого у травні 2021 р. за даними супутника WorldView-2 і визначеного як 1 466 м. Однак візуальний аналіз загальних розмірів трьох черг звалища і підрахунок відповідних площ не дає підстав стверджувати про їхнє зменшення за період 2021–2025 рр. Відносне зменшення периметра на 25% на знімку Sentinel-2 порівняно зі знімком WorldView-2 пояснюється істотно меншою просторовою розрізненністю першого з них: 10 м/пкл проти 1,85 м/пкл на зображеннях видимого діапазону спектра ЕМХ. Отож, межі розділу між площадками накопичення відходів і оточуючими їх покритими рослинністю ділянками на даних WorldView-2 відображаються чіткіше і детальніше. І якщо на зображеннях Sentinel-2 фрагмент цієї межі в один піксел виражається відрізком довжиною 10 м, то на зображеннях WorldView-2 він вже представлений ламаною лінією, складеною принаймні п'ятьма пікселами з довжинами сторін до 2 м кожен (рис. 1). Це й призводить до істотно більшого значення загального периметра майданчиків сміттєзвалища за даними WorldView-2 порівняно з аналогічними за Sentinel-2.

Зважаючи на викладене, умовно приймемо значення периметра об'єднаного контуру трьох черг звалища станом на 06.09.2025 р. близько 1 466 м (табл. 1). Тобто у процесі функціонування сміттєзвалища протягом 2021–2025 рр. значення відповідного периметра не змінилося.

Загальний висновок. Отже, зростання загальної площі Здовбицького сміттєзвалища за період 2021–2025 рр. на 4 522 м^2 (тобто на 10%), як визначено за знімком Sentinel-2, відбувалося завдяки

приєднанню до майданчиків № 1 і 2 розташованої між ними локальної ділянки з рослинним покривом і фактичним їх злиттям, а також за рахунок деякого розширення санітарно-захисної зони об'єкта накопичення ТПВ.

Список використаних джерел

Azimov O.T., Tomchenko O.V., Trofymchuk O.M., Trysniuk V.M., Shevchuk O.V., Klymenkov O.A. Integration of remote sensing data and geographic information systems for effective environmental monitoring in solid waste landfill areas. *Космічна наука і технологія*. 2026. Т. 32, № 1 (58). С. 27–45. https://doi.org/10.15407/knit2026.01.027

Trofymchuk O.M., Trysniuk V.M., Azimov O.T., Dorofey Ye.M., Tomchenko O.V. (2026). Comparison of WorldView-2 and Sentinel-2 satellite data in estimating the spatial-temporal changes of municipal solid waste dumps. *Proc. 19th Int. Sci. Conf. on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (20-24 April 2026, Kyiv, Ukraine)*. Vol. 2026. P. 1–5. https://doi.org/10.3997/2214-4609.202655014

WorldView-2 Satellite Sensor Specifications. https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-2/

Sentinel-2A (10m) Satellite Sensor. https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/sentinel-2a/

Про можливість застосування дистанційних методів у процесі контролю забруднення ґрунтового покриву м. Охтирка за результатами геохімічного аналізу (у зв'язку з наслідками воєнних дій)

Кураєва І.В.[1], Дерюгіна О.В.[1], Азімов О.Т.[2]

[1]Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка 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, 2 та ін.]. Зокрема, їх екологічний вплив на ґрунти є критичним. Основними наслідками впливу на ґрунти є фізична, хімічна та біологічна їх деградація. У ґрунтах акумулюються різноманітні забруднюючі речовини (наприклад, важкі метали – ВМ). На територіях, у межах яких велись бойові дії або ж продовжуються воєнні заходи, у ґрунтовому покриві відбувається первинне накопичення цих токсикантів із подальшим перерозподілом їх як власне у товщі ґрунту, так спостерігаються і переходи забруднювачів в інші компоненти довкілля: поверхневі й підземні води, рослинність.

Зазначене притаманне й ґрунтам південно-східної частини Сумської області, в межах якої в лютому–березні 2022 р. проходили активні воєнні дії. Зокрема, це характерно й для ґрунтових утворень

району м. Охтирка. 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 середмістя Охтирки в межах 10 площадок, що відносно рівномірно розосереджені по території (рис. 1), протягом 2023–2024 рр. 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, насамперед космічний знімок високої просторової розрізненності з супутника WorldView-2. Безпосередня ідентифікація на місцевості попередньо намічених площадок здійснювалася з використанням географічної інформаційної системи та глобальної системи позиціонування (Global Positioning System – GPS).

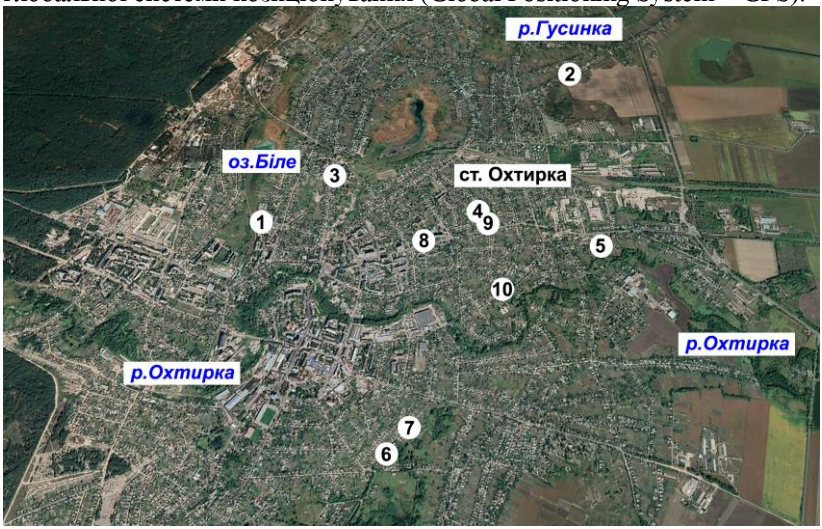


Рис. 1. Розташування площадок відбору зразків ґрунту в межах середмістя Охтирки. Як підкладку використано космічний знімок, отриманий 10.09.2021 р. із супутника WorldView-2.

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 фонового ґрунту (тобто умовно чистого, відповідно до [3]),

так і до гранично допустимих концентрацій (ГДК) вмісту відповідних мікроелементів.

У результаті дослідження визначено показники валового вмісту ВМ у відібраних зразках ґрунту, представленого чорноземом типовим (табл. 1). Зокрема, у ґрунтовому покриві, на глибині 0–10 см, спостерігається значний вміст ряду ВМ, імовірно зумовлений наслідками проведення інтенсивного бомбардування території м. Охтирка та прилеглого району.

Отже, за результатами проведених досліджень у чорноземі типовому м. Охтирка встановлено, що валовий вміст ***свинцю*** (Pb) в них у середньому становить 45 мг/кг ґрунту, що більш ніж у 2,5 раза вище регіонального фону. Середній вміст ***міді*** (Cu) становить близько 73 мг/кг, що в 2,3 раза перевищує значення фону та вище за ГДК у 1,3 раза (табл. 1).

У зразках ґрунту, відібраних на території м. Охтирка, зафіксовано також підвищений валовий вміст ***нікелю*** (Ni). Концентрація нікелю становить 24 мг/кг у порівнянні із фоном – 18 мг/кг (табл. 1). Натомість стосовно ***хрому*** (Cr), його середній вміст у ґрунтах території громади становить 29 мг/кг, що не перевищує фоновий рівень для валових форм (44 мг/кг).

Валовий вміст ***цинку*** (Zn) у досліджуваних пробах ґрунту в середньому становить 110 мг/кг, що перевищує фонові показники більш ніж у 4 раза (26 мг/кг) (табл. 1). Перевищення місцевого фону в досліджуваних ґрунтах зафіксовано практично у всіх відібраних зразках за ***ванадієм*** (V): його вміст сягає 38 мг/кг, тобто перевищує фон майже у 2 раза (20 мг/кг).

Таблиця 1 – Середні показники валового вмісту ВМ у гумусовому горизонті умовно чистих та забруднених ґрунтів середмістя Охтирки (Сумська обл.), мг/кг

Ґрунт	Важкі метали						
	Ni	Cr	Zn	Co	Cu	V	Pb
Чорнозем типовий; n – 25	$\frac{24}{18}$	$\frac{29}{44}$	$\frac{110}{26}$	$\frac{30}{25}$	$\frac{73}{32}$	$\frac{38}{20}$	$\frac{45}{22}$
ГДК валових форм ВМ у ґрунтах (за Постановою Кабміну України від	85	–	100	–	55	150	32

15.12.2021 р., № 1325)							
ГДК валових форм ВМ у ґрунтах (згідно з [4])	80	–	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 [3]); *n* – кількість відібраних зразків; «–» – ГДК не встановлено або дані не наведені

Середній вміст ***кобальту*** (Co) в досліджуваних ґрунтах м. Охтирка становить близько 30 мг/кг, що незначно перевищує регіональне фонове значення (25 мг/кг) (табл. 1).

Висновок. Отже, за результатами проведеної роботи встановлено, що середній валовий вміст майже усіх мікроелементів у всіх досліджуваних зразках чорнозему типовому м. Охтирка перевищує фонові показники (виняток виявлено для хрому). Зокрема, перевищення місцевого фону зафіксовано за цинком (у 4 раза), свинцем та міддю (приблизно в 2,5 раза) та за ванадієм (у 2 раза). Наведені результати у подальшому можуть бути використані для прогнозування екологічної обстановки на локальному та регіональному рівнях як м. Охтирка та на прилеглих до нього територій.

Список використаних джерел

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.

Кураєва І.В., Дерюгіна О.В., Азімов О.Т. Оцінка вмісту важких металів у забруднених унаслідок воєнних дій ґрунтах Київщини за даними геохімічного аналізу (з використанням даних ДЗЗ). *Інформаційно-комунікаційні технології для стійкості та відновлення: колективна моногр. за матеріалами 24-ї Міжнар. наук.-практ. конф. «Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток» (Київ, 11-12 листоп. 2025 р.)*; за заг. ред. С.О. Довгого. Київ: ТОВ «Вид-во «Юстон», 2025. С. 169–172. ISBN 978-617-8335-60-1. https://itgip.org/wp-content/uploads/2025/11/1_zbirka_2025_dlja-sajtu.pdf

Жовинський Е.Я., Кураєва І.В. Еколого-геохімічні дослідження об'єктів довкілля України. Київ: Альфа, 2012.

Дмитриев М.Т., Казнина Н.И., Пинигина И.О. Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде: Справочное изд. Москва: Химия, 1989. 368 с.

Космічний моніторинг негативних природних явищ, пов'язаних із лісовими пожежами, на радіонуклідно забруднених територіях

Кірєєв С.І.[1], Самойлов Д.А.[1], Азімов О.Т.[2], Томченко О.В.[2]
[1]Державне спеціалізоване підприємство «Екоцентр», kireev@ecocentre.kiev.ua
[2] ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України», azimov@casre.kiev.ua, tomch@i.ua

У межах радіонуклідно забрудненої Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ), а також на прилеглих до неї територіях унаслідок зміни режиму ведення лісового господарства та соціально-економічних умов однією з особливо гострих постає проблема лісових пожеж [1, 2 та ін.]. Насамперед ця проблема є актуальною у зв'язку із зумовленою пожежами атмосферною міграцією радіонуклідів за межі їх первинного випадіння.

Так, під час лісової пожежі 09.07.2025 р. у Розсохському лісництві за даними радіаційної розвідки (за допомогою мобільної оперативної групи Державного спеціалізованого підприємства «Екоцентр» з аспіраційним та дозиметричним обладнанням) було зафіксовано максимальну об'ємну активність радіонуклідів у повітрі на лінії вогню на рівні 1,14E-02 Бк/м^3, що перевищує значення контрольного рівня (КР), встановленого гігієнічними нормативами «Основні контрольні рівні, рівні звільнення та рівні дії щодо радіоактивного забруднення об'єктів зони відчуження і зони безумовного (обов'язкового) відселення» у 54,3 раза (!!!) (КР 2,1E-04 Бк/м^3).

Отже, створення і функціонування ефективної моніторингової системи протипожежної охорони, яка б включала оперативний контроль, прогнозування, виявлення, стеження і гасіння пожеж та аналіз їх наслідків, є важливою умовою недопущення поширення радіоекологічно несприятливих процесів у лісах, на торфовищах та перелогах ЧЗВ та на сусідніх із нею площах. Інформативно вагомою складовою такої системи є застосування технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) [1]. Наведемо деякі отримані нові результати.

Зокрема, платформою (супутниковим сервісом) «Інформація про пожежі для системи управління ресурсами» (Fire Information for Resource Management System, FIRMS) Національного управління з аеронавтики і дослідження космічного простору (National Aeronautics and Space Administration, NASA) – NASA's FIRMS – надаються дані стосовно вірогідних пожеж на земній поверхні, підставою для яких є виявлені супутниковими засобами в інфрачервоному спектрі

електромагнітних хвиль теплові аномалії (або "гарячі" точки). Просторове розрізнення цієї дистанційної системи – 375 м/пкл. Так, за результатами проведеного нами узагальнення відповідних даних за період січень 2021 р. – травень 2026 р. на території власне Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника (ЧРЕБЗ) відбулося 2677 пожеж у межах природних екосистем (табл. 1), здебільшого лісових. Виконаний геоінформаційний аналіз даних ДЗЗ із використанням географічної інформаційної системи (ГІС) дозволив встановити, що пожежами за цей період вражено 434,23 км^2 території заповідника. Аномальними у цьому плані виявилися 2022 і 2024 рр.

А в поточному 2026 р. за січень–травень у ЧЗВ загалом зафіксовано 180 окремих площадок горіння, які разом склали 48 пожеж на об'єднаних в одну площу ділянках. З них 11 пожеж сталося у березні, 15 – у квітні, 22 (171 окрема площадка за NASA's FIRMS; рис. 1) – у травні. За даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС України) у цей період максимальна площа пожежі становила 1200 га. Вона відбувалася 7–12 травня південно-східніше м. Чорнобиль на площах 44 кварталів Опачицького, Корогодського, Теремцівського і Паришівського природоохоронних науково-дослідних відділень й охопила, відповідно до матеріалів NASA's FIRMS, 131 окрему площадку. Об'єктом горіння були лісова підстилка, повалені дерева, торф. Сумарна ж площа території ЧЗВ, ушкоджена пожежами в період квітня–травня 2026 р., за даними ДСНС України становила 1790 га.

Таблиця 1 – Статистичні дані стосовно кількості пожеж та враженої ними площі на території ЧРЕБЗ, виявлені з застосуванням дистанційних технологій протягом періоду січень 2021 р. – травень 2026 р.

Рік	Кількість	Площа, км^2	Рік	Кількість	Площа, км^2
2021	9	3,40	2024	845	96,031
2022	1465	252,80	2025	42	12,25
2023	136	28,43	січень–травень 2026	180	41,33
Сума за весь період (січень 2021 р. – травень 2026 р.)				2677	434,23

Основні висновки. Отже, технології ДЗЗ є оперативним, ефективним і маловитратним інструментом виявлення і стеження за природними пожежами, оцінювання стану земних покривів на площах, що вражені їх дією.

По території ЧЗВ за результатами геоінформаційного аналізу даних ДЗЗ встановлено, що аномальними стосовно кількості природних пожеж і вражених ними площ рослинного покриву за останні 5 років виявилися 2022 і 2024 рр. Особливо негативні наслідки виявлено після пожеж 2022 р.

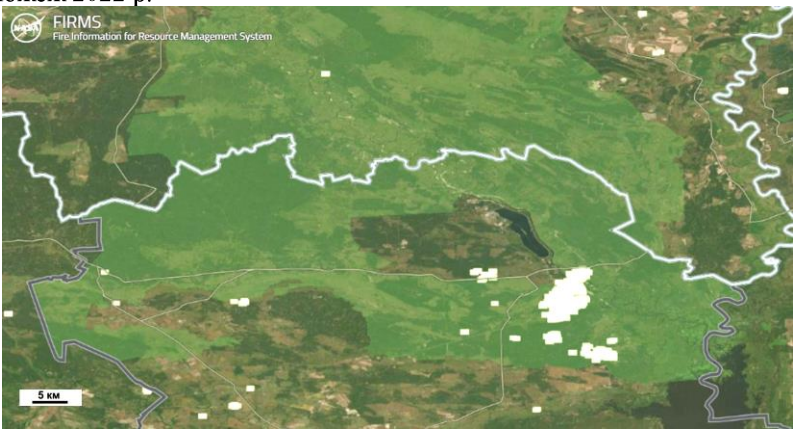


Рис. 1. Карто-схема просторового поширення осередків пожеж (означені білим кольором) на території ЧРЕБЗ у травні 2026 р., виявлених за даними NASA's FIRMS

Список використаних джерел

Азімов О.Т., Веременко Д.М., Кірєєв С.І., Томченко О.В. Космічний моніторинг екологічної ситуації на вражених пожежами ділянках лісових масивів у межах Чорнобильської зони відчуження та на прилеглих територіях / Колективна монограф. за матеріалами 20-ї Міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: виклики 2021 року» (м. Київ, 04-08 жовт. 2021 р.). За заг. ред. С.О. Довгого. Київ: ТОВ «Вид-во «Юстон», 2021. С. 45–48. DOI: 10.35350/2021-1-1-1-223. https://itgip.org/wp-content/uploads/2021/10/1_Збірка_2021.pdf

Радіогідрогеохімія водозбірних басейнів Чорнобильської зони відчуження: наук. монограф.; за ред. О.Л. Шевченка, В.В. Доліна. Київ: Наук. думка, 2023. 348 с. ISBN 978-966-00-1855-6. http://doi.org/10.15407/978-966-00-1855-6

Використання космознімків для створення дистанційних основ моніторингу довкілля на територіях впливу гірничо-металургійних комплексів

Азімов О.Т.
ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України», casre@casre.kiev.ua

Функціонування гірничо-металургійних комплексів (ГМК) призводить до негативних змін практично всіх компонентів ландшафту в зоні їх впливу. Вивчення деградації ландшафтних комплексів, просторово-часової їх змінності на територіях, що безпосередньо зазнають негативного впливу діяльності гірничо-збагачувальних і металургійних комбінатів, ефективне з використанням дистанційних методів досліджень.

Процеси деградації земель притаманні й промисловій зоні Криворізького басейну (Дніпропетровська обл.). Вона має надзвичайно високий показник техногенного навантаження на довкілля, яке в районі м. Кривий Ріг є своєрідною урбоекосистемою. Унаслідок інтенсивної експлуатації в районі Південного гірничо-збагачувального комбінату (ГЗК), металургійного комбінату «Арселор Міттал Кривий Ріг», численних відвалів і хвостосховищ, ставка-накопичувача шахтних вод у балці Свистунова та інших пов'язаних із ними об'єктів у межах Криворізької урбоекосистеми та на прилеглих до неї територіях забруднюються атмосферне повітря, поверхневі і підземні води, ґрунти, збіднюється ландшафтне і біотичне різноманіття, що негативно впливає як на живі організми природного середовища, так і на здоров'я, працездатність і тривалість життя людей і є серйозною загрозою для майбутніх поколінь.

З метою аналізу явних змін у землекористуванні району промислової зони Криворізького басейну (наземний доступ до неї обмежений), що відбулися за останні 2,5 роки, використано супутникові дані, що отримані космічним апаратом (КА) Sentinel-2. Був підібраний багатоспектральний знімок КА Sentinel-2 від 14.03.2026 р. Порівняння за цим знімком особливостей стану довкілля в межах території досліджень із такими ж за знімком Sentinel-2 від 16.09.2023 р. відображають відповідні зміни, що сталися протягом 2,5 років.

За матеріалами зазначених знімків створено псевдокольорові зображення території досліджень площею близько 357,57 км^2, які дали можливість виділяти на них ті чи інші природні й техногенні об'єкти різних геометричних форм і розмірів та розпізнавати їх класи. Для ідентифікації об'єктів враховувалися їх прямі дешифрувальні ознаки,

що характеризують їхні властивості та безпосередньо відображаються на синтезованих зображеннях.

Таким чином, на підставі аналізу супутникових даних у межах району промислової зони Криворізького басейну за останні 2,5 роки встановлено такі чітко виражені, істотні на наш погляд, зміни в землекористуванні. Вони стосуються двох "нових" на території хвостосховищ, що розташовані між хвостосховищем «Об'єднане» («I карта» і «IV карта») (на півночі) та ставком-накопичувачем шахтних вод у балці Свистунова (на півдні), а також певною мірою стосуються хвостосховища «Войкове».

Так, "західне" з цих двох нових хвостосховищ, що має неправильну трапецієподібну форму у плані й розділене на три приблизно рівновеликі за площею субгоризонтально витягнуті відсіки (або секції), за останні 2,5 роки почало інтенсивно експлуатуватися. А саме: північний з трьох його відсіків станом на 14.03.2026 р. майже повністю заповнений відходами гірничо-металургійного виробництва, а середня секція заповнена приблизно на 1/3 (у східній своїй частині). Найбільша ж за площею південна секція (відсік) "західного" хвостосховища підготовлена для приймання відходів, про що однозначно засвідчує факт покриття її поверхні захисною плівкою (на яку зазвичай складуються відходи) або ж шаром води.

Натомість "східне" хвостосховище краплеподібної, витягнутої на північний схід, форми у плані й розділене на кілька різних за площею і просторовою конфігурацією відсіків (секцій), почало приймати відповідні відходи лише у свої приконтурні частини. Основна ж, центральна площа поверхні цього хвостосховища покрита захисною плівкою. Таким чином, станом на 14.03.2026 р. цей об'єкт підготовлено для подальшого накопичення відходів.

Хвостосховище «Войкове», що розташоване між «Лівобережними» відвалами Південного ГЗК (на заході) та хвостосховищем «I карта» (на сході), станом на 14.03.2026 р., у порівнянні з його станом на 16.09.2023 р., характеризується готовністю до локалізації в його межах чергових об'ємів відходів. На це чітко вказує наявність майже на всій поверхні хвостосховища «Войкове» захисної плівки або шару води на ній, що плащеподібно покривають попередні обсяги депонованих відходів.

Отож, можна стверджувати, що уведення в активну експлуатацію та нарощування обсягів потенційно токсичних відходів ГМК промзони Кривбасу в межах зазначених хвостосховищ у подальшому створить додаткове негативне навантаження на можливості ставка-накопичувача шахтних вод у балці Свистунова. Останній розташований південніше і,

відповідно до значень висот земної поверхні, гіпсометрично нижче хвостосховищ. Таким чином, саме в напрямку від них до ставка в основному зорієнтований потік не тільки поверхневих, а й підземних вод, що потенційно можуть бути забрудненими. Усе це сприятиме погіршенню екологічної ситуації як у межах промислової зони, так і території на південь від неї.

Висновок. Отже, результати проведеної роботи засвідчили високу оперативність в отриманні достовірної інформації про значну кількість об'єктів інтересу в межах великого за площею району промислової зони Криворізького басейну на підставі застосування дистанційних технологій з використанням отриманих КА Sentinel-2 даних. Одержані матеріали дали можливість зафіксувати найістотніші зміни у стані кількох хвостосховищ території (тобто зміни в її землекористуванні), а також етапність експлуатації складових (відсіків, секцій) цих хвостосховищ.

Порівняльний аналіз можливостей QGIS та ArcGIS для дослідження урбанізованих територій

Андрєєв С. М., Даншин М. О.,
(Національний аерокосмічний університет «ХАІ»,
e-mail: s.andreev@khai.edu, m.o.danshyn@student.khai.edu)

Стрімке зростання міського населення у світі посилює тиск на муніципальну інфраструктуру, ресурси та довкілля. Це вимагає модернізації традиційних підходів до міського менеджменту. Вирішити такі завдання допомагає просторове планування, спрямоване на раціональну організацію простору, збалансоване розселення людей та оптимальне зонування діяльності. Оскільки подібні проєкти охоплюють великі площі та мають узгоджувати економічні, соціальні та екологічні інтереси громад, їх реалізація неможлива без надійної аналітичної бази. Саме тому управлінські рішення сьогодні повністю залежать від оперативного доступу до точної геопросторової інформаці [1].

Традиційно лідером у сфері обробки просторових даних є комерційне програмне забезпечення ArcGIS. Стрімкий розвиток ГІС-технологій з відкритим кодом робить QGIS потужною та доступною альтернативою для міського сектору [2].

Метою роботи є порівняльний аналіз функціональних можливостей QGIS та ArcGIS у контексті просторового планування та управління розвитком урбанізованих територій.

ArcGIS є визнаною класичною комерційною ГІС-платформою, яка в контексті урбаністичного аналізу надає готові інструменти моделювання (зокрема, локаційного розподілу та моделі Хаффа). Модуль ArcGIS Business Analyst, завдяки інтегрованим базам демографічних і ринкових даних, автоматизує аналітичні процеси та пропонує готові шаблони для інфраструктурного 3D-планування. Проте широке використання ArcGIS обмежене високою вартістю ліцензії.

Головна перевага QGIS – відкритий вихідний код, що надає можливості розширювати функціонал відповідно до актуальних завдань. Платформа пропонує аналогічні інструменти просторового аналізу, реалізовані через систему плагінів (наприклад, QuickOSM для інтеграції з даними OpenStreetMap, ORStools для розрахунку транспортної ізохронної доступності та модулі SAGA/GRASS для реалізації моделі Хаффа). Інтеграція з Python дає змогу безкоштовно вирішувати складні завдання висотного аналізу та моделювання міського середовища.

Фінансові можливості та специфіка завдань залишаються головними критеріями при виборі ГІС. ArcGIS залишається еталонним комерційним рішенням для швидкого урбаністичного аналізу. Водночас QGIS стає повноцінною безкоштовною альтернативою, яка за рахунок застосування плагінів дає змогу ефективно вирішувати складні завдання геомаркетингу, мінімізуючи витрати на ліцензування.

Список використаних джерел

1. Scalable 3D Modeling of Urban Spaces in Blender: A Data Flow Approach to Urban Change Analysis / S. Danshyna, A. Nechausov, S. Andrieiev, K. Podorozhko. Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2025. Vol. 2 : Synergetic Engineering, 2026. P. 107-116. DOI: 10.1007/978-3-032-22372-2_9.

2. Даншина С. Ю., Андрєєв С. М. Формування моделі розумного міста з урахуванням динаміки змін міської забудови. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*, 2025. №2 (32), С. 16–32. DOI: 10.30837/2522-9818.2025.2.016.

Показники дистанційного моніторингу кар'єрних водойм у постмайнінгових районах

Охарєв В. О., Єріс Є. Є.
(Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України,
E - mail: ierisievgen@gmail.com)

Після припинення експлуатації відкриті гірничі виробки можуть поступово заповнюватися водою, утворюючи кар'єрні озера. Процес їхньої гідрологічної перебудови часто супроводжується ризиками підтоплення прилеглих територій, забруднення суміжних вод і порушення стійкості геологічного середовища. Моніторинг затоплених кар'єрів є важливою складовою відновлення та екологічної стабілізації постмайнінгових територій [1, 2].

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) дає змогу відстежувати просторово-часові зміни кар'єрів, доповнюючи польові дослідження та математичне моделювання для оцінки екологічних ризиків [1, 2]. У зв'язку з цим доцільно окреслити межі застосування ДЗЗ для кар'єрних водойм, виокремивши практично значущі параметри, які можна оцінювати дистанційно.

Зміни **площі водного дзеркала та положення берегової лінії** можна визначати за різночасовими супутниковими знімками. Для виділення водної поверхні застосовні, зокрема, спектральні індекси NDWI та MNDWI. Порівняння отриманих контурів дозволяє кількісно оцінювати зміни площі водойми, виявляти сезонні коливання та визначати багаторічні тенденції [3].

Окрім просторових характеристик, супутникові дані застосовні для оцінки окремих **показників стану водної поверхні**. Спектральні характеристики води дають непрямі оцінки каламутності й вмісту завислих речовин, концентрації хлорофілу α. За наявності теплових інфрачервоних даних можна визначати температуру поверхні води, простежуючи її просторову мінливість. Ці показники дають змогу виявляти появу ділянок із відмінними характеристиками води та відстежувати зміни її стану [4].

Дистанційний аналіз може поширюватися й на прилеглі території, дозволяючи оцінювати **зміни земного покриву**: рослинності, ґрунтів і техногенно порушених поверхонь. Аналіз полягає у класифікації супутникових знімків і застосуванні спектральних індексів, зокрема, індексу NDVI для характеристики рослинного покриву. Порівняння різночасових знімків також застосовують для виявлення тимчасових водних поверхонь і зміни площі затоплення за межами основної водойми [3].

Водночас необхідно враховувати обмеження дистанційного моніторингу. Його точність залежить від характеристик знімків, типу земного покриву, наявності рослинності у воді й уздовж берегової лінії, а також обраних порогів класифікації. Це може призводити до помилок і потребувати локального калібрування [3]. Крім того, дистанційні оцінки не можуть забезпечувати визначення повного хімічного складу води й концентрацій усіх забруднювальних речовин [4].

Для встановлення причин динаміки кар'єрного озера необхідно моделювати баланс надходження та втрат води, враховуючи опади, поверхневий стік, випаровування, обмін із підземними водами, перелив або штучне водовідведення [5, 6]. Поєднання дистанційного аналізу з гідрологічним моделюванням дає змогу оцінювати можливі варіанти подальших змін водойми та визначати потребу в детальнішому моніторингу [5, 6].

Отже, ДЗЗ доцільно використовувати для виявлення та кількісного опису просторово-часових змін кар'єрних водойм і прилеглих територій [1, 3]. Встановлення причин цих змін, оцінювання підземного водообміну та визначення хімічного складу води потребують додаткових гідрологічних, гідрохімічних і технічних даних, тоді як результати дистанційного моніторингу можуть слугувати основою для подальшого моделювання й оцінювання сценаріїв розвитку водойм.

Список використаних джерел

Рудько Г. І., Яковлєв Є. О. Постмайнінг гірничодобувних районів України як новий напрям екологічно безпечного використання мінерально-сировинних ресурсів // Мінеральні ресурси України. 2020. № 3. С. 37–44. DOI: https://doi.org/10.31996/mru.2020.3.37-44.

Al Heib M., Varouchakis E. A., Galetakis M., Renaud V., Burda J. A framework for assessing hazards related to pit lakes: application on European case studies // Environmental Earth Sciences. 2023. Vol. 82. Article 365. DOI: https://doi.org/10.1007/s12665-023-11045-4.

Smentek A., Kaczmarek A., Eksert P., Blachowski J. Monitoring Surface Water Dynamics in Mining Areas Using Remote Sensing Indices: A Review and Cross-Case Analysis // Water. 2025. Vol. 17, No. 19. Article 2826. DOI: https://doi.org/10.3390/w17192826.

Ellis E. A., Allen G. H., Riggs R. M., Gao H., Li Y., Carey C. C. Bridging the divide between inland water quantity and quality with satellite remote sensing: An interdisciplinary review // WIREs Water. 2024. Vol. 11, No. 4. Article e1725. DOI: https://doi.org/10.1002/wat2.1725.

Castendyk D. N., Eary L. E., Balistrieri L. S. Modeling and management of pit lake water chemistry 1: Theory // Applied Geochemistry. 2015. Vol. 57. P. 267–288. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.09.004.

Kemanga B., McIntyre N., Bulovic N. Hydrological classification of mine pit lakes using modelling experiments // Journal of Environmental Management. 2024. Vol. 370. Article 123057. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123057.

Створення анагліфових зображень з аерофотознімків БПЛА для формування цифрової моделі рельєфу

Даншина С. Ю., Безкоровайна А. С.,
(Національний аерокосмічний університет «ХАІ»,
e-mail: s.danshyna@khai.edu)

Сучасні методи дистанційного зондування Землі та фотограмметрії забезпечують високоточне відтворення рельєфу місцевості. Перспективним напрямом є використання аерофотознімків із безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що забезпечують високу деталізацію й оперативність збирання даних. У поєднанні з анагліфовою технологією такі матеріали дають змогу формувати стереоскопічні моделі, які покращують візуальне сприйняття просторових структур і підвищують точність інтерпретації рельєфу [1, 2].

Формування цифрової моделі рельєфу (ЦМР) на основі анагліфових зображень є ефективним інструментом для геодезичних, картографічних та інженерних досліджень, особливо в умовах складного рельєфу або обмеженого доступу до території [1].

Метою роботи є розробка та апробація комплексної методики створення ЦМР на основі стереопар і анагліфових зображень, отриманих шляхом фотограмметричної обробки даних із БПЛА. Об’єктом дослідження є процес формування ЦМР.

Методика включає кілька етапів [1, 2]. Спочатку в Agisoft Metashape Professional виконано імпорт аерофотознімків, їх попередню обробку та калібрування камер. У програмному комплексі UASMaster сформовано анагліфи та первинні стереопари, налаштовано параметри проєкту, систему координат і введено точки планово-висотного обґрунтування (ПВО).

Подальше моделювання маршрутів здійснювалося у програмному середовищі Digitals на основі сформованих стереопар. Для підвищення точності просторової прив’язки стереопар повторно застосовано Agisoft Metashape Professional, де шляхом додавання ПВО виконано уточнення вирівнювання знімків і фінальна оптимізація параметрів зовнішнього орієнтування камер.

На завершальному етапі проведено побудову ЦМР на основі стереопар. Процес включав генерацію щільної хмари точок, її класифікацію та подальше формування тривимірної моделі. Застосований підхід забезпечив високоточне відтворення просторових характеристик досліджуваної території, мінімізацію геометричних спотворень та отримання достовірної ЦМР.

Одержані результати підтверджують ефективність

запропонованого багатоетапного технологічного процесу та демонструють важливість комплексного використання сучасних фотограмметричних систем (Agisoft Metashape, UASMaster, Digitals) для обробки даних, отриманих з БПЛА. Такий підхід дозволяє автоматизувати та підвищити якість створюваної геодезичної продукції.

Список використаних джерел

1. Goto H. Extensive Area of Topographic Anaglyphs Covering Inland and Seafloor Derived Using a Detailed Digital Elevation Model for Identifying Broad Tectonic Deformations. *Earthquakes, Tsunamis and Nuclear Risks*. 2016. pp. 65 – 74. DOI: 10.1007/978-4-431-55822-4_5.

2. Chrysoulakis N., Feidas H., Abrams M. Digital elevation models generated from multispectral stereo satellite imagery. *The International Society for Optical Engineering*. 2006. pp. 1 – 3. DOI: 10.1117/2.1200607.0306.

Перспективи використання гідротермальних ресурсів Закарпаття

Саніна І.В.,
ekogeol@ukr.net,
Люта Н.Г.,
nlyuta@ukr.net,
Приходько С.М., Древіна Т.А.
(Державна установа "Науково-інженерний центр радіогідрогеоекологічних полігонних досліджень НАН України")

В умовах війни, коли енергосистема України зазнає системних ворожих ударів і значна кількість енергооб'єктів уже пошкоджена або знищена, для забезпечення енергетичної незалежності важливого значення набуває використання відновлюваних джерел енергії – сонячної, вітрової, тепла Землі.

Теплова енергія земних надр і термальних підземних вод здавна широко використовуються в світі, зокрема в Ісландії, США, Новій Зеландії, Франції, Угорщині тощо. В останні роки через енергетичну кризу в Європі і в Україні суттєво прискорився розвиток сонячної енергетики та використання теплонасосів для потреб бізнесу і приватних домогосподарств. Але найперспективнішими для отримання геотермальної енергії є території з підвищеними термоградієнтами. Відомо, що доступні для використання світові гідрогеотермальні ресурси оцінюються в $137 \cdot 10^{12}$ тонн у.п., що вдесятеро перевищує розвідані запаси всіх видів паливних копалин [1].

В Україні основні геотермальні ресурси зосереджені в Закарпатському прогині, в Рівнинному Криму та у Дніпровсько-Донецькій і Причорноморській западинах [2]. Найбільш перспективним і доступним з них на даному етапі є Закарпаття, де розвідано понад 30

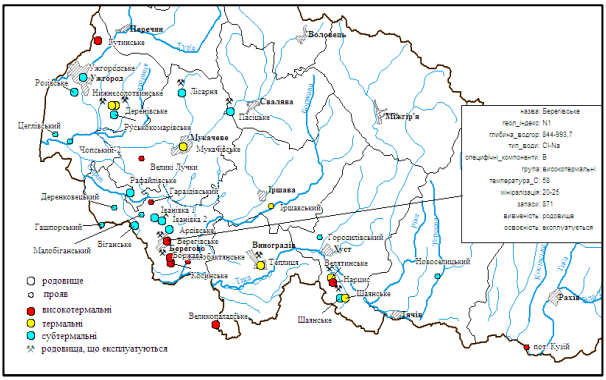
родовищ і проявів термальних вод, в т.ч. відомі родовища теплоенергетичних вод: Косинське, Берегівське, «Чігосуг» [3]. Нині ці родовища використовуються для наповнення басейнів. Варто зауважити, що основною сферою застосування термальних вод Закарпаття повинна залишатися бальнеологія, особливо враховуючи обмежений доступ до інших вітчизняних курортів та потребу в реабілітації поранених. Однак сучасна ситуація обумовлюють потребу використання гідротермальної енергії для теплоенергетики.

За даними регіональної оцінки 1980-х рр. прогнозні ресурси термальних вод Закарпатського басейну, які можна видобувати насосним способом, складають 12,0 тис. $м^3$/добу (гідротермальна енергія – 140 тис. Гкал/рік).

На рисунку представлено фрагмент створеної авторами бази даних розвіданих родовищ і проявів термальних вод Закарпаття. Тут за геологічними та геофізичними даними на глибині до 6 км температура гірських порід сягає 230-275°С. Температура води на гирлі свердловин глибиною 55 - 1 500 м становить 40-60°С. Очевидно, що така температура не може забезпечити розвиток геотермальної електроенергетики, тому найбільш перспективним є використання геотермальних ресурсів шляхом створення підземних циркуляційних систем для тепловодопостачання житла, установ та промислових підприємств у комплексі з додатковими джерелами постійного чи періодичного підігріву. Це може дати суттєву економію енергоносіїв, які використовуються в наш час для забезпечення споживачів теплою водою. Подібні системи поширені у США, Мексиці, Італії, Японії, Філіппінах, Польщі та в Німеччині.

До проблемних питань освоєння гідротермальних ресурсів належить складна геологічна будова регіону, невитриманість поширення водоносних шарів, а відтак дебіти свердловин, що суттєво різняться.

Проблемою, пов'язаною із використання цього виду енергії, є висока мінералізація і агресивність підземних вод, що вимагає застосування спеціальних корозійно стійких матеріалів або бінарних систем для передачі тепла підземних високомінералізованих агресивних вод рідині, яка циркулює в іншому технологічному контурі.


Нересниця
Путинське
Ужгородське
Ужгород
Рокосово
Нижньосторожинське
Лісарня
Деренівське
Руськохустянківське
Цегельський
Чопський
Мукачево
Мукачівська
Великі Лучки
Рафаївський
Гаражівський
Деренковецький
Іванівка 1
Іванівка 2
Гашпорський
Аргінський
Берегівська
Берегово
Малобіганський
Бігацька
Косонтарсько-Дятківське
Кіблянське
Виноградів
Тячівська
Ясінянський
Іршавський
Іршава
Свалява
Пасічна
Волосянський
Хустський
Хуст
Городищенський
Вилоцький
Новосільський
Нересниця
Шашківська
Ясіня
Рахів
Великобігданська
Шашківське
Чивчинський
Кобилецькополянський
Путильський
Вижницький
Вижниця
Кіцманський
Кіцмань
Заставнівський
Заставна
Новоселицький
Новоселиця
Сокирянський
Сокиряни
Дністровський
Дністровський
Хотинський
Хотин
Кельменецький
Кельменці
Глибоцький
Глибока
Сторожинецький
Сторожинець
Вижницький
Вижниця
Путильський
Путила
Кіцманський
Кіцмань
Заставнівський
Заставна
Новоселицький
Новоселиця
Сокирянський
Сокиряни
Дністровський
Дністровський
Хотинський
Хотин
Кельменецький
Кельменці
Глибоцький
Глибока
Сторожинецький
Сторожинець
Чернівецький
Чернівці
Новодністровська
Новодністровська

кожному знімку, міжрічна різниця характеризуватиме одночасно зміну спектрального сигналу та зміну складу аналізованої території. Мета роботи — оцінити вплив фіксованої та змінної масок рослинності на динаміку середнього NDVI та визначити умови їх застосування для моніторингу територій, що зазнали воєнного впливу.

Досліджено ділянку площею 0,9576 км² біля мосту через річку Оскіл у Куп'янську. Використано восьмиканальні композиції PlanetScope Surface Reflectance [1] за 09.06.2022, 04.06.2023, 11.06.2024 та 09.06.2025 з розміром пікселя 3 м. Межі ділянки та растрова сітка однакові для всіх дат. Спільна маска якості містить 106 400 пікселів класу Clear за UDM2 [2], без прапорів непридатності та з додатними значеннями використаних каналів.

Початковий добір рослинності задано умовами NDVI > 0,3 і NDWI < 0. NDWI обчислено у формі Макфітерса за зеленим та ближнім інфрачервоним каналами [3]. Для фіксованої маски умови застосовано лише до знімка 2022 року; надалі простежено ті самі пікселі незалежно від зміни їхніх індексів. Для змінної маски добір повторено окремо на кожну дату. Поріг 0,3 є робочим параметром спектрального добору, а не підтвердженою межею класу рослинності.

У фіксованій масці площею 0,8797 км² середнє NDVI зросло з 0,6410 у 2022 році до 0,6650 у 2025 році, тобто на 0,0241. За змінної маски відповідні середні становлять 0,6410 і 0,6538, а приріст — 0,0128. Обидва способи відображають вищі значення у 2023–2024 роках та їх зниження у 2025 році (рис. 1), проте дають різну величину зміни між крайніми датами.

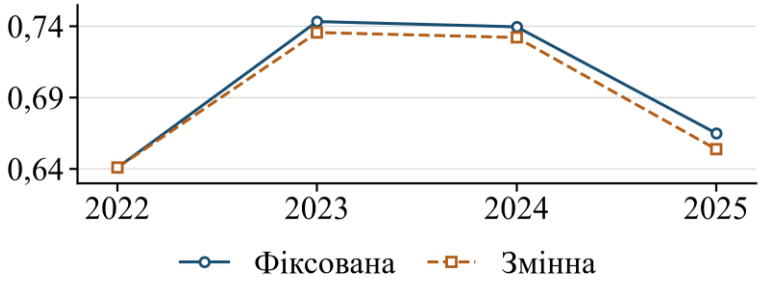


Рис. 1. Середнє NDVI за двох способів добору

Розбіжність пояснюється складом добору. Площа змінної маски між 2022 і 2025 роками збільшилася з 0,8797 до 0,9156 км². До неї увійшли 4 153 нові пікселі із середнім NDVI 0,3742 у 2025 році, а 168 початкових пікселів вибули. Нові пікселі з нижчим сигналом

зменшують середнє поточного добору. Різниця двох оцінок приросту становить близько 0,011 одиниці NDVI і зумовлена зміною маски.

Перевірка порогів початкового NDVI 0,2; 0,4 та 0,5 за незмінної умови NDWI < 0 дала для фіксованих масок зміни середнього відповідно +0,0274; +0,0139 та −0,0035. Отже, навіть знак невеликої підсумкової різниці залежить від початкового добору. У базовій фіксованій масці NDVI знизився на 42,2 % площі, попри зростання середнього. Ця частка описує від'ємні спектральні різниці без порогу їх значущості та не є оцінкою площі пошкодженої рослинності.

Чотири червневі знімки не відокремлюють вплив погоди, фенології та воєнних подій. Добір за початковим NDVI також залежить від умов першого знімка; 2022 рік не є довоєнним еталоном. Отримані результати характеризують чутливість способу узагальнення даних і не встановлюють причини змін.

Таким чином, фіксована маска придатна для простежування початково виділених ділянок, а змінна — для опису покриву, який відповідає заданим спектральним умовам на поточну дату. Для моніторингу доцільно подавати середнє NDVI разом із площею добору, явно зазначати спосіб формування маски та перевіряти чутливість до порогу. Це уточнює зміст показників перед їх включенням до інтегральної оцінки екологічного стану.

Список використаних джерел

1. Planet Labs PBC. PlanetScope. URL: https://docs.planet.com/data/imagery/planetscope/ (09.10.2026).
2. Planet Labs PBC. Usable Data Mask. URL: https://docs.planet.com/data/imagery/udm/ (09.10.2026).
3. McFeeters S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. Int. J. Remote Sens. 1996. Vol. 17(7). P. 1425–1432. DOI: 10.1080/01431169608948714.

Еколого-геохімічні та гідрогеологічні наслідки воєнних дій у Харківській області.

Трофимчук О.М., [1] ***Удалов І.В.,*** [2]
Анпілова Є.С., [1,3] ***Яковлєв Є. О*** [1]
[1]*Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київ, Україна*
[2]*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна* [3]*Helmholtz-Centre for Environmental Research GmbH – UFZ, Leipzig, Germany,*
E-mail: yakovlevhydro@gmail.com, anpilova@ukr.net

Зони військових конфліктів України створюють складні умови для дослідницької діяльності, а саме у контексті оцінювання впливу війни на екологічні параметри функціонування навколишнього середовища [1,2]. Крім того, через непередбачуваний просторово-часовий хід та мінливу локацію бойових дій, неможливо зробити порівняльний аналіз стану НС «до та після мілітарного впливу».

Харківська область із 24 лютого 2022 року зазнає інтенсивного воєнного впливу, зокрема ракетних ударів по промислових об'єктах. Одним із прикладів є обстріл нафтопереробного заводу в м. Мерефа 26 травня 2023 року, внаслідок якого площа пожежі становила близько 15 000 м^2. Розташування р. Мжа за 1,5 км від підприємства (зона активного поверхневого і підземного водозбору) створює ризик міграції нафтопродуктів у поверхневі та підземні води, зокрема утворення вуглеводневих лінз, емульсій і порушення фільтраційних процесів за значного забруднення (від 80 % вуглеводнів). Повторні обстріли, зокрема 7 січня 2023 року, суттєво ускладнили польові дослідження та зумовлюють необхідність застосування ДЗЗ і ГІС-аналізу.

У травні 2022 року обстріл складу добрив у с. Довгеньке спричинив викид нітрату амонію, створивши ризики забруднення ґрунтів і водойм. Особливої уваги потребують Печенізьке, Оскільське водосховища та басейн р. Сіверський Донець, для оцінювання стану яких визначено потенційні пункти відбору проб води й ґрунтів. Серед можливих наслідків перевищення ГДК речовин I–II класів небезпеки у поверхневих і підземних водах.

За супутниковими даними (Рис.1) на сільськогосподарських угіддях поблизу с. Довгеньке щільність вирв від обстрілів сягає 500 на 1 км^2. Вибухи спричиняють забруднення ґрунтів токсичними елементами (Cu, Zn, Pb, Hg, Cd, As) із сумарним надходженням до десятків тонн/км^2, що створює ризики тривалого забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод.



Рис.1 Дані космічної зйомки сільськогосподарських угідь поблизу села Довгеньке Ізюмського району. (https://livingatlas.arcgis.com/wayback/)

Попри відносно високу захищеність підземних вод Харківської області порівняно із сусідніми регіонами (табл. 1), розрахунковий час проникнення забруднювальних речовин у перший від поверхні водоносний горизонт є незначним. Водночас повільний рух і водообмін підземних вод сприяють формуванню довготривалого забруднення водоносних горизонтів зони активного водообміну, які є важливим джерелом питного водопостачання.

Таблиця 1. Характеристика природної захищеності підземних вод від забруднення з поверхні (станом на 2012 рік).

Ообласть	Загальна площа, (10^3 км^2)	Структура захищеності ґрунтових вод (10^3 км^2)		
		Захищені	Умовно захищені	Незахищені
Дніпропетровська	31,90	15,98	10,30	5,61
Донецька	26,50	3,12	1,69	21,67
Луганська	26,70	0,90	7,42	18,36
Полтавська	28,80	27,44	0,23	1,12
Сумська	23,80	9,21	2,92	11,66

Харківська	31,40	23,29	3,61	4,49

Відповідно до розрахункової залежності [3], час досягнення забруднення з поверхні першого рівня ґрунтових вод при постійній швидкості інфільтраційного потоку забрудненої води Q в межах площі ділянки F

$$t = \frac{M_{\text{aer}}\,\mu}{\left[\left(\frac{Q}{F}\right)^2 K_{\text{aer}}\right]^{1/3}} \qquad (1)$$

де M*aer*-товщина породи в зоні аерації (ненасиченої фільтрації), м; в низинах вона становить в середньому 2,0 м.;

μ недостатня водонасиченість гірських порід в зоні аерації (приблизно дорівнює пористості μ≈0,1);

K*aer*-коефіцієнт фільтрації гірських порід в зоні ненасиченої фільтрації, м/добу.

Розрахунки демонструють, що за інтенсивності інфільтрації талих вод 10^{-3} м/добу забруднювальні речовини можуть досягати першого водоносного горизонту протягом 100 днів, що свідчить про потенційну вразливість місцевих джерел питного водопостачання, зокрема колодязів і джерел за умови масованих (щильність до десятків – сотен вибухів/км^2) артилерійсько-ракетних обстрілів з наступним руйнуванням зони аерації та зменшенням її захисної здатності.

Список використаних джерел

Трофимчук, О. М., Яковлєв, Є. О., Охарєв, В. О. (2026). Моделювання й оцінка впливу вибухового руйнування Каховського гідровузла на інженерно-геотехнічну безпеку комплексу Запорізької АЕС. Мінеральні ресурси України, (3), 47–51. https://doi.org/10.31996/mru.2026.3.47-51

Yakovliev, Y., Rogozhin, O., Stefanyshyn, D., Kreta, D., Anpilova, Y., Myrontsov, M. (2024). Environmental and Geological Hazards After the Explosion of the Kakhovka Hydroelectric Power Plant and Rehabilitation Options. Studies in Systems, Decision and Control, vol 552. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-67091-6_25

Fomin V. M. (1978) Otsenka izmeneniy gidrogeologicheskikh usloviy pod vliyaniem proizvodstvennoy deyatelnosti (Assessment of changes in hydrogeological conditions under the influence of industrial activity). Nedra, M.

Застосування геоінформаційних технологій для моніторингу змін ландшафту Харківської області внаслідок військових дій

Баликін Д. Ю., Гребень О. С.
(Національний аерокосмічний університет «ХАІ», e-mail: a.greben@khai.edu)

Повномасштабні військові дії на території України спричинили масштабні зміни природних та антропогенних ландшафтів, що проявляються у руйнуванні ґрунтового покриву, пошкодженні лісових екосистем, виникненні пожеж, трансформації сільськогосподарських угідь і порушенні функціонування природних територій. Особливо гостро ці процеси проявляються у Харківській області, яка зазнала значного впливу бойових дій. Оцінювання їхніх наслідків ускладнюється обмеженим доступом до окремих територій, небезпекою проведення польових досліджень та необхідністю регулярного оновлення інформації про стан довкілля.

За таких умов важливого значення набуває застосування геоінформаційних технологій (ГІС) і методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), які дають змогу здійснювати просторовий аналіз, виявляти зміни земного покриву та формувати картографічні матеріали для оцінювання екологічних наслідків військових дій. Поєднання супутникових даних, геопросторових баз даних і методів просторового аналізу створює основу для комплексного моніторингу ландшафтів та визначення територій, що потребують першочергового відновлення.

Метою роботи є обґрунтування підходів до застосування геоінформаційних технологій для виявлення, картографування та оцінювання просторово-часових змін ландшафту Харківської області внаслідок військових дій.

Методичною основою дослідження є порівняльний аналіз різночасових супутникових знімків, інтеграція геопросторових даних та використання інструментів ГІС для визначення характеру й масштабів трансформації земного покриву. Як вихідні матеріали доцільно використовувати супутникові знімки Sentinel-2, архівні дані високої просторової розрізненості, цифрові моделі рельєфу, карти земного покриву, адміністративні межі та відкриті дані про зафіксовані наслідки бойових дій. Для порівняльного аналізу необхідно сформувати часові зрізи, що охоплюють довоєнний період, активну фазу бойових дій та наступний період, у якому простежуються наслідки пошкоджень і можливе відновлення екосистем.

Оброблення даних передбачає їх просторове узгодження, відбір знімків із мінімальною хмарністю, маскування хмар і тіней, а також формування тематичних шарів у єдиній системі координат. Для дослідження рослинного покриву доцільно застосовувати нормалізований різницевий вегетаційний індекс NDVI.

Порівняння значень NDVI за різні періоди дає змогу виявляти ділянки зі зниженням активності рослинності, визначати просторове поширення порушень і відстежувати подальшу динаміку рослинного покриву. Водночас зміни індексу необхідно інтерпретувати з урахуванням сезонності, типу землекористування, погодних умов та особливостей сільськогосподарського циклу, оскільки зниження NDVI не є однозначним доказом пошкодження внаслідок бойових дій.

Окремим напрямом є оцінювання порушень ґрунтового покриву та трансформації землекористування. За допомогою візуального дешифрування супутникових знімків високої розрізненості й інструментів просторового аналізу можна ідентифікувати вирви від вибухів, траншеї, фортифікаційні споруди, сліди руху військової техніки, вигорілі ділянки та зміни конфігурації сільськогосподарських полів. Зіставлення цих об'єктів із картами земного покриву дає можливість визначити типи ландшафтів, що зазнали впливу, та оцінити площі порушених територій.

Для виявлення змін доцільно застосовувати методи класифікації земного покриву, порівняння тематичних карт за різні роки, аналіз різниць спектральних індексів і багатошаровий просторовий аналіз. Оброблення даних може здійснюватися у програмних середовищах QGIS або ArcGIS Pro, а використання хмарних платформ дистанційного зондування дає змогу автоматизувати оброблення великих масивів супутникових знімків і забезпечити регулярне оновлення результатів моніторингу.

Важливим етапом є створення геоінформаційної бази даних, у якій зберігатимуться відомості про тип порушення, його просторове положення, орієнтовну площу, дату виявлення, тип земного покриву та результати порівняння різночасових знімків. Така база дасть змогу формувати тематичні карти, визначати просторові закономірності пошкоджень і здійснювати порівняння між територіальними громадами. За наявності достовірних додаткових даних результати дистанційного аналізу можуть уточнюватися за матеріалами польових обстежень, лабораторних досліджень ґрунтів та офіційної екологічної звітності.

Опубліковані дослідження підтверджують доцільність такого підходу. Зокрема, наукові роботи щодо Харківської області

демонструють можливості використання супутникових знімків для оцінювання деградації земного покриву, змін сільськогосподарських угідь і пошкодження ґрунтів унаслідок бойових дій [1]. Це створює наукове підґрунтя для подальшого розвитку комплексної регіональної системи геоінформаційного моніторингу.

Застосування геоінформаційних технологій та дистанційного зондування Землі є ефективним інструментом дослідження просторово-часових змін ландшафту Харківської області внаслідок військових дій [2]. Комплексне використання різночасових супутникових знімків, спектральних індексів, тематичних карт і просторових баз даних дає змогу виявляти порушення рослинного покриву, ґрунтів і землекористування, оцінювати їх територіальне поширення та відстежувати динаміку змін. Практичним результатом реалізації запропонованого підходу може стати створення актуалізованої геоінформаційної бази даних і серії тематичних карт пошкоджених ландшафтів, які можуть використовуватися для екологічного моніторингу, визначення пріоритетів відновлення територій та підтримки управлінських рішень у сфері охорони довкілля. Застосування геопросторового аналізу також дає змогу оцінювати вплив військових дій на сільськогосподарські угіддя та простежувати зміни їх використання в часі [3].

Список використаних джерел:

1. Lytvynenko N., Kurach T., Pidlisecka I., Korenets O. Degradation of Land Cover in the De-Occupied Territories of Ukraine. *Challenges to National Defence in Contemporary Geopolitical Situation*, 2024. DOI: 10.3849/cndcgs.2024.367.

2. War-induced soil disturbances in north-eastern Ukraine (Kharkiv region): *Physical disturbances, soil contamination and land use change. Science of the Total Environment*, 2025, Vol. 964, Article 178594. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2025.178594.

3. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Kharkiv Oblast's changing landscape: *A geospatial study of agricultural impact*, 2021–2024. 2025.

Концептуальна модель генеративної адаптації розподілу даних для автоматизованого виявлення пошкоджень ґрунтового покриву за даними ДЗЗ

Бектімиров А.М, Охарєв В.О.

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

Бойові дії на території України спричинили масштабне ураження ґрунтового покриву внаслідок утворення мільйонів артилерійських та

авіаційних вирв [1]. Через мінну небезпеку наземне обстеження угідь обмежене, тому супутникові знімки дистанційного зондування Землі надвисокої розрізненості є основним джерелом даних моніторингу [1–2]. Проте автоматизоване виявлення вирв ускладнюється дефіцитом розмічених вибірок і явищем зсуву розподілу даних [2]: відкриті набори, зокрема еталонний бенчмарк CHAI [3], створені на історичній чорно-білій аерофотозйомці інших кліматичних зон, тому навчені на них моделі на знімках українських чорноземів дають численні хибні спрацьовування на борознах оранки, коліях техніки й тінях лісосмуг [1–2]. Водночас навчання генератора лише на малій вибірці призводить до одноманітності вирв, а випадковий вибір сучасних полів для фону несе ризик появи на них реальних нерозмічених пошкоджень.

Мета роботи – розробити концептуальну модель генеративної адаптації розподілу даних типу «симуляція – реальність», яка синтезує реалістичні навчальні вибірки вирв на українських агроландшафтах без масової ручної розмітки, зберігаючи точні координати пошкоджень і чистоту фонових знімків.

Підхід поєднує три джерела даних: обмежувальні рамки реальних вирв із набору CHAI [3], що передають природну форму й кучність прильотів; нерозмічений масив сучасних супутникових знімків українських полів для вивчення текстур ґрунту; архівні довоєнні знімки до лютого 2022 року тих самих аграрних зон, де гарантовано відсутні воєнні вирви, але наявні типові польові завади. Із кожної рамки програмно будується двозонна маска: внутрішній еліпс чаші вирви M_{core}, що слугує точною розміткою для детектора, та автоматично розширене зі згладженими краями буферне кільце M_{ejecta} – вільна зона для домальовування розльоту викинутого ґрунту, які разом утворюють маску M_{blend}.

Щоб дифузійна модель вивчила вигляд чорноземів, стерні та викидів підґрунтя без ручної розмітки, на першому етапі її згорткові шари й механізми уваги донавчаються за допомогою кронекерівської декомпозиції LoKr [4] на нерозміченому масиві знімків: $W = W_0 + \alpha \cdot [C \otimes (B \cdot A)]$, де W_0 – заморожені ваги базової моделі; $\otimes$ – добуток Кронекера; C, B, A – компактні матриці адаптера; α – коефіцієнт масштабування. На відміну від стандартної LoRA, добуток Кронекера перемножує ранги матриць і чітко відтворює зернисту мікротекстуру ріллі й країв малих вирв без розмиття за мінімальної кількості параметрів. На другому етапі ваги W заморожуються, що унеможливлює повторення однакових прикладів, і на малому опорному наборі калібрується просторовий адаптер керування [5], який навчає мережу розміщувати чашу вирви всередині контуру M_{core}.

Під час синтезу на кожному кроці зняття шуму t виконується покрокове латентне змішування за методом Blended Latent Diffusion [6]: $z_{t-1} = M_{\text{blend}} \odot z_{t-1}^{\text{gen}} + (1 - M_{\text{blend}}) \odot z_{t-1}^{\text{clean}}$, де z_{t-1}^{gen} і z_{t-1}^{clean} – латентні представлення згенерованої вирви та чистого довоєнного поля, $\odot$ – поелементне множення. Поза маскою кадр на 100 % залишається справжнім довоєнним знімком без сторонніх вирв, а в кільці M_{ejecta} викид породи плавно узгоджується з борознами та освітленням. Після генерації зразки, де контур вирви недостатньо збігається з маскою M_{core} за метрикою перекриття IoU, автоматично відсіюються, а відібраний масив подається для навчання моделей орієнтованого виявлення з обертовими рамками, зокрема архітектур класу YOLO-OBB.

Експериментальну перевірку моделі заплановано провести шляхом порівняння точності орієнтованої детекції у трьох режимах формування вибірки: під час прямого навчання на наборі CHAI без адаптації, із застосуванням стандартних аугментацій та за запропонованим генеративним методом на просторово відокремлених супутникових сценах уражених сільськогосподарських угідь України. Очікувані результати полягають в обґрунтуванні методу синтезу навчальних геопросторових даних за дефіциту розмітки та створенні практичної методики автоматизованого підрахунку кількості й площі пошкоджень ґрунтів.

Використані джерела:

1. Duncan E. C. et al. Detection and mapping of artillery craters with very high spatial resolution satellite imagery and deep learning. Science of Remote Sensing. 2023. Vol. 7. P. 100092. https://doi.org/10.1016/j.srs.2023.100092

2. Sumyk M., Kosovan O., Voitsitska I. Synthetic Data Augmentation for Satellite-Based Analysis of Battle-Damaged Agricultural Fields in Ukraine. arXiv:2608.16380. 2026. https://arxiv.org/abs/2608.16380

3. Burges M., Zambanini S., Pirker P. CHAI: Craters in Historical Aerial Images. Proceedings of the IEEE/CVF WACV. 2024. P. 8241–8250. https://ieeexplore.ieee.org/document/10483279

4. Yeh S.-Y. et al. Navigating Text-To-Image Customization: From LyCORIS Fine-Tuning to Model Evaluation. Proceedings of ICLR. 2024. https://openreview.net/forum?id=r6jBUnG3OM

5. Zhang L., Rao A., Agrawala M. Adding Conditional Control to Text-to-Image Diffusion Models. Proceedings of the IEEE/CVF ICCV. 2023. P. 3813–3824. https://doi.org/10.1109/ICCV51070.2023.00355

6. Avrahami O., Fried O., Lischinski D. Blended Latent Diffusion. ACM Transactions on Graphics. 2023. Vol. 42, No. 4. Art. 149. P. 1–11. https://doi.org/10.1145/3592450

Scientific and methodological approaches to spatiotemporal modeling of irreversible ecosystem transformations in Southern Ukraine using GeoAI methods

Butenko O., Horelik S.
Національний аерокосмічний університет «ХАІ», s.horelik@khai.edu)

The catastrophic destruction of the Kakhovka Hydroelectric Power Plant dam in June 2023 triggered one of the largest ecological and man-made crises in 21st-century Europe. Beyond immediate flooding, a sudden disruption of the hydrological balance ensued, leading to rapid reservoir desiccation, declining groundwater tables, and the onset of desertification across adjacent agricultural lands. Assessing such large-scale and prolonged processes through conventional field methods is unfeasible due to the extensive affected area and severe landmine hazards. Consequently, the application of Geospatial Artificial Intelligence (GeoAI) within geographic information systems, combined with cloud-based processing of Earth observation big data, represents the most effective monitoring tool.

The aim of this study is to substantiate a conceptual geoinformation model and methodology for predictive spatial analysis of irreversible vegetation cover and hydrological regime transformations in Southern Ukraine.

To implement the model, the Google Earth Engine cloud platform is proposed. The primary data sources will include Sentinel-2 multispectral imagery (processing level L2A) and Sentinel-1 synthetic aperture radar data (SAR GRD). The analysis will be based on time-series construction of key spatial indices: NDWI (Normalized Difference Water Index) for tracking surface water degradation; NDVI and EVI for assessing vegetation succession on the exposed reservoir bed; and BSI (Bare Soil Index) for identifying desertification zones. As the core algorithmic framework of the GeoAI model, the Random Forest algorithm is suitable for land cover classification, while a recurrent neural network architecture is designated for time-series trend forecasting.

The expected theoretical and applied findings will comprehensively reveal the scale of spatial transformations. Deploying GeoAI algorithms will enable automated delineation of active revegetation zones and eroded wasteland on the exposed reservoir floor, distinguishing seasonal vegetation fluctuations from irreversible ecosystem state shifts. Simultaneously, time-series analysis of moisture indices and thermal anomalies derived from Landsat 8/9 data will allow for tracking the hydrological degradation of

agricultural soils resulting from the loss of irrigation systems. The resulting fundamental datasets will establish a scientific foundation for the prospective development of practical decision-support tools, including GIS dashboards and vector risk maps. In the long term, this will facilitate the classification of territories according to the degree of change irreversibility, providing rational justification for selecting between engineering remediation and nature-based solutions.

Utilizing GeoAI methods for multimodal Earth observation data analysis represents a promising avenue for creating a holistic spatiotemporal model of ecological transformation in Southern Ukraine. Establishing an automated workflow to recognize patterns of soil degradation and plant succession aims to demonstrate that returning these ecosystems to their pre-June 2023 baseline is unachievable. The proposed conceptual framework will serve as a foundational basis for managerial decision-making regarding regional revitalization during post-war recovery, where spatial planning must adapt to emerging climatic and hydrological realities.

References:

Shumilova O., Tockner K., Sukhodolov A., et al. The Kakhovka Dam disaster: ecological impact and consequences for the Black Sea. Nature Ecology & Evolution. 2023. Vol. 7. P. 1342–1344. DOI: 10.1038/s41559-023-02196-5.

Amani M. et al. Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2020. Vol. 13. P. 5326–5350. DOI: 10.1109/JSTARS.2020.3021052.

Kussul N., Lavreniuk M., Skakun S., Shelestov A. Deep Learning Classification of Agricultural Space Time Series. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 2017. Vol. 14, No. 5. P. 778-782.

Modern GIS and their advanced components as a tool for ensuring territorial resilience and recovery

Horelik S.

Національний аерокосмічний університет «ХАІ», s.horelik@khai.edu)

Given the contemporary challenges associated with large-scale infrastructure destruction, as well as economic and environmental crises, the concept of ensuring territorial resilience and rapid recovery has become critical. Effective spatial planning for reconstruction is impossible without accurate, up-to-date, and comprehensive spatial data. Modern geographic information systems (GIS) have evolved from simple cartographic visualization tools into complex analytical ecosystems. This paper aims to analyze the advanced components of modern GIS and their potential in solving post-crisis territorial recovery tasks.

The architecture of modern GIS relies on integration with cross-cutting technologies, which radically expands the capabilities for collecting and processing spatial information:

Geospatial Artificial Intelligence (GeoAI);

cloud technologies (Web-GIS) and mobile components;

integration with UAVs and Internet of Things (IoT) sensors;

Digital Twins.

To better understand the evolution of geoinformation tools in the context of recovery tasks, Table 1 provides a comparative analysis of traditional and modern GIS.

Table 1. Comparative analysis of traditional and modern GIS in the context of territorial recovery tasks

Comparison criterion	Traditional GIS	Modern GIS
Data collection and analytics	Periodic manual collection, slow updating; descriptive analytics and manual image interpretation.	Continuous monitoring (UAVs, IoT); predictive analytics and automated data processing using GeoAI.
Coordination and response	Local databases, departmental isolation; crisis response time measured in days or weeks.	Cloud ecosystems (Web/Mobile), shared stakeholder access; instant response based on online dashboards.
Reconstruction modeling	Static planning based on flat two-dimensional (2D) maps and blueprints.	Dynamic spatial modeling, development of 3D/4D Digital Twins of cities.

The implementation of these innovative components transforms approaches to solving applied tasks, comprehensively optimizing key reconstruction processes. In particular, GeoAI algorithms automate the rapid assessment of infrastructure damage using satellite imagery, while cloud ecosystems combined with UAVs accelerate humanitarian demining. At the same time, real-time spatial analytics enables the establishment of safe logistics routes in areas with destroyed infrastructure and allows for continuous environmental monitoring of affected landscapes to plan their subsequent revitalization.

Modern geographic information systems serve not merely as visualization tools, but as a fundamental operating platform for managing sustainable development and reconstruction processes. The transition from traditional desktop solutions to AI-supported cloud platforms (GeoAI) and

the implementation of the digital twin concept provide unprecedented speed, accuracy, and transparency in managerial decision-making. The widespread adoption of these technologies at the level of municipalities and government agencies is a prerequisite for the successful implementation of the "Build Back Better" concept and the formation of resilient ecosystems in the future.

Reference

Janowicz, K., Gao, S., McKenzie, G., Hu, Y., & Bhaduri, B. (2020). GeoAI: spatially explicit artificial intelligence techniques for geographic knowledge discovery and beyond. *International Journal of Geographical Information Science*, 34(4), 625-636.

Карпінський, Ю. О., Лященко, А. А., & Кінь, Д. О. (2022). Роль геоінформаційних систем у просторовому плануванні відновлення територій. *Містобудування та територіальне планування*, (79), 112-124.

Fosu, C., & Ahmed, Z. (2021). Digital Twins and Web-GIS for Smart City Resilience and Disaster Management. *Journal of Smart Cities and Society*, 2(1), 45-58.

Попов, О. О., & Іванов, С. В. (2023). Використання даних дистанційного зондування Землі та ГІС-технологій для оцінки екологічних наслідків військових дій. *Екологічна безпека та природокористування*, 1(45), 23-35.

Геоінформаційні методичні засади багатоджерельного дистанційного моніторингу стану лісових екосистем

Горелик С.І., Сич Р.С

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

Поєднання хмарних обчислень з локальною системою геоінформаційних технологій надає нові можливості для автоматизації процесу аналізу супутникових даних. Перспективним напрямком підходу є створення єдиного робочого простору орієнтованих на інтеграцію різнорідних даних з подальшим аналізом методами машинного навчання.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю моніторингу лісів України в умовах воєнного стану, мінної небезпеки та неможливого доступу до лісів для проведення польових робіт. За таких обставин використання даних ДЗЗ дає можливість проведення оцінювання стану лісових екосистем.

Мета роботи полягає у обґрунтуванні структури багатоджерельного методу моніторингу лісів на основі інтеграції даних ДЗЗ із використанням геоінформаційних технологій.

Об`ктом дослідження є лісові екосистеми, їх моніторинг. Предметом дослідження є методи інтеграції різнорідних даних ДЗЗ, їх обробки та аналізу у середовищах QGIS та Google Earth Engine із застосуванням машинного навчання.

Поєднання QGIS та Google Earth Engine (GEE) дає можливість поєднання можливості хмарної обробки супутникових даних із інструментами для локального геопросторового аналізу, роботи з векторними та растровими даними та картографічного представлення і підготовки результатів. Інтеграція через Google Earth Engine API забезпечує єдиний робочій простір у якому поєднується хмарна обробка супутникових даних з гнучкістю локальної ГІС.

Однією з проблем комплексного моніторингу є фрагментація геоданих, яка зумовлена відмінністю форматів, просторовій роздільній здатності та характеристик. Задля подолання розроблено метод, що передбачає поєднання оптичних даних Sentinel-2, що характеризують спектральні властивості, радіолокаційні дані Sentinel-1, придатні для спостереження за умов хмарності та лідарні дані GEDI відображають вертикальну структуру лісу.

Запропонований метод передбачає попередню обробку даних, розрахування спектральних індексів (NDVI, EVI, NBR). Дані SAR компенсують задимленість та хмарність, забезпечуючи оцінку вологості. Лідарні дані надають тривимірний профіль із параметрами висоти та щільності дерев. Для класифікації, формування інформаційних ознак та їх подальшого аналізу використовується алгоритми машинного навчання Random Forest. Обробка супутникових даних виконується в Google Earth Engine, тоді як QGIS використовується для аналізу та підготовки результатів.

Таким чином інтеграція різнорідних супутникових даних QGIS та GEE формує основу для методу комплексного моніторингу лісових екосистем. Поєднання оптичних, радіолокаційних та лідарних даних із використанням алгоритмів машинного навчання робить можливим використання взаємодоповнюваної інформації про характеристики лісу для аналізу змін в умовах обмеженого доступу.

Перелік літератури:

Yizhe Li, Xinqing Xiao (2025). Deep Learning-Based Fusion of Optical, Radar, and LiDAR Data for Advancing Land Monitoring. DOI: 10.3390/s25164991

QGIS Earth Engine Plugin. Електронний ресурс: https://github.com/gee-community/qgis-earthengine-plugin

Dubayah R., Hofton M., Blair J., Armston J., Tang H., Luthcke S. GEDI L2A Elevation and Height Metrics Data Global Footprint Level V002. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2021. DOI: 10.5067/GEDI/GEDI02_A.002

Pontus Olofsson, Giles M. Foody, Martin Herold, Stephen V. Stehman, Curtis E. Woodcock, Michael A. Wulder. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. DOI: 10.1016/j.rse.2014.02.015

Analysis of financial risks interaction using copulas

[1]Trofymchuk O.M., [2]Huskova V.H., [2]Tymoshchuk O.L., [2]Bidyuk P.I.
([1]Institute of telecommunications and global information space, [2]National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", E - mail:guskovavera2009@gmail.com)

Modern financial systems are characterized by uncertainty and complex interactions between market, credit, operational and currency risks [1], the accurate modeling of which is essential for effective risk management. Traditional correlation-based approaches often fail to capture nonlinear and asymmetric dependencies, particularly in the tails. Financial data typically exhibit heavy tails, asymmetry and sophisticated structural dependences, which restrict classical statistical models and direct researchers to more flexible methods of multivariate modeling. One such approach is copula theory, which models the marginal distributions separately from the dependency structure between them [2]. This yields more adequate models of financial risk interaction and improves forecasting quality in risk management. The report therefore proposes a copula-based approach to modeling financial risk interactions.

Financial analysis problems often require taking into account the dependency between several random variables that describe different types of risk [3]. Such variables may follow different distributions and interact nonlinearly, so it is convenient to use multivariate probabilistic models capable of describing complicated dependency structures. Copula theory provides a convenient toolkit for constructing such multivariate risk models. By Sklar's theorem, any multivariate distribution can be represented as a combination of the marginal distributions of the individual variables and a copula function describing the dependency structure between them, which substantially simplifies the modeling problem.

Various copula families can be used to describe dependency between financial risks (Fig. 1). The most widely applied in practice are elliptical copulas — Gaussian and Student-t — and Archimedean ones such as Gumbel, Clayton and Frank. Each family captures a different type of dependency: the Student-t copula, for instance, describes tail dependences between risks, which is essential for estimating the probabilities of extreme financial losses.

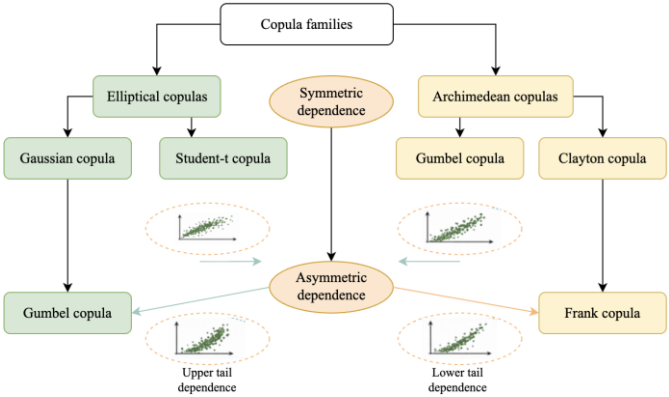


Fig. 1. Some copula families

Constructing copula-based models involves several stages (Fig. 2). At the first stage, marginal distributions are constructed for the individual risks; in financial applications heavy-tailed models are common, for example the Pareto distribution, which suits extreme values (outliers). At the second stage, the dependency structure between the variables is identified using the selected copula. Parameters can be estimated by Maximum Likelihood (ML), Markov Chain Monte Carlo (MCMC) or another method suitable for nonlinear estimation: first the marginals, then the copula parameters describing the dependency.

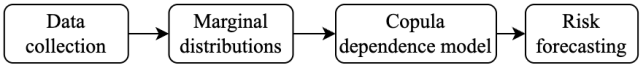


Fig. 2. The stages of model constructing describing interaction of financial risks using copula functions

The approach described allows the construction of multivariate models that account for nonlinear dependences between financial risks. Such models can be employed for analysing interactions between the risks of a financial instrument portfolio, forecasting possible losses and supporting decisions in risk management. Moreover, integrating copula models into decision support systems (DSS) opens the way to intelligent DSS focused on the analysis of financial data.

The report proposed an approach to modeling and forecasting interactions between financial risks based on copula functions, which separate the marginal distributions from the dependence structure and thus provide a flexible framework for multivariate probabilistic models. The methodology combines heavy-tailed marginals with several copula families — Gaussian, Student-t and Archimedean — and suitable estimation procedures such as ML or MCMC. Computational experiments demonstrate

that copula-based models represent nonlinear and tail dependencies between risks more adequately.

References

Bidyuk P., Tymoshchuk O., Huskova V. Analysis of Non-Stationary and Nonlinear Processes in Economy and Finance. – Kyiv: NTUU "Igor Sikorsky KPI", 2025, 420 p.

Nelsen R. An Introduction to Copulas. – New York: Springer, 2006, 270 p.

Denuit M., Dhaene J., Goovaerts M., Kaas R. Actuarial Theory for Dependent Risks. – Chichester: John Wiley & Sons, 2005, 440 p.

Геоінформаційна технологія просторово-часового аналізу спектральних ознак Дунайських шлейфів

Трофимчук О.М. [1]***, Сломчинська Н.В.*** [1]***,Клочко Т.О*** [2]

[1] *Інститут телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАНУ*

[2]*Національний аерокосмічний університет «ХАІ»*

nataliaslomchyn@gmail.com

Дельта Дунаю та прилегла морська акваторія утворюють єдину динамічну систему, у якій річковий стік взаємодіє з морськими течіями, вітровим перемішуванням і хвилюванням. Завислі речовини визначають частину оптичної неоднорідності вод, впливають на прозорість і світловий режим та беруть участь у перенесенні сорбованих компонентів. Тому шлейф є одночасно об'єктом екологічного спостереження й природним індикатором просторової організації водообміну. Водночас видимий контур шлейфу не є незмінною межею окремої водної маси: він залежить від концентрації, властивостей частинок, освітлення та умов знімання.

У румунській частині дельти Дунаю функціонує Сулінський судноплавний канал, пов'язаний із відповідним рукавом Дунаю. Український глибоководний судновий хід «Дунай — Чорне море» проходить через систему природних рукавів із виходом через гирло Бистре та морський підхідний канал. Після початку повномасштабного вторгнення росії та блокади українських морських портів роль дунайських маршрутів у забезпеченні експорту й імпорту зросла. Розвиток альтернативної логістики включав пристосування портових потужностей та поліпшення організації руху Сулінським каналом. Європейська комісія повідомляє про координацію таких заходів у межах дунайського напряму «Шляхів солідарності» [1]. Для екологічного дослідження важливо розглядати не лише збільшення обсягів перевалки, а конкретні зміни кількості проходів суден, їхніх

характеристик, маршрутів і режимів днопоглиблення. Потенційна зміна каламутності має інший часовий масштаб, ніж річний вантажообіг: короткий епізод руху чи робіт може викликати локальну аномалію, яка не зберігається в річному середньому.

Контактні спостереження забезпечують вимірювання фізичних і хімічних характеристик у визначених створах. Однак між створами й експедиціями можуть залишатися непоміченими переміщення шлейфів, короткочасні зони ресуспензії та поширення аномалій у море. Дистанційне зондування доповнює таку мережу просторово розподіленими даними.

Матеріали щорічного дистанційного картографування показують мінливість конфігурації та просторової протяжності зон спектрально вираженої завісі. Їх методичний результат — можливість перейти від окремої сцени до зіставлення просторових структур між роками.

Короткоінтервальні дистанційні вимірювання характерних елементів демонструють можливість оцінювання позірного переміщення на прибережних і мористих ділянках. Переміщення інтерпретується як кінематика розпізнаваних оптичних структур, визначена швидкість переміщення може використовуватися при розрахунку переносу речовин.

Поверхневі води характеризуються неоднорідністю спектрального відгуку, що змінюється у просторі й часі під впливом природних процесів та господарської діяльності. Супутникові зображення дають змогу простежувати оптичні межі, шлейфи й інші просторові структури, проте без узгодженої процедури оброблення ці спостереження залишаються набором різночасових знімків. Наукова проблема полягає у перетворенні спектральних вимірювань на зіставні просторово-часові характеристики стану вод із контрольованою невизначеністю.

Для побудови технології запропоновано розглядати п’ять взаємопов’язаних рівнів. На спектральному рівні формується вектор ознак пікселя. На об’єктному — виділяються зв’язні просторові структури. На динамічному — встановлюються відповідності між структурами різних дат. На рівні узагальнення обчислюються сезонні, щорічні й багаторічні характеристики. На інтерпретаційному рівні результат зіставляється з фоном і зовнішніми чинниками.

Вектор ознак можна записати як $F(x,t) = [\rho_1,\ldots,\rho k, I_1,\ldots,Im, q]$, де ρ — спектральні відліки після належної корекції, I — похідні показники, q — характеристики якості. Похідні індекси не є обов’язковими: технологія може працювати з окремими спектральними каналами та об’єктною геометрією. Вибір ознак визначається фізичним змістом процесу, а не прагненням збільшити кількість розрахованих індексів.

Екологічний наслідок визначається не лише площею шлейфу. Важливі концентрація, тривалість впливу, гранулометрія, хімічний склад частинок та чутливість приймальної екосистеми. Геоінформаційний аналіз виділяє райони потенційного впливу, де потрібні відповідні вимірювання.

Література

European Commission. Solidarity Lanes: improving the Danube routes together. 17 May 2024. https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/solidarity-lanes-improving-danube-routes-together-2024-05-17_en.

Геоінформаційне картографічне моделювання змін в екосистемах унаслідок руйнування греблі Оскільського гідровузла

Кирилюк С.Ю., Азімов О.Т.

(ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України», E-mail: stanislav5002@gmail.com, azimov@casre.kiev.ua)

Руйнування критичної водної інфраструктури призводить до незворотних змін гідрологічного режиму, деградації ґрунтів та масштабного забруднення прилеглих територій токсичними речовинами. Тому дослідження наслідків пошкодження греблі Оскільського гідровузла є важливим для розуміння каскадних екологічних загроз.

Оскільське (Червонооскільське) водосховище – руслове водосховище на р. Оскіл, лівій притоці Сіверського Дінця, в межах Ізюмського та Куп'янського районів Харківської області. До повномасштабного російського вторгнення воно мало такі характеристики: площа водного дзеркала – 122,0 км^2, повний об'єм – 435,1 млн м^3, довжина – 84 км, максимальна ширина – 4,0 км, пересічна глибина – 3,8 м [1, с. 134].

Гідровузол зазнав руйнувань у два етапи: перші істотні пошкодження датуються 13 березня 2022 р., а підрив шлюзових конструкцій військами агресора відбувся з 12 по 30 вересня 2022 р. під час їхнього відступу з Харківської області. Наслідком стали неконтрольований скид води та осушення верхньої ділянки акваторії: за розрахунками Державної екологічної інспекції України водосховище втратило близько 76% води від повного обсягу [2]. Двоетапний характер руйнування зумовлює необхідність аналізу неперервних різночасових рядів супутникових даних замість пари знімків «до – після».

Мета дослідження – геоінформаційна оцінка екологічних наслідків порушення функціонування греблі Оскільського гідровузла

для розробки науково обґрунтованих просторових рекомендацій щодо екологічного відновлення постраждалих ландшафтів. Об'єкт дослідження – просторово-часові зміни гідрологічного режиму, земельного та ґрунтово-рослинного покриву в зоні впливу гідровузла, спричинені руйнуванням греблі в умовах воєнних дій; предмет – методи та технології геоінформаційного аналізу різночасових даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) і наборів національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД) для картографування цих змін із прив'язкою до облікових одиниць земельного кадастру.

Для цього необхідно вирішити такі завдання:

Сформувати базу геопросторових даних (багаточасові багатоспектральні та радарні космознімки; топографічні, кадастрові, ґрунтові й гідрологічні векторні набори НІГД);

Здійснити автоматизоване дешифрування меж затоплення та змін землекористування (класифікація даних ДЗЗ на основі машинного навчання, індекси NDWI, NDVI, MNDWI; оцінка точності за коефіцієнтом каппа; верифікація за продуктами Copernicus EMS);

Провести оцінку збитків ґрунтовому та рослинному покривам (площі деградованих земель; зони ймовірної акумуляції полютантів; прогноз ерозії ґрунту за RUSLE на Copernicus DEM GLO-30);

Виконати оцінку деформацій тіла греблі (часові ряди зміщень SBAS InSAR за стеками Sentinel-1 IW; за потреби – дані X-діапазону, ICEYE);

Створити геоінформаційну базу даних і серію тематичних карт; розробити рекомендації щодо пріоритетних заходів із рекультивації та екологічного відновлення земель громад району Оскільського гідровузла.

Наукова новизна дослідження полягає:

у розробці регіональної методики комплексної геоінформаційної оцінки каскадних екологічних наслідків руйнування гідротехнічних споруд за даними ДЗЗ;

у розробці підходів до спільного використання багаточасових оптичних даних ДЗЗ і радарної інтерферометрії;

у створенні просторової моделі поширення забруднювальних речовин і деградації гідрологічного режиму акваторії та прилеглих ландшафтів;

у побудові картографічних моделей мінного забруднення території та обмеженого наземного доступу до окремих ділянок;

у розробці рекомендацій щодо пріоритетних ділянок рекультивації та екологічного відновлення земель.

Результати дослідження можуть використовуватися

профільними міністерствами, військовими адміністраціями та органами місцевого самоврядування під час розробки планів просторового розвитку територіальних громад району Оскільського гідровузла у повоєнний час.

Список використаних джерел

Водний фонд України: Штучні водойми – водосховища і ставки: довідник; за ред. В.К. Хільчевського, В.В. Гребеня. Київ: Інтерпрес ЛТД, 2014. 164 с.

Інспекторами ДЕІ у Донецькій області розраховано збитки внаслідок обміління Оскільського водосховища. Київ: Державна екологічна інспекція України. https://don.dei.gov.ua/post/345

Класифікація земного покриву за супутниковими знімками Sentinel-2 на основі датасету EuroSAT

Лавренюк Є.М., Варчук І.В.

Вінницький національний технічний університет

E-mail: lavrenyuk0629@gmail.com, ivvarchuk@vntu.edu.ua

Супутникові дані Sentinel-2 забезпечують регулярне спостереження суходолу та містять 13 спектральних каналів, що робить їх придатними для картографування рослинності, водних об'єктів і забудови. EuroSAT є відкритим еталонним датасетом для класифікації землекористування на основі знімків Sentinel-2. Метою роботи було порівняти класичний алгоритм машинного навчання та згорткову нейронну мережу на єдиному RGB-розбитті даних, оцінити якість класифікації за кількома метриками та визначити класи, які найчастіше плутаються.

Дослідження виконано на RGB-версії EuroSAT, що містить 27 000 зображень розміром 64×64 пікселі та десять класів земного покриву: AnnualCrop, Forest, HerbaceousVegetation, Highway, Industrial, Pasture, PermanentCrop, Residential, River і SeaLake. Усі файли мають формат JPEG, розмір 64×64 пікселі та три кольорові канали; пошкоджених файлів і дублікатів не виявлено. За фіксованого зерна 42 використано надане стратифіковане розбиття на 18 900 навчальних, 5400 валідаційних і 2700 тестових прикладів. Перетинів між підмножинами не виявлено.

Для Random Forest зображення масштабували до 32×32 пікселів, після чого для кожного RGB-каналу обчислювали середнє значення, стандартне відхилення, три квартилі та гістограму з восьми інтервалів. Отримано 39 ознак на зображення. Модель містила 160 дерев і навчалася з параметром random_state=42. Згорткова нейронна мережа складалася з трьох блоків зі згортками, функцією активації ReLU,

pooling, глобальним усередненням, dropout 0,35 та вихідним шаром на десять класів. Навчання CNN виконано оптимізатором Adam упродовж трьох епох із вибором найкращого стану за точністю на валідаційній вибірці. Усі підсумкові метрики розраховано на тестовій вибірці.

Табл. 1. Результати класифікації на тестовій вибірці

Модель	Accuracy	Precision	Recall	Macro F1
Random Forest	0.8026	0.7955	0.7970	0.7940
Compact CNN	0.5459	0.5493	0.5425	0.5226

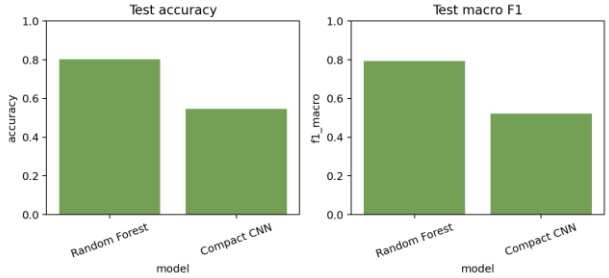


Рис. 1. Порівняння accuracy та macro F1 моделей

Random Forest отримав accuracy 0,8026, precision 0,7955, recall 0,7970 і macro F1 0,7940. Для компактної CNN відповідні значення становили 0,5459, 0,5493, 0,5425 і 0,5226. Отже, за accuracy Random Forest перевищив CNN на 0,2567, а за macro F1 — на 0,2714. Найкраще Random Forest розпізнавав класи Forest, Industrial і SeaLake: recall для них становив відповідно 0,973, 0,908 і 0,910. Найскладнішим виявився клас Highway з recall 0,480; імовірною причиною є подібність візуальних ознак доріг і прилеглих територій. Найнижчі результати також спостерігалися для PermanentCrop і HerbaceousVegetation.

Проведено відтворюваний RGB-експеримент на всіх зображеннях EuroSAT. На агрегованих кольорових ознаках Random Forest показав вищу якість, ніж компактна CNN після короткого навчання. Водночас ці результати не є доказом універсальної переваги Random Forest, оскільки CNN навчалася лише три епохи. Обмеженнями роботи є використання тільки RGB-каналів, відсутність просторово-часового аналізу та обмежена тривалість навчання нейронної мережі. Подальші дослідження доцільно спрямувати на коректне використання мультиспектральних каналів, довше навчання CNN або transfer learning і перевірку узагальнення моделей на незалежних територіях.

Список використаних джерел:

1. European Space Agency. Sentinel-2 Instrument [Електронний ресурс]. URL: https://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Instrument
2. Helber P., Bischke B., Dengel A., Borth D. EuroSAT: A Novel Dataset and Deep Learning Benchmark for Land Use and Land Cover Classification. arXiv:1709.00029, 2017. URL: https://arxiv.org/abs/1709.00029
3. EuroSAT dataset. Zenodo record 7711097 [Електронний ресурс]. URL: https://zenodo.org/records/7711097
4. scikit-learn documentation. RandomForestClassifier and classification metrics [Електронний ресурс]. URL: https://scikit-learn.org/stable/

Регіональна оцінка стану еколого-формуючих систем геологічного середовища України

Яковлєв Є.О.

(Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України, E-mail: conference.itgis@gmail.com)

Територія України відрізняється великим розмаїттям фізико-географічних умов і структурно-геологічної будови (більше 10 принципово відмінних структур),що обумовило як аномальний рівень використання її природних життєзабезпечуючих ресурсів (ПЖЗР-земельних, водних, мінерально-сировинних, біотичних), так і високу чутливість до впливу глобальних змін клімату (ГЗК- потепління, нерівномірність опадів, повеней і паводків) та руйнівних екологічних чинників російської агресії.

Таким чином, в сучасних умовах навколишнє природне середовище (НПС) України опинилось за умови небезпечного впливу:

1) успадкованого техногенезу, коли займаючи 3% території бувшого Союзу Україна формувала до 24% його ВВП з фактичним виснаженням ПЖР(24%:3%=8 разів);

2) ГЗК за умови 75% зарегульовання річкової мережі (52 тис. водосховищ і ставків) і більше 70% разораності і техногенного порушення геохімічних умов водозбірних ландшафтів;

3) формування белігеративних (збройно порушених) ландшафтів на 20% території з аномальним геохімічним забрудненням, активізацією ерозії і замулення річок, руйнуванням родючості і геомеханічної рівноваги та мікробіологічних параметрів ґрунтів.

Виконаний в ІТГІП, ІГН, ІГНС НАН України, КНУ ТШ, НУ ім. Каразіна (м. Харків), ІВПіМ НААН України підрозділах

ДержГеолСлужби, ДержВодАгенції, ДСНС і ін.(проф.Долін В.В., проф. Улицький О.А., проф. Удалов В.І., проф. Кошляков О.Є., д.т.н. Яцюк М.В., проф. Триснюк В.М., д.е.н. Рогожин О.Г. , проф. Чумаченко С.М. та ін) аналіз засвідчив, що на сучасному етапі прискорилась довгострокова небезпечна екологічна трансформація багатьох екопараметрів НПС України. При цьому до 80% еконаслідків успадкованого техногенезу, ГЗК та збройних дій акумулює ГС з одночасним зростанням небезпек ,загроз і ризиків БЖД практично у всіх регіонах України (чл.-кор. НАНУ Трофимчук О.М., ак .НАНУ Шехунова С.Б., д.т.н. Лебідь О.Г.,к.г.н. Охарєв В.О., проф. Улицький О.А., проф. Верховцев В.Г., та ін.).

У зв'язку з цим нами виконана оцінка складу еколого-формуючих систем геологічного середовища (ЕФС ГС) як головного "депо" комплексних змін екологічного стану НПС України і провідних довгострокових змін БЖД за умови воєнного стану і повоєнного відновлення (таблиця).

Приймаючи до уваги провідну роль ГС у формуванні регіональних засад БЖД у період повоєнного відновлення (розвиток захищеного від забруднення підземного питно-господарського водопостачання, еколого-техногенної реструктуризації гірничодобувних районів (ГДР), удосконалення екомоніторингу на базі технологій ДЗЗ, математичного моделювання, штучного інтелекту та ін.), уявляється доцільним виконання наступних першочергових заходів:

1) розробка та виконання Державної науково-технічної програми з аудиту екологічного стану ГС (геохімічні ландшафти, підземна гідросфера, ураженість небезпечними геологічними процесами, екореструктуризація ГДР, оцінка і прогноз довгострокових наслідків руйнування Каховського водосховища та ін.);

2) оцінка інформаційної повноти існуючої системи екомоніторингу ГС та її розвитку на 4-ох рівнях-ДЗЗ, приземний, наземний ,підземний;

3) наукове обгрунтування гранично припустимих змін екологічного стану ГС при формуванні небезпечних природно-техногенних геосистем (ПТГС) "складний техногенний комплекс-ГС";

ОСНОВНІ НЕБЕЗПЕЧНІ ЗМІНИ ЕКОЛОГО-ФОРМУЮЧИХ СИСТЕМ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА (ЕФС ГС) ТЕХНОГЕННО ЗМІНЕНИХ (НЕБЕЗПЕЧНИХ) ТЕРИТОРІЙ (ТЗНТ) УКРАЇНИ

№№ п/п	Основні ЕФС ГС	Сучасний екостан ЕФС ГС	Провідні фактори поточних техногенних та природних змін ЕФС ГС	Основні захисні та відновлю-вальні заходи	Орієнтовний час віднов-лення еко-стану,років	Примітки
1	Геохімічні ландшафти, грунти	Техногенез більше 70% (техногенне і збройне забруднення, фрагментація, гумусове виснаження)	Агротехнології, гірнича промисловість, полігони відходів. Глобальні зміни клімату,зарегульовання стоку, обезлісення	Зменшення викидів, відновлення річок ,лісів	$n \cdot 10^{1} \div n \cdot 10^{2}$, **вплив ЧАЕС**	
2	Материнські породи (підґрунтя)- до 70% території просадкові леси,лесові грунти Підстилаючі породні комплекси(леси, суглинки,піски,глини, крейда, вапняки)	Ураженість екзогенними геологічними процесами (до 70% території - зсуви,ерозія, карст,підтоплення, просадки і ін.)	Зарегульовання річкового стоку, підпір рівнів і погіршення стоку грунтових вод, активізація підтоплення земель,зсувів, ерозії, карсту, просідань поверхні та ін., обезлісення, розораність	Екологічна оптимізація кількості і екопараметрів водосховищ і ставків, відновлення водоохоронних зон, реабілітація збройно поруше-них ландшафтів, відновлення і розвиток 4-ох рівневого моніторингу ГС	$n \cdot 10^{1}$	
3	Підземна гідросфера	Регіональне забруднення грунтових вод,депресії рівнів напірних горизонтів (шахти, кар'єри, водозабори), техногенні горизонти зон підтоплення	Зменшення дренажного стоку у річкову мережу, витоки втрат з інже-нерних мереж (до 50%), некеруєме затоплення шахт і кар'єрів, зменшення використання підземних вод	Збільшення підземного водокористування, зменшення кількості поліго-нів відходів, водосховищ і ставків, технічний і інформаційний розвиток моніто-рингу підземної гідросфери	$n \cdot 10^{1}$	
4	Геофізичні поля (сейсмічні, радіа-ційні, електромаг-нітні, ,газогеохімічні)	Тріщино-зсуво-утворення та зменшення міцності пород-них масивів у підґрунті буді-вель,збільшення струшуваності ділянок підтоп-лення, розвиток зон електро-хімічної корозії підземних мереж	Природні і техногенні струшування і деформації породного масиву і підґрунтя будівель, гідро- геомеханічні деформації водонасичених зон, зростання порового тиску і пливуноутворення підтоплених просадкових лесових грунтів	Виключення перезволоження верхньої зони породних масивів та схилів, забудо-ви зон тектоніч-них порушень	$n \cdot 10^{1} \div n \cdot 10^{2}$, **вплив затоплення шахт і кар'єрів**	
5	Космогеологічні- **гравітаційні припливні сили:** спільна гравітація Місяця та Сонця за умови України може викликати внутрішнє тертя породних блоків гірських систем Карпат і Криму .	Періодичний прояв у гірських складчастих сис-темах Криму, Кар-пат,регіональних гірничо-добувних районах Донбасу, Кривбасу, нафто-газодобувних рай-онах , зонах підпорного впливу водосховищ р. Дніпро	Техногенне порушення рівноваги схилів (забудова, обезлісення та ін.), вплив аномальних опадів,зменшення інженерно-геологічної та геотехнічної стійкості прибережно-морських територій	Врахування при будівництві зон впливу тектонічних структур, ліне-аментних систем,очагів формування землетрусів	**Планетарні**	

4) екологічна оптимізація зарегульовання поверхневого стоку в межах річкових басейнів України з метою оптимізації дренажу грунтових вод, скорочення підтоплення земель та попередження активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів (зсуви, просадки, карст, ерозія і ін.);

5) наукове обгрунтування еколого-геологічної реабілітації розвинутих гірничо-добувних районів та формування систем пост-майнінгу небезпечних ПТГС "складний техногенний комплекс-ГС"

Системний підхід до аналізу воєнно-техногенних небезпек для водно-господарського водопостачання в південно-східному регіоні України

Яковлєв Є.О., Чумаченко С.М., Гончаренко І.О.

(Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України, e-mail: yakovlevhydro@gmail.com)

Питно-господарське водопостачання є ключовою складовою критичної інфраструктури, що визначає санітарно-епідемічне благополуччя та безпеку життєдіяльності населення. Внаслідок повномасштабної збройної агресії РФ проти України водогосподарські комплекси південно-східних областей (Дніпропетровська, Донецька, Запорізька, Херсонська, Миколаївська та Луганська) зазнали масштабного воєнно-техногенного впливу. Одночасне ураження гідротехнічних споруд, енергетичних мереж і транспортно-логістичних вузлів викликало каскадні кризові явища. Це потребує застосування системного підходу для оцінювання екологічних ризиків, моніторингу стану джерел водопостачання і розробки рішень з підвищення стійкості його критичної інфраструктури.

Системний аналіз цієї проблематики передбачає комплексну оцінку джерел загроз, шляхів їх розповсюдження та реципієнтів впливу. Воєнно-техногенні небезпеки класифікуються за такими основними групами:

Фізичне руйнування внаслідок обстрілів і бомбардувань – ураження водозаборів, насосних станцій, очисних споруд, магістральних водоводів і каналів (зокрема каналу «Сіверський Донець — Донбас»);

Енергетична залежність питно-господарського водопостачання – знеструмлення насосних агрегатів, зупинка технологічних процесів очищення і знезараження;

Гідрологічні та геоекологічні зміни – спрацювання та втрата водного резерву водосховищ, зміна режиму поверхневих та підземних вод, осушення й осідання ґрунтів;

Хімічне та мікробіологічне забруднення – потрапляння промстоків, нафтопродуктів, нечистот і хімікатів у водоносні горизонти та поверхневі водойми; ризик вторинного забруднення водопровідних мереж при падінні тиску.

Затоплення вугільних шахт Донбасу – некероване підтоплення створює загрозу виходу високомінералізованих і забруднених шахтних вод у річкову мережу та водоносні горизонти.

Каскадний характер загроз полягає у тому, що первинний воєнно-техногенний вплив (артилерійські чи ракетні удари) спричиняє пошкодження інфраструктури та знеструмлення. Це призводить до падіння тиску й дефіциту води, що у свою чергу породжує вторинні санітарно-епідемічні, медичні, соціальні та економічні наслідки. Яскравим прикладом системного водного шоку є катастрофа на Каховській ГЕС 6 червня 2023 р., яка сформувала два контури наслідків: затоплення й поширення забруднень нижче греблі та спрацювання водосховища й втрату водозаборів для понад 700 тис. – 1 млн мешканців вище греблі.

Для підтримки прийняття рішень застосовується комплексний метод оцінювання загроз виникнення надзвичайних ситуацій із використанням багатокритеріальних цільових функцій (адитивних та мультиплікативних) і методу аналізу ієрархій (МАІ). Інтегральний критерій загрози ($J_\Sigma(e)$) враховує:

Критерій джерела загрози (J_1, вага 0,44): чинники походження, впливу, типу та характеру загрози.

Критерій шляхів розповсюдження (J_2, вага 0,17): масштаб поширення, середовище, режим функціонування та рухливість.

Критерій реципієнтів впливу (J_3, вага 0,39): рівень, глибина й інтенсивність впливу на ландшафт, екосистеми та населення.

Для контролю масштабів змін застосовуються дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та геоінформаційні системи (ГІС).

Для забезпечення безперервності питно-господарського водопостачання в Південно-східному регіоні необхідна реалізація таких заходів:

Диверсифікація та децентралізація водопостачання – збільшення частки використання захищених від поверхневого забруднення підземних водоносних горизонтів, створення нових магістральних водогонів.

Енергетична автономність – оснащення насосних станцій і водоочисних споруд альтернативними та резервними джерелами живлення (генератори, СЕС).

Контроль шахтних вод – дослідження можливості їх очищення та водопідготовки (знезалізнення → пом'якшення → мембранне розділення → знезараження) для застосування як резервного ресурсу в умовах критичного дефіциту води.

Аварійна готовність і розбудова за принципом resilience: впровадження стандартних операційних процедур (SOP), створення мобільних лабораторій, формування аварійних бригад та модернізація мереж із виключенням одиночних точок відмови.

Висновки. Водна безпека Південно-східного регіону України є міжсекторальним завданням цивільного захисту, екологічної безпеки, енергетики та охорони здоров'я. Перехід від реактивного усунення аварій до системного управління ризиками на основі математичного моделювання, ДЗЗ-моніторингу та децентралізації інфраструктури дозволить забезпечити стійкість водопостачання в умовах воєнно-техногенних загроз та під час повоєнної відбудови.

Література

1. UNICEF. Situation Analysis of Children in Ukraine (2024).
2. OHCHR. Special Report on the Impact of the Armed Aggression on the Right to Drinking Water (2025).
3. UN Ukraine. Post-Disaster Needs Assessment Report: Kakhovka Dam Disaster (2023).
4. Yakovliev Ye., Chumachenko S. Assessment of ecological hazards in Donbas impacted by the armed conflict in eastern Ukraine. CEOBS (2020).

Вплив тектонічного чинника на формування ландшафтної структури осушеного ложа Каховського водосховища

Ліщенко Л.П.

ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України» E-mail: Lischenko.lp@gmail.com

Вже понад 3 роки після катастрофічного сходу води з Каховського водосховища на осушеному ложі та його бортах відбуваються швидкоплинні зміни і формується нова ландшафтна структура. Основними передумовами її формування є метеорологічна ситуація, гідродинамічний режим, успадковані та новоутворені форми рельєфу, потужність і розподіл донного осаду, ступінь заростання і формування нової біоти. Але всі вони також підпорядковані геологічній будові, геодинамічній складовій, новітній активізації екзогенних процесів.

Неоднорідність геоструктурних умов, літологічного складу порід, наявність регіональних і локальних розломів і структур, а також сучасний тектонічний (геодинамічний) режим вздовж простягання всього ложа Каховського водосховища впливає на стан берегів ложа водосховища, викликає формування нових форм рельєфу, визначає розподіл води та диференціацію структури ландшафтних комплексів на осушеному дні. Тому крім використання відомих геолого-тектонічних даних нами проведений морфоструктурний аналіз із застосуванням цифрової моделі місцевості та супутникових даних. Аналіз різночасових і різносезонних багатоспектральних супутникових даних та врахування розподілу поверхневої температури за тепловим каналом Landsat-8/9, дають можливість виділити ділянки з тенденцією до різної направленості ландшафтоутворення. Територія характеризуються певним флюідо- та масопереносом і обмежуються лінеаментами обумовленими глибинними тектонічними зонами (розломами), складом приповерхневих відкдадень, формами історичного рельєфу та гідродинамічними процесами, що формували долину Дніпра. Розмежувати дію геолого-тектонічного та гідродинамічного чинників у формуванні зовнішніх рис рельєфу та сучасного ландшафту (звичайно виключивши антропогенний вплив) доволі складно. Але існує велика група універсальних геоіндикаторів прояву тектонічних розломів та меж різноспрямованих геодинамічних блоків, які є загальними для більшості природних утворень та геоморфологічних рівнів. Лінеаменти, що зіставляються з глибинними розломами та розділяють ділянки різної сучасної активності фіксуються такими проявами: спрямлені і коліноподібні вигини ерозійних і флювіальних форм; різкі зміни напрямку простягання долини чи водотоку, аномальна будова долини ріки та деформації рівнів тераси; фуркація русла, зміна інтенсивності донної і бокової ерозії на окремих ділянках русла чи в схилах, зміна мозаїчності рисунку ландшафту тощо. Саме вони впливають на розподіл вологи, поширення рослинності, прогрівання поверхні завдяки відмінностях гідрогеологічних умов на окремих ділянках долини та проявляються у відмінностях ландшафтної структури та її дистанційного образу.

Територія осушеного ложа Каховського водосховища в геолого-тектонічному відношенні охоплює два крупних геоструктурних елементи: південний схил Українського кристалічного масиву та Південноукраїнська монокліналіь, що розмежовується субширотною системою розломів (Конкський) та літологічних контактів. Дерезуватівський та Малокатеринівський розломи частково підкреслюють Запорізький блок кристалічного щита і зіставляються із

закладанням долини Дніпра, що має такий же напрямок. На формування рельєфу та ландшафтів долинного комплексу та закладання русла впливають як локальні геодинамічні особливості (ділянки піднять і опускань) та усападкованість відомих структур (Базавлуцька та Томаківська депресія та Нікопольський припіднятий блок), так і гідродинамічні умови (меандрування в межах осадових порід Причорноморської моноклінали) на формування нижнього субмеридіонального відтинку осушеного ложа Дніпра, формуючи ділянки зносу, транзиту, акумуляції.

Нами проведено порівняння геолого-тектонічної будови і супутникового образу ландшафтної структури, що формується під її впливом. За супутниковими даними (Landsat-8/9) уточнено трасування відомих глибинних розломів, що відображаються на Тектонічній карті України (Д. Гурський,2007) і були отримані в результаті зведення детальних геолого-знімальних матеріалів. Додатково проведено дешифрування лінеаментних зон, що відображаються на поверхні тими чи іншими індикаційними ознаками і розділяють блоки різної направленості ландшафтоформуючих процесів. В результаті нами запропоновано схему розломно-блокової структури, що за комплексом ландшафтно-індикаційних ознак проявляється на поверхні окремими лінеаментами.

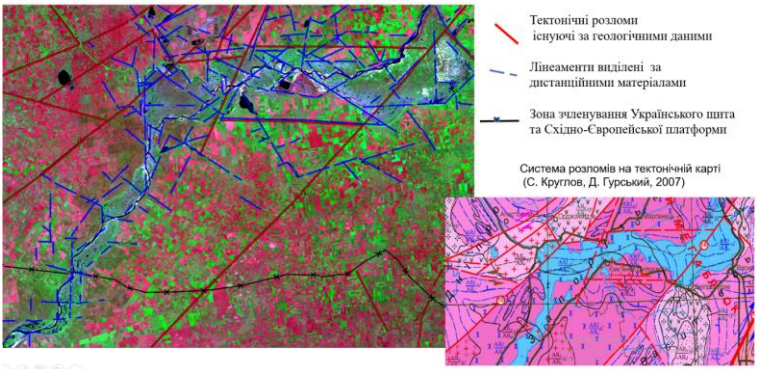


Рисунок. Розломно-блокова структура в межах території досліджень за даними Landsat-8/9.

Постпірогенне відновлення трав'яної рослинності Дворічанського національного природного парку за часовими рядами NDVI Sentinel-2 (2023-2026)

Мокрий В.І., Абрамян М.А.

(Національний університет «Львівська політехніка»,
E-mail: volodymyr.i.mokriy@lpnu.ua,
maksym.abramian.asp.2026@lpnu.ua)

У вересні 2023 року в Дворічанському національному природному парку та на прилеглих територіях за даними EFFIS зафіксовано 13 пожеж загальною площею близько 750 га, переважно 20-27 вересня [1]. За нечіткою класифікацією Мамдані [2] ознак Sentinel-2 (відхилення NDVI від довоєнної бази, сезонно скоригований dNBR, повторюваність горіння) до сильно порушених після цих пожеж віднесено 551 га, з яких 93 % припадає на трав'яну рослинність (клас grassland за ESA WorldCover 2021). Мета роботи: оцінити відновлення рослинності цих ділянок у 2024-2026 рр.

У Google Earth Engine [3] для 2017-2026 рр. побудовано медіанні композити NDVI Sentinel-2 L2A за вікно 28.09-20.10, як при визначенні пошкоджень 2023 р., з маскуванням хмар за SCL (5-14 сцен у роках оцінювання). Стан групи пікселів описано відносним індексом RI: відношення середнього NDVI групи у поточному році до її довоєнної бази (попіксельна медіана 2017-2021 рр.), поділене на таке саме відношення для еталона, непорушених трав'яних ділянок, що не горіли жодного року у 2022-2025 рр. RI = 1 означає стан еталона того ж року, тобто погодну складову виключено. Сильно порушені трав'яні ділянки розділено за кількістю років із вигоранням у 2022-2025 рр. (максимум помісячної аномалії dNBR відносно медіани 2017, 2020 і 2021 рр. понад 0,27).

У 2023 р. RI сильно порушених ділянок (табл. 1) становив 0,75, у 2024 і 2025 рр. 0,86, у 2026 р. 1,05. Де вигорання було одноразовим, дефіцит майже закрився вже у 2024 р. (0,91) і зник у 2025 р. (0,96). Де ділянки горіли 3-4 роки з чотирьох, RI лишався на рівні 0,82 у 2024 і 2025 рр. і лише у 2026 р. досяг 0,98. Водночас у вегетаційному вікні 01.05-30.06 RI усіх груп у 2024-2026 рр. перебував у межах 0,96-1,07, тобто після кожної пожежі відростання відбувалося повністю. У 2026 р. вигорання за тим самим критерієм зафіксовано на 28 % сильно порушених ділянок (станом на початок жовтня; в еталоні 4,5 %), проте в осінньому вікні дефіцит відсутній і на них (RI 1,07): зеленість відновилася ще до кінця сезону.

Таблиця 1. RI трав'яних ділянок парку у вікні 28.09-20.10

Група ділянок	Площа, га	2023	2024	2025	2026
Сильно порушені	512	0,75	0,86	0,86	1,05
горіли ≤ 1 року	108	0,61	0,91	0,96	1,11
горіли 2 роки	235	0,84	0,86	0,83	1,07
горіли 3-4 роки	169	0,69	0,82	0,82	0,98
Еталон	211	1,00	1,00	1,00	1,00

Отже, здатність трав'яної рослинності до відростання після пожеж збережена. Стійкість дефіциту пов'язана з повторюваністю горіння: ділянки, що горіли 3-4 роки з чотирьох, відновлювалися повільніше за ділянки з одноразовим вигоранням; строк та інтенсивність окремих пожеж тут не аналізувалися. Першочерговим заходом відновлення таких ділянок є запобігання повторним пожежам. NDVI характеризує зеленість, а не видовий склад, тому відновлення структури угруповань потребує польової верифікації.

Література

1. Залюбовська О., Залюбовський М., Сінна О. Природно-заповідний фонд Харківської області в умовах воєнних дій // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. 2023. Вип. 38. С. 7-16.
2. Mamdani E.H., Assilian S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller // International Journal of Man-Machine Studies. 1975. Vol. 7. P. 1-13.
3. Gorelick N., Hancher M., Dixon M. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone // Remote Sensing of Environment. 2017. Vol. 202. P. 18-27.

Геоінформаційна модель моніторингу Стебницького хвостосховища для захисту гідросфери

Мокрий В.І., Куліш Б.Т.

(Національний університет «Львівська політехніка», E-mail: Volodymyr.I.Mokriy@lpnu.ua, bohdan.kulish.mknem.2023@lpnu.ua)

Актуальність. Хвостосховище Стебницького ГХП «Полімінерал» – один із найнебезпечніших для гідросфери об'єктів Передкарпаття. У ньому накопичено близько 11,2 млн м^3 відходів, а рівень розсолу в секції № 2 наблизився до граничної позначки (303,38 м при допустимих 304 м) [1]. Прорив дамби у 1983 р. спричинив витік понад 5 млн т розсолів у басейн Дністра, а під час несанкціонованого скидання 2008 р. вміст сульфатів у воді перевищив норму у 25 разів, хлоридів – у 6 разів [1].

Надлишок опадів над випаровуванням (близько 1 млн м^3 на рік) постійно посилює загрозу переповнення [1].

Аналіз досліджень. Потребу в системі моніторингу стану хвостосховища обґрунтовано в [1], блокову модель такої системи запропоновано в [2], а питання її інформаційного забезпечення розглянуто в [3]. Водночас наявні спостереження епізодичні й не дають безперервної просторової картини: наприклад, стан рослинності секції № 1 простежено за знімками лише до 2018 р. [4].

Мета роботи – доповнити модель моніторингу блоком дистанційних індикаторів загроз гідросфері, що регулярно оновлюються за відкритими супутниковими даними.

Результати. Запропоновано зіставити кожен шлях загрози з показником, який можна визначати з супутникових даних:

– переповнення секцій – площа водного дзеркала за індексом MNDWI (Landsat, Sentinel-2) як непрямий показник наповнення, оскільки рівень розсолу безпосередньо з космосу не вимірюється;

– деформації дамби – зміщення поверхні за радарною інтерферометрією Sentinel-1, придатність якої для території Стебника показано в [5];

– інфільтрація та засолення нижче за течією – стан рослинності вздовж р. Солониця (індекс SAVI) порівняно з фоновою ділянкою вище за течією;

– вітрова ерозія – площа оголених сольово-глинистих поверхонь (індекс BSI), адже пилоутворення й дефляція дають основну частку забруднення довкілля від хвостосховищ [1].

Для кожного показника передбачається визначення порогових значень, досягнення яких сигналізуватиме про необхідність відповідних заходів реагування: регулювання рівня розсолів мережею розподільних і відвідних каналів у межах секції № 1 [1], обстеження дамби, відбір проб води й ґрунту, пилопригнічення. Показники розраховуються на хмарній платформі Google Earth Engine, а результати зводяться в ГІС-проєкт разом із наземними спостереженнями.

Висновки. Запропонований блок дистанційних індикаторів доповнює модель моніторингу [2] безперервними й регулярно оновлюваними даними про стан хвостосховища та зони його впливу. Він не замінює наземних вимірювань рівня розсолів і якості води, але дає змогу вчасно виявляти зміни, що потребують таких вимірювань. Подальші дослідження передбачають розрахунок багаторічних рядів площ водного дзеркала секцій і перевірку гіпотези про засолення нижче за течією.

Література

1. Mokryi V., Petrushka I., Dyakiv V., Dzhumelia E., Salamon I. Information supply of hydrotechnical reconstruction concept of Stebnyk tailings storage (Ukraine) // Ecological Engineering & Environmental Technology. 2023. Vol. 24(2). P. 120–130. https://doi.org/10.12912/27197050/156977
2. Мокрий В.І., Гречаник Р.М., Мороз О.І., Петрушка І.М., Кравців Р.В. Екологічна безпека системи поводження з небезпечними відходами Стебницького хвостосховища // Національний форум «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології». Київ, 2018. С. 108–110.
3. Кравців Р.В., Мокрий В.І. та ін. Інформаційне забезпечення системи моніторингу екологічної безпеки Стебницького ГПР // Ідеї та новації в системі наук про Землю: матеріали VIII Всеукр. молод. наук. конф. Київ, 2019. С. 86–87.
4. Іванов Є.А., Ковальчук І.П. Закономірності формування та функціонування геосистем Стебницького хвостосховища // Geo&Bio. 2021. Вип. 20. С. 58–69. https://doi.org/10.15407/gb2008
5. Trevoho I., Chetverikov B., Babiy L., Malanchuk M. Monitoring of displacements and deformations of the earth's surface near the Stebnyk city using radar images of Sentinel-1 // Geodesy and Cartography. 2020. Vol. 69(1). P. 85–96. https://doi.org/10.24425/gac.2020.131079

Геоінформаційне забезпечення адаптивного прогнозування радіоактивного забруднення територій в умовах воєнних загроз

Нагорний Є.І.

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ

Нікітін А.А.

Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, м. Київ

Воєнні загрози ядерній та радіаційній безпеці України зумовлюють потребу в оперативному оцінюванні можливих наслідків пошкодження ядерних об'єктів і місць зберігання радіоактивних матеріалів. Обмежений доступ до територій, порушення роботи постів спостереження та мінливість метеорологічних умов ускладнюють формування цілісної картини забруднення. За цих обставин доцільним є поєднання радіаційного контролю, дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та геоінформаційного моделювання.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні підходу до адаптивного прогнозування радіоактивного забруднення територій шляхом інтеграції наземних вимірювань і даних ДЗЗ у ГІС. Об'єкт дослідження — процес просторово-часового поширення забруднення, предмет — методи інформаційного забезпечення та послідовного уточнення його

прогнозних оцінок. Пропонований підхід має методичний характер і потребує перевірки на незалежних спостереженнях.

Супутникові матеріали використовуються для характеристики земного покриву, водних об'єктів, пожеж і змін поверхні. Знімки Sentinel-2 містять 13 спектральних каналів із просторовим розрізненням 10, 20 та 60 м залежно від каналу [1]. Звичайні оптичні та радарні зображення не забезпечують прямого вимірювання активності радіонуклідів; їхня роль полягає в уточненні природних умов міграції та виборі ділянок інструментального обстеження.

Прогнозування доцільно організувати за двоетапною схемою. На першому етапі формується попередня сценарна оцінка за відомими або припущеними параметрами джерела, напрямком і швидкістю вітру, опадами та стійкістю атмосфери. За недостатньої інформації розглядають декілька сценаріїв, чітко фіксуючи припущення щодо інтенсивності й тривалості викиду. На другому етапі прогноз послідовно уточнюється після надходження вимірювань, а кожна версія карти супроводжується часом її актуальності.

Метод послідовної параметричної адаптації передбачає зіставлення розрахованих значень із вимірюваннями для відповідних координат і моментів часу. За виявленими розбіжностями уточнюють лише ті параметри моделі, які можуть бути обґрунтовано визначені наявною інформацією. Вагу спостереження встановлюють з урахуванням похибки приладу, часу отримання та репрезентативності пункту. Одиничне аномальне значення спочатку перевіряють і не використовують як безумовну підставу для зміни всієї карти.

Перевірку запропонованого підходу слід виконувати шляхом порівняння початкового та адаптованого прогнозів на контрольних пунктах, які не використовувалися для налаштування моделі. Доцільними показниками є середня абсолютна похибка, середньоквадратична похибка та систематичне зміщення для однакових фізичних величин. Додатково оцінюють час оновлення карти і відповідність прогнозованих інтервалів фактичним спостереженням. За просторово згрупованих даних контрольні ділянки потрібно відокремлювати територіально, щоб уникнути завищення якості.

Результатом оброблення має бути комплект взаємопов'язаних тематичних шарів: інструментально підтверджені значення, прогнозований розподіл показника, ділянки підвищеної невизначеності та пріоритети додаткового контролю. Межі прогнозних зон не слід подавати як остаточно встановлені межі забруднення. Для підтримки захисних заходів картографічні матеріали необхідно співвідносити з

критеріями радіаційного реагування, визначеними компетентними органами з урахуванням рекомендацій МАГАТЕ [2].

Отже, інтеграція ДЗЗ, ГІС та радіаційного контролю створює методичну основу для послідовного уточнення просторових оцінок забруднення в умовах воєнних загроз. Розвиток вихідного підходу полягає у спільному врахуванні якості даних, невизначеності прогнозу та потреби в додаткових вимірюваннях. Практичне застосування пов'язане з інформаційною підтримкою цивільного захисту, екологічного моніторингу й планування відновлення територій. Кількісну ефективність необхідно встановити під час подальшої валідації.

Список використаних джерел

1. European Space Agency. Sentinel-2 User Handbook. 2015. URL: https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook
2. Михайлова А.В., Чумаченко С.М. Особливості класифікації джерел небезпеки, що призводять до надзвичайних ситуацій воєнного характеру // Зб. тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика», 21-22 листопада 2019, Харків, НУЦЗУ. – С. 51-53.

DSAS як інструмент ГІС-аналізу гідроморфологічних змін річок в умовах антропогенного впливу

Подорожко К.Д., Даншина С.Ю.

(Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», E-mail: k.d.buriak@khai.edu)

Порушення природних процесів самоочищення, трансформація гідрохімічного режиму та збільшення техногенного навантаження підсилюють ризики погіршення стану річок. У цьому контексті збереження річкових систем і підтримання їх екосистемних функцій є пріоритетним завданням у рамках сталого розвитку, що підтверджено міжнародними ініціативами та рішеннями конференцій ООН з питань навколишнього середовища Для оцінювання стану гідроморфологічних характеристик річок та відстеження їх змін дедалі ширше застосовують дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та інструменти ГІС-аналізу, які дають змогу оперативно отримувати інформацію про стан річкових екосистем і динаміку їх змін.

Метою дослідження є підвищення об'єктивності та просторової деталізації оцінки річкової ерозії шляхом застосування інструментарію DSAS у поєднанні з даними дистанційного зондування Землі та геоінформаційного аналізу, а також встановлення кількісного зв'язку

між змінами берегової лінії та антропогенним навантаженням у межах досліджуваних ділянок. Об'єктом дослідження обрано космічні знімки с. Петрівське (Ізюмський район) за 2015-2025 роки, отримані через сервіс Copernicus Browser.

Запропонована методика передбачає комплексний підхід і включає формування багаточасового набору берегових ліній на основі супутникових знімків, розрахунок ключових показників динаміки берегової лінії за допомогою DSAS (зокрема SCE, NSM), що дозволяють кількісно оцінити інтенсивність та напрям змін, проведення кореляційного аналізу між показниками берегової динаміки та характеристиками землекористування.

У результаті застосування методики встановлено наявність тісного позитивного зв'язку між рівнем антропогенного навантаження та інтенсивністю змін берегової лінії (коефіцієнт кореляції $r \approx 0{,}78$). Виявлено, що ділянки з більшою часткою сільськогосподарських характеризуються підвищеними темпами ерозійних процесів і більш значними зміщеннями берегової лінії.

Запропонований підхід дозволив підвищити чутливість оцінювання за рахунок переходу від узагальнених територіальних показників до аналізу на рівні трансект, що забезпечує більш точне виявлення локальних осередків ерозії та формує основу для подальшого прогнозування змін і підтримки управлінських рішень у сфері водних ресурсів.

Моніторинг наслідків військових дій за даними ДЗЗ

Прищепчук В. І., Гребень О. С.
(Національний аерокосмічний університет «ХАІ», e-mail: a.greben@khai.edu)

Військові дії спричиняють значні руйнування об'єктів інфраструктури, порушення ґрунтового покриву, деградацію рослинності, лісові пожежі та трансформацію водних і сільськогосподарських територій. Визначення масштабів таких змін є важливим завданням для оцінювання екологічних збитків, документування руйнувань і планування відновлення постраждалих територій. Водночас проведення наземних обстежень у районах бойових дій часто є небезпечним або неможливим. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває використання дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), яке забезпечує отримання актуальної

інформації про стан великих територій незалежно від можливості безпосереднього доступу до них [1, 2].

Метою роботи є узагальнення можливостей методів дистанційного зондування Землі для виявлення, оцінювання та моніторингу наслідків військових дій щодо природних комплексів, земельних ресурсів і об'єктів забудови.

Дистанційне зондування Землі ґрунтується на отриманні та аналізі інформації про земну поверхню за допомогою супутникових і авіаційних сенсорів. Для моніторингу наслідків військових дій доцільно використовувати оптичні супутникові знімки Sentinel-2 і Landsat, радарні дані Sentinel-1, а для детального обстеження окремих об'єктів — знімки високої просторової розрізненості. Комплексне застосування оптичних і радарних даних підвищує можливості виявлення змін, оскільки радарне знімання менш залежне від хмарності та освітлення, тоді як оптичні дані дають змогу аналізувати спектральні характеристики поверхні [2, 3].

Одним із ключових методів є порівняльний аналіз різночасових супутникових знімків. Його сутність полягає у зіставленні стану території до та після військового впливу. За результатами такого порівняння можна виявляти зруйновані будівлі, пошкодження транспортної інфраструктури, зміни конфігурації забудови, появу вирв, траншей та інших порушень поверхні. Подальше дешифрування знімків і класифікація виявлених об'єктів дають змогу формувати тематичні карти пошкоджень та оцінювати їх просторове поширення. Дослідження руйнувань у Києві підтверджує ефективність поєднання оптичних знімків Sentinel-2 і радарних даних Sentinel-1 для оцінювання пошкоджень забудованих територій [3].

Важливим напрямом є моніторинг стану природних ресурсів. Для оцінювання рослинного покриву застосовується нормалізований різницевий вегетаційний індекс NDVI. Зміни значень NDVI дають змогу виявляти ділянки з погіршенням стану рослинності, оцінювати порушення сільськогосподарських угідь і відстежувати відновлення рослинного покриву. Для аналізу наслідків пожеж доцільно використовувати нормалізований індекс вигорілої території NBR та його різницю між періодами до і після події — dNBR. Зміни водних об'єктів і площ затоплення можуть досліджуватися за допомогою спектральних індексів, зокрема MNDWI [1].

Особливе значення має аналіз часових рядів супутникових даних, який дає змогу відрізняти короткочасні зміни від довготривалих наслідків військового впливу. Наприклад, зменшення вегетаційного індексу може бути пов'язане не лише з фізичним пошкодженням земель,

а й із сезонністю, посухою або припиненням сільськогосподарського обробітку. Тому для підвищення достовірності результатів необхідно порівнювати знімки за відповідні сезони, використовувати додаткові тематичні дані та, за можливості, перевіряти результати за матеріалами наземних обстежень. Дослідження сільськогосподарських угідь України демонструють можливість автоматизованого виявлення пошкоджених полів із використанням супутникових даних Sentinel-2 та алгоритмів машинного навчання [4].

Оброблення результатів доцільно здійснювати у геоінформаційних середовищах QGIS або ArcGIS Pro, що забезпечують поєднання супутникових знімків із даними про землекористування, адміністративні межі та розташування об'єктів інфраструктури. Інтеграція результатів у геопросторову базу даних дає змогу систематизувати інформацію про виявлені пошкодження, визначати їх площу, тип і часову динаміку, а також формувати картографічні матеріали для подальшого аналізу. Перспективним напрямом є автоматизація виявлення змін із використанням методів машинного навчання, що дозволяє прискорити оброблення значних масивів даних і забезпечити регулярне оновлення результатів моніторингу [2, 4].

Методи дистанційного зондування Землі є важливим інструментом моніторингу наслідків військових дій, оскільки забезпечують оперативне отримання просторової інформації про пошкодження забудови, порушення земель, зміни рослинності та трансформацію водних об'єктів. Поєднання оптичних і радарних даних, спектральних індексів, аналізу часових рядів і геоінформаційних технологій підвищує повноту та достовірність оцінювання. Результати такого моніторингу можуть бути використані для документування руйнувань, оцінювання екологічних наслідків, визначення пріоритетів відновлення та підтримки управлінських рішень щодо постраждалих територій.

Література

1. Бялий М., Андрієвська А., Стахів І., Пастушенко Т. Моніторинг екологічних наслідків війни за допомогою геоінформаційних систем та дистанційного зондування. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2026. № 1(112). С. 133–146. https://doi.org/10.17721/1728-2713.112.15.

2. Karwowska K., Slesinski J., Sekrecka A., Smiarowski M., Metsoja K. et al. Integrating optical and radar satellite data for conflict-related change detection in Ukraine. *Scientific Reports*. 2026. Vol. 16. Article 12557. https://doi.org/10.1038/s41598-026-41424-3.

3. Aimaiti Y., Sanon C., Koch M., Baise L. G., Moaveni B. War Related Building Damage Assessment in Kyiv, Ukraine, Using Sentinel-1 Radar and Sentinel-2 Optical Images. *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14(24). Article 6239. https://doi.org/10.3390/rs14246239.

4. Assessing damage to agricultural fields from military actions in Ukraine: An integrated approach using statistical indicators and machine learning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2024.

5. Raju E., et al. Toward the remote monitoring of armed conflicts. *PNAS Nexus*. 2023. Vol. 2(6). Article pgad181. https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgad181

Методика оцінки цілісного рішення класових та просторово-часових змін земного покриву за даними ДЗЗ.

Горелик С.І., Саул-Гозе Д.К.,
(Національний аерокосмічний університет «ХАІ», d.k.saulhoze@student.khai.edu)

Тема просторово-часового моніторингу складно доступних або недоступних для спостереження контактними методами ділянок набуває актуальності у місцях воєнних конфліктів та техногенних катастроф. Створення цілісного рішення класово-визначеної геопросторової моделі відзначається високим показником ефективності для моніторингу та швидкодії прийняття рішень з екологічної, техногенної безпеки та оцінки стану земельних ресурсів. Сучасні геоінформаційні методи спираються на математичні моделі визначення індексів вегетації, насиченості ґрунту речовинами та вологою, але цілісна картина залежить від сукупності факторів, що розкриваються лише у комбінації композитних знімків – комбінації багатоспектральних елементів супутникових знімків.

Мета дослідження – розробка та апробація моделі єдиного комплексного показника за класами інтегральних змін індексів NDVI, NBR, BSI та їх дельт відносно часового охвату травень 2022 – травень 2025 року на прикладі Ізюмської ОТГ, Харківська область.

Методи та матеріали. Було використано різнорідні та різночасові дані ДЗЗ та Sentinel-2 (з маскуванням хмар через SCL) та Landsat 8/9 (маскування через QA_PIXEL), обмежених межами громади (AOI) та кодовий онлайн-редактор Google Earth Engine.

Розробка моделі та апробація. На основі даних було виокремлено методику та послідовні дії в зону інтересу та комплексно виділено основні принципи створення класів інтегральних змін в структурі та вегетації земель, що було змінено внаслідок очевидних воєнних дій на даній ділянці інтересу за встановлений проміжок часу.

Висновки. На основі виконаних дій зі створення методики оцінки програмного коду мовою програмування JS отримано комплексних 5 класів інтегральних змін в структурі земель та загальної вегетації по індексам NDVI, NBR, BSI – від 1-2 класів – стабільно або без змін рівня вегетації та наявності гару до 5 класу – значні та дуже значні зміни

(руйнування комплексних екосистем лісових насаджень та систем сільського господарства. Отримана модель та розрахунки показників просторово-прив'язаних даних може бути адаптована до іншої зони інтересу для аналізу та впровадження в комплекс відновлювальних дій.
Copernicus Open Access Hub (2022) / [електронний ресурс]. https://www.copernicus.eu/en/access-data/conventional-data-access-hubs.

Hansen, M.C. et al. (2023). Global Forest Change (Version 1.11) / [електронний ресурс]. https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/UMD_hansen_global_forest_change_2023_v1_11.

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.

Amani, M. et al. (2020). Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 13, 5326–5350. DOI: 10.1109/JSTARS.2020.3021052.

Kussul, N. et al. (2025). Assessment of war-induced agricultural land use changes in Ukraine using machine learning applied to Sentinel satellite data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.

Copernicus EMS (2026). European Forest Fire Information System (EFFIS) Application / [електронний ресурс]. URL: https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/

Буріння глибоких нафтових і газових свердловин в умовах високих температур

Стефурак Р.І., *r.stefurak@istu.edu.ua,*
Худолей В.Ю.*, veronica.khudolei@istu.edu.ua,*
Бугай В.Ю., *v.bugay@istu.edu.ua,*
Карпенко О.О., *o.karpenko@istu.edu.ua,*
Петришина А.Ю., *a.petryshyna@istu.edu.ua*
(Заклад вищої освіти «Міжнародний науково-технічний університет імені академіка Юрія Бугая),
Кравець В.П.*, kravets-ubg@gasdob.com.ua*
(ГПУ «Шебелинкагазвидобування» АТ «Укргазвидобування»)
Титюк Є.О., *evgen@1ucc.com.ua (ТОВ «ВО «БУРТЕХ-СЕРВІС»).*

Для підвищення енергетичної незалежності України необхідне відкриття нових великих родовищ нафти і газу, які можуть знаходитися на глибинах понад 8000 м [1]. Занурення у глибші горизонти супроводжується екстремальним зростанням вибійних температур (понад 200°С) та пластових тисків (більше 100 МПа) [2–3]. Вартість будівництва таких об'єктів зростає експоненціально, сягаючи 25–30 млн дол. США за одну свердловину [2]. Незважаючи на це, Україна та Китай з міркувань енергетичної безпеки та сталого розвитку своєї нафтогазовидобувної промисловості збільшують обсяги буріння на глибинах більше 6000 м [4; 5;].

Світовий досвід буріння в екстремальних умовах.

Ісландський проєкт IDDP: досягнуто глибин до 5000 м за температур до 450°C. Залучалися бурові установки з верхнім приводом Soilmech HH300 та спеціальні керноприймачі від Rok-Max Drilling Tools [3].

Досвід Китаю: Китайські технології адаптовані для буріння на глибинах понад 10000 м [5]. На свердловині «Shenditake-1» (10910 м) зафіксовано температури понад 210°C та тиск 145 МПа. Використовувалися автоматизовані верстати, розчини типу РНО з надвисокою густиною та термостійкі вибійні двигуни.

Досвід спорудження надглибоких свердловин в Україні. БУ «Укрбургаз» успішно завершило будівництво свердловин на Комишнянському (6040 м) та Березівському (до 6100 м) родовищах [4]. Компанія «ДТЕК НАФТОГАЗ» у 2024 році пробурила дві найглибші в Європі діючі свердловини (6800 м і 6755 м) в умовах аномальних тисків до 130 Мпа [2]. Висока швидкість була досягнута завдяки комбінованому обертанню доліт PDC), телеметрії TeleScope та роторно-керованим системам PowerDrive.

Ще одним лідером зі спорудження надглибоких свердловин в Україні є ТОВ «Полтавська бурова компанія» (ТОВ «ПБК»), яка спорудила 8 свердловин (див. таблицю).

Таблиця–Пробурені ТОВ "ПБК» надглибокі свердловини

№ свердловини	Вибій, м	Рік буріння
5 Водянівського ГКР	6202	2018
3 Водянівського ГКР	6042	2019
77 Семеренківського НГКР	6350	2021
1 Клубанівсько-Зубр. Пл.	6121	2021
57 Карайкозівського НГКР	6439	2024
11 Водянівського ГКР	6094	2025
54 Карайкозівського НГКР	6055	2025
11 Водянівського ГКР	6310	2026

ТОВ«ВО «БУРТЕХ-СЕРВІС» активно працює над впровадженням прогресивного бурового та нафтопромислового обладнання в поєднанні з сервісом.

ГПУ «Шебелинкагазвидобування» в умовах високих температур використовує гідравлічний розрив пластів з використанням до 45 тон пропанту за операцію.

Рекомендації для родовищ України. На основі аналізу вітчизняного та світового досвіду сформовано такі технологічні рекомендації для буріння в умовах температур понад 200°C:

Породоруйнівний та керновідбірний інструмент: Застосовувати імпрегновані долота або спеціальні модифікації доліт PDC із композитними матеріалами. Впроваджувати вітчизняні подовжені системи типу СКАН модифікації ПМ без еластомерів в комплектуючих [3–5].

Промивальні рідини: Використовувати мінералізовані біополімерні системи на основі форміатних солей з високою термічною стабільністю [3; 5].

Висновки. Успішне освоєння глибоких горизонтів ДДЗ в умовах температур понад 200°C в Україні можливе за умови масового впровадження бурових установок із верхнім приводом, термостабільних біополімерних розчинів, бурових доліт та бурголовок типу PDC, суцільнометалевих вибійних двигунів. Подальший прогрес галузі залежить від адаптації до технологій екстремального геотермального буріння та впровадження інновацій.

Список використаної літератури:

1. Лукін О. Ю., Гафич І. П., Гончаров Г. Г., Макогон В. В., Пригаріна Т. М. Вуглеводневий потенціал надр України та головні напрями його освоєння // *Мінеральні ресурси України.* 2020. № 4. С. 28–38 https://doi.org/10.31996/mru.2020.4.28-38

2. Щуров І., Гафич І., Дорохов М. Технологічні виклики і перспективи освоєння великих глибин. Досвід ДТЕК Нафтогаз // Матеріали XII Міжнародної конференції Ньюфолк НКЦ (Львів, 29–30 травня 2025 р.). https://oil-gas.com.ua/statti/tekhnolohichni_vyklyky_i_ perspektyvy_ osvoiennia_ velykykh _hlybyn dosvid dtek naftohaz

3. Стефурак Р. І., Худолей В. Ю., Бугай В. Ю., Карпенко О. О. Відбір керна в умовах високих температур // *Мінеральні ресурси України.* 2025. № 4. С. 65–72. https://doi.org/10.31996/mru.2025.4.65-72

4. Стефурак Р. І., Яремійчук Р. С. Деякі аспекти впровадження сучасних технологій буріння глибоких нафтових і газових свердловин (оглядова стаття) // *Мінеральні ресурси України.* 2023. № 3. С. 30–38. https://doi.org/10.31996/mru.2023.3.30-38

5. Liu Yansheng, Zhang Jiawei, Huang Hongchun. Key technologies and development direction for deep and ultra-deep drilling and completion in China. Acta Petrolei Sinica. – 2024. Vol. 45, Issue 1. – P. 312-324. https://doi.org/10.7623/syxb202401018

Сучасні технології поглиблення та кріплення глибоких свердловин для досягнення цілей сталого розвитку нафтогазового комплексу

Стефурак Р. І., *r.stefurak@istu.edu.ua,*
Худолей В. Ю., *veronica.khudolei@istu.edu.ua,*
Чередниченко Д. О., *d.cherednychenko@istu.edu.ua,*
Петришина А. Ю.; *a.petryshyna@istu.edu.ua,*
Заклад вищої освіти «Міжнародний науково-технічний університет імені академіка Юрія Бугая», м. Київ, Україна,
Мазурок П. С*. mazurok.pavel@gmail.com, ТОВ «УКРСКС»*

Для глибокого буріння в Україні одночасно зростають вимоги до швидкості проходки, достовірності геологічної інформації, безпеки та екологічної результативності. Поглиблення і кріплення доцільно розглядати як взаємопов'язані стадії життєвого циклу свердловини. Такий підхід відповідає Цілі сталого розвитку 9, що передбачає розвиток надійної інфраструктури, технологічне оновлення промисловості, ресурсоефективність і підтримку вітчизняних інновацій [1]. Суцільне поглиблення орієнтоване на продуктивне проходження, кільцеве – на отримання репрезентативного керна, а кріплення – на формування довговічної бар'єрної системи.

Важливо обґрунтувати критерії поглиблення суцільним і кільцевим вибоєм, визначити вимоги до кріплення глибоких свердловин та сформулювати засади технологічного пріоритету вітчизняних розробок за показниками ефективності, безпеки й повної вартості життєвого циклу.

Поглиблення суцільним вибоєм. Результатом технологічної схеми має бути швидке й кероване проходження проєктного інтервалу зі збереженням траєкторії та стійкості стовбура. Визначальними є тип долота і компоновка низу бурильної колони, осьове навантаження, частота обертання, гідравлічна програма, реологія промивальної рідини, прогноз пластових тисків і температур. Для глибоких інтервалів необхідні контроль еквівалентної циркуляційної густини, попередження поглинань, газопроявів і прихоплень та скорочення непродуктивного часу. Ефективність слід оцінювати не лише за механічною швидкістю буріння, а й за стабільністю стовбура, аварійністю та витратами енергії й матеріалів [2].

Поглиблення кільцевим вибоєм. Його основний результат – не швидкість руйнування породи, а збереження якісного керна з літологічними, структурними й тріщинними особливостями розрізу. Потрібні узгоджені рішення щодо бурголовок, керноприймального

пристрою, режиму промивання, тривалості рейсу та підйому керна. Публікації 2024–2025 років указують на ризики неповного виходу, руйнування і температурного пошкодження керна у глибоких свердловинах [3–5]. Раціональним є поєднання модернізованих пристроїв, коротших контрольованих рейсів, термостійких промивальних систем і лабораторного аналізу. Критерії — вихід, цілісність і репрезентативність керна, повнота геологічного опису та безаварійність.

Кріплення глибоких свердловин. Після поглиблення формується система бар'єрів з обсадної колони, цементної оболонки та контактів «колона–цемент–порода». Відповідно до ISO 16530-1, цілісність свердловини має управлятися протягом усього життєвого циклу — від проєктування і будівництва до експлуатації, втручання та ліквідації [6]. Проєктування цементування повинно охоплювати термобаричне моделювання, центрування колони, сумісність бурового розчину, буферної рідини й тампонажного розчину, лабораторне підтвердження параметрів, контроль розміщення цементу та моніторинг міжколонних тисків. ISO/API можуть бути методичною основою випробувань, але рецептура має враховувати конкретний геолого-технічний розріз і національну нормативну базу [7].

Вітчизняний технологічний пріоритет та інвестиції. Україна має передумови для формування власного ланцюга «розроблення — випробування – виробництво – сервіс». ТОВ «УКРСКС» представляє напрями цементування «під ключ», виробництва тампонажних матеріалів, технологічного супроводу та лабораторних послуг; компанія також повідомляє про акредитовані лабораторії й виробництва композитних тампонажних систем [8]. Потенційним промисловим користувачем таких рішень є ТОВ «Полтавська бурова компанія», що виконує буріння, капітальний ремонт, інтенсифікацію та відновлення свердловин [9]. ТОВ «НТП «Бурова техніка» (Полтава) забезпечує високотехнологічні роботи й послуги під час спорудження та ремонту свердловин [10]. Вітчизняні рішення слід порівнювати за швидкістю проходки, виходом і якістю керна, стабільністю цементного кільця, ремонтами, логістикою, ресурсним слідом і повною вартістю життєвого циклу. Такий підхід обґрунтовує інвестиції у власне обладнання, лабораторії, тампонажні матеріали та сервіс.

Висновки. Суцільний вибій має оцінюватися за продуктивністю та безаварійністю, кільцевий — за виходом і якістю керна, а кріплення — за довговічністю бар'єрної системи. Для сталого розвитку нафтогазового комплексу України необхідні інвестиції у вітчизняні технології та формування національних стандартів і методик

випробувань із можливим включенням перевірених елементів ISO/API. Конкурентоспроможність українських рішень має підтверджуватися відкритими даними випробувань і показниками повної вартості життєвого циклу.

Список використаних джерел

1. United Nations. Goal 9: Industry, innovation and infrastructure. Sustainable Development Goals. Goal 9 Дата звернення: 25.10.2026.
2. Стефурак Р. І., Яремійчук Р. С. Деякі аспекти впровадження сучасних технологій буріння глибоких нафтових і газових свердловин (оглядова стаття). Мінеральні ресурси України. 2023. № 3. С. 30–38. DOI: https://doi.org/10.31996/mru.2023.3.30-38
3. Стефурак Р. І. Технології відбору керна в глибоких свердловинах. Мінеральні ресурси України. 2024. № 2. С. 56–61. DOI: https://doi.org/10.31996/mru.2024.2.56-61
4. Стефурак Р. І., Худолей В. Ю., Бугай В. Ю., Карпенко О. О. Удосконалення конструкцій керноприймальних пристроїв для відбору зразків порід і мінералів. Мінеральні ресурси України. 2025. № 2. С. 81–88. DOI: https://doi.org/10.31996/mru.2025.2.81-88
5. Стефурак Р. І., Худолей В. Ю., Бугай В. Ю., Карпенко О. О. Відбір керна в умовах високих температур. Мінеральні ресурси України. 2025. № 4. С. 65–72. DOI: https://doi.org/10.31996/mru.2025.4.65-72
6. ISO. ISO 16530-1:2017. Petroleum and natural gas industries — Well integrity — Part 1: Life cycle governance. Офіційна сторінка
7. ISO. ISO 10426-1:2005. Petroleum and natural gas industries — Cements and materials for well cementing — Part 1: Specification. Офіційна сторінка
8. ТОВ «УКРСКС». Головна; новини про лабораторії та композитні тампонажні системи. Офіційний сайт Дата звернення: 25.10.2026.
9. ТОВ «Полтавська бурова компанія». Офіційний сайт. https://www.pdc.com.ua/ua/ Дата звернення: 25.10.2026.
10. ТОВ «НТП «Бурова техніка». Офіційний сайт. https://ntpbt.com/ Дата звернення: 25.10.2026.

Бурові судна для глибоководного розвідувального буріння та перспективи їх використання в Україні

Стефурак Р.І., r.stefurak@istu.edu.ua,
Худолей В.Ю., *veronica.khudolei@istu.edu.ua,,*
Левченко Д.В., *d.levchenko2@istu.edu.ua*
(заклад вищої освіти «Міжнародний науково-технічний університет імені академіка Юрія Бугая»),
Копей Б.В., *kopeyb@ukr.net,*
Копей В.Б., *vkopey@gmail.com, (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу).*

Одним із найефективніших методів глибоководного розвідувального буріння є буріння свердловин з одночасним відбором керна нижче морського дна з використанням бурових суден (БС), на яких змонтовано все необхідне бурове і допоміжне обладнання. Наразі БС є основним інструментом таких досліджень, забезпечуючи можливість буріння на глибинах води у тисячі метрів. Розвідані та прогнозовані запаси природного газу на шельфі України оцінюються в межах від 80 до 300 млрд кубометрів [1]. Перспективи видобування є

значно вищі з урахуванням величезних запасів гідратів метану. Глибини моря в Україні перевищують 2000 м і є перспектива досліджень родовищ газу та гідратів з акваторії Чорного моря.

Основні технічні тренди цих бурових суден останніх поколінь: **Глибина буріння**: Сучасні флагмани здатні працювати до глибин понад 12 км від поверхні води, виконуючи роботи при цьому при товщі води понад 3,5 км. [2]. **Гідродинамічний тиск та силова установка**: Новітні судна (*Deepwater Titan*) оснащені комплексами підводного ПВО, що витримують екстремальний тиск у ***140 МПа;*** кожне таке судно генерує понад 45–50 МВт енергії завдяки потужним дизель-генераторам [2, 3]. Судна обладнані системами динамічного позиціонування для утримання позиції судна для роботи в екстремальних умовах[2–4].

Нижче наведено порівняльну таблицю параметрів бурових суден світу (7-го та 8-го поколінь) [2, 3]

Таблиця – Характеристики бурових суден

Назва судна / компанія-оператор	Довжина / Ширина (м)	Максим. глибина води / буріння (м)	Особливості та потужність
Deepwater Titan / Transocean	249 / 43	3 658 / 12192	Перше у світі судно 8-го покоління; дві системи запобігання викидам (ПВО) на 140 МПа; вантажопідйомність гака - 1700 тонн.
Deepwater Atlas / Transocean	249 / 43	3 658 / 12192	Однотипне із Titan судно 8-го покоління; оптимізоване споживання палива для зменшення вуглецевого сліду
Valaris DS-17 / Valaris	243 / 42	3 658 / 12000	Судно нового покоління з високим рівнем автоматизації процесів.

Noble Faye Kozack / Noble Corporation	228 / 42	3 658 / 12000	Ультраглибоководне судно з подвійною буровою вишкою високої ефективності.
Deepwater Proteus / Transocean	243 / 42	3 658 / 12000	Рік побудови: 2015/2016, верф DSME (Південна Корея). Бурове судно для надглибоководного буріння.

Технічні можливості найпотужнішого в галузі судна Deepwater Atlas відкривають нові горизонти для буріння на надвеликих глибинах [5]. На його борту інтегровано роторний інструмент для відбору керна та комплекси відбору керна зі збереженням тиску [6].

Після деокупації морських територій Україна отримає нові можливості для розвитку морської геології, а з урахуванням міжнародного досвіду може залучати потужних міжнародних партнерів (США, Японія, ЄС) для розвідки ресурсів Чорного моря (газогідрати, корисні копалини).

Висновки:

Україна може ефективно розробляти морські родовища в акваторії Чорного моря з використанням сучасних **БС** 7-го та 8-го поколінь. Це дасть можливість забезпечити державу нафтою і газом в перспективі.

Список використаної літератури:

1. https://epravda.com.ua/news/2017/10/31/630674/

2.Drillship & Rig Dayrate Tracker 2026 | Offshore Day Rates by Rig Class | Offshore Industry https://share.google/MomrmwrfwwcHaxRmG.

3. Копей Б.В. Обладнання для розробки морських нафтогазових родовищ. Підручник. / Б. В. Копей, Серія «Нафтогазове обладнання», том 13– Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2023 – 401с. ISBN 978-966-694-417-0, https://search.library.nung.edu.ua/DocDescription?doc_id=475091.

4. Стефурак Р.І., Худолей В.Ю., Бугай В.Ю. Світовий досвід глибоководного буріння з відбором керна та перспективи його застосування в Україні / Геологічна будова та корисні копалини України: Збірник тез ІІ Всеукраїнської наукової конференції (Київ, 15-16 вересня 2026 р.). / НАН України, Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П.Семененко. Київ, 2016. С.133-134. . https://doi.org/10.35668/978-617-8521-04-2

5. https://www.deepwater.com/our-fleet/our-rigs

6. Integrated Ocean Drilling Program. Science Plan 2013–2023. – Tokyo: IODP, 2013. https://www.scienceopen.com/collection/d9c96d46-376b-445e-bfa7-0912a23d6b1b

Картографування та екологічна оцінка зелених зон міста засобами ГІС-моніторингу

(на прикладі м. Полтава)

Андрєєв С.М., Приходько К.І.
(Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»,
E-mail: k.i.prykhodko@student.khai.edu)

Сучасне урбанізоване середовище зазнає значного антропогенного навантаження, що призводить до погіршення стану екосистем, змінення мікроклімату та просторової деградації рекреаційних територій. У цьому контексті оперативно-просторовий моніторинг стану міських зелених зон стає пріоритетним завданням для забезпечення сталого розвитку територій.

Застосування технологій ГІС у поєднанні з даними ДЗЗ дозволяє виконувати об'єктивну кількісну та якісну оцінку фітомаси без потреби проведення затратних наземних вишукувань [1].

Для досягнення мети використано супутникові знімки високої роздільної здатності системи Sentinel-2A (Copernicus Browser) за літній період [2].

Обробка та просторовий аналіз даних здійснювалися в програмному середовищі ArcGIS (рис.1). Для розрахунку індексу NDVI застосовано інструмент растрового аналізу Raster Calculator за базовою формулою [3]:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} = \frac{B08 - B04}{B08 + B04}$$

У результаті автоматизованого перерахунку каналів у середовищі ArcGIS отримано просторовий растровий шар NDVI з амплітудою значень від -0,224 до +0,929. Для візуалізації та класифікації територій м. Полтави за рівнем вегетативної активності застосовано градуйовану кольорову шкалу (від червоного до насиченого зеленого).

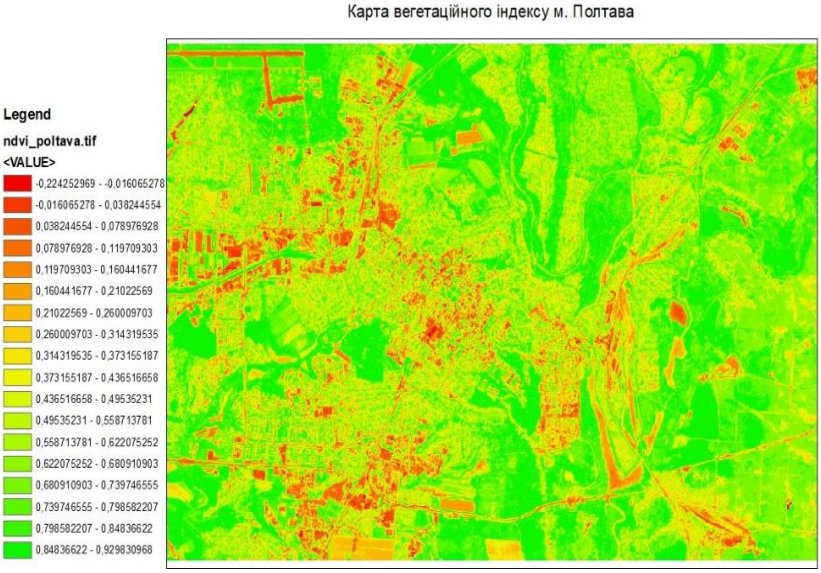


Рис. 1 – Карта розрахованого вегетаційного індексу м. Полтави

Отриманий просторовий розподіл свідчить про достатній рівень озеленення периферійних і рекреаційних зон міста, проте виявляє дефіцит зелених насаджень у центральній та промисловій частинах Полтави.

Використання матеріалів дистанційного зондування Sentinel-2 та інструментарію ArcGIS дозволяє оперативно здійснювати картографування й екологічний аналіз міських територій [1,3].

Створена карта вегетаційного індексу NDVI м. Полтави є об'єктивним геоінформаційним підгрунтям для прийняття управлінських рішень у сфері містобудування, благоустрою та розширення природно-заповідного фонду міста.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ:

Світличний О.О., Плотницький С.В. Основи геоінформатики: Навч. Посібник. Суми: ВД «Університетська книга», 2006.295 с.

Copernicus Open Access Hub. URL: https://browser.dataspace.copernicus.eu (дата звернення: 11.10.2026).

Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. Monitoring wegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351, 1973. Vol. 1. P. 309-317

Застосування спектральних індексів для оцінювання кількісних параметрів озер

Ремезок С. Д.
(Національний аерокосмічний університет «ХАІ», e-mail: s.d.remezok@khai.edu)

Зміни площі водного дзеркала, положення берегової лінії та рослинного покриву прибережної зони є важливими ознаками перетворення озерних екосистем. Їх своєчасне виявлення потребує регулярних спостережень. Супутникові дані дають змогу доповнити наземний моніторинг і простежити просторові зміни водойм за різні періоди. Одним з інструментів їх аналізу є спектральні індекси, використання яких потребує розуміння того, які характеристики озера можна визначити за знімками, а які вимагають залучення додаткових даних.

Метою роботи є систематизація спектральних індексів за можливостями їх застосування для отримання кількісних параметрів озер.

Для виділення відкритої водної поверхні застосовують індекси NDWI, MNDWI та AWEI.

Індекс NDWI грунтується на співвідношенні відбиття в зеленому та ближньому інфрачервоному діапазонах. Побудовані за ним водні маски можуть використовуватися для визначення площі водного дзеркала та порівняння просторового положення межі води на різні дати. Однак поблизу забудованих територій можливе помилкове включення неводних поверхонь до водної маски [1].

У модифікованому індексі MNDWI ближній інфрачервоний канал замінено короткохвильовим інфрачервоним. Така зміна покращує відокремлення відкритої води від забудови, ґрунту та рослинності [2]. Тому MNDWI доцільно розглядати як інструмент уточнення водних контурів озер зі складним оточенням берегової зони.

AWEI розроблено для зменшення помилок виділення води, пов'язаних із темними неводними поверхнями; окрема його модифікація спрямована на пригнічення впливу тіней [3]. Вибір між цими індексами має спиратися на особливості водойми та перевірку отриманих водних масок.

Другий напрям охоплює аналіз рослинності прибережної зони. Для цього може використовуватися NDVI, який характеризує зелену рослинність за відмінностями відбиття у червоному та ближньому інфрачервоному діапазонах. Його поєднання з водними масками надає можливість досліджувати зміни співвідношення відкритої води та

рослинного покриву. Водночас визначення площі надводної рослинності потребує додаткової класифікації, оскільки значення NDVI самі по собі не розрізняють її та наземну рослинність.

Допоміжне значення має NDCI, розроблений для оцінювання вмісту хлорофілу в продуктивних каламутних водах [4]. Цей індекс може доповнювати дослідження інформацією про розвиток фітопланктону. Проте його слід відносити до інструментів оцінювання якості води.

Отже, за призначенням розглянуті індекси можна поділити на індекси виділення відкритої води – NDWI, MNDWI та AWEI; індекси характеристики рослинного покриву – NDVI; допоміжні індекси оцінювання оптичних властивостей води – NDCI. Такий поділ дає змогу узгодити вибір інструментів із конкретними завданнями моніторингу.

Спектральні індекси забезпечують вихідні дані для оцінювання площі водного дзеркала, зміщення межі води та змін рослинності прибережної зони. Водночас зміна площі водойми не є прямим вимірюванням її рівня або об'єму, а може бути спричинене як коливаннями рівня, так і морфологічними процесами. Для обґрунтованої інтерпретації необхідно враховувати сезонність, просторову роздільність знімків і похибки виділення води. Комплексне оцінювання кількісних параметрів озер потребує поєднання спектральних індексів із гідрологічними, батиметричними та польовими даними.

Список використаних джерел:

1. McFeeters S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*. 1996. Vol. 17, issue 7. pp. 1425 – 1432. DOI: 10.1080/01431169608948714.

2. Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 2006. Vol. 27, issue 14. pp. 3025 – 3033. DOI: 10.1080/01431160600589179.

3. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery / G. L. Feyisa, H. Meilby, R. Fensholt, S. R .Proud. *Remote Sensing of Environment*. 2014. Vol. 140. pp. 23 – 35. DOI: 10.1016/j.rse.2013.08.029.

4. Mishra S., Mishra D. R. Normalized difference chlorophyll index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters. *Remote Sensing of Environment*. 2012. Vol. 117. pp. 394 – 406. DOI: 10.1016/j.rse.2011.10.016.

Інтегрований супутниковий моніторинг воєнних трансформацій природно-заповідних територій України

Триснюк Т.В.[1], Василенко В.М.[1], Турчинов К.О.[1], Сметанін К.В.[2]

[1]Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ

[2]Поліський національний університет, м.Житомир

Збройна агресія росії проти України спричинила поєднання пожеж, механічного порушення ґрунтів, зміни водного режиму та фрагментації природних оселищ. На територіях природно-заповідного фонду ці процеси накладаються на сезонну мінливість і кліматичні коливання, що ускладнює визначення причин та тривалості екологічних змін. Небезпека обстежень і недоступність частини об'єктів обмежують наземний контроль. За таких умов супутникові спостереження та геоінформаційний аналіз забезпечують просторову основу для документування пошкоджень і планування відновлення.

Мета роботи — узагальнити методичні засади інтегрованого дистанційного оцінювання воєнних трансформацій природно-заповідних територій та визначити порядок використання результатів у природоохоронному управлінні. Об'єкт дослідження — природні комплекси України, що зазнали воєнних впливів; предмет — методи поєднання оптичних, радарних та картографічних даних для виявлення їх просторово-часових змін. Основою є матеріали першого, теоретико-методологічного етапу НДР 2025 року [1].

Інформаційну основу становлять архівні й різночасові знімки Sentinel-1/2, Landsat-8/9, матеріали високої деталізації, дані FIRMS, цифрові моделі рельєфу та межі природоохоронних об'єктів. Їхні функції взаємодоповнюються: оптичні зображення характеризують рослинний покрив і відкриту воду, радарні — зміни зворотного розсіювання та структури поверхні, теплові спостереження — розташування активних температурних аномалій. Високодетальні матеріали потрібні для уточнення локальних пошкоджень, які не розрізняються на знімках середньої деталізації.

Індексний аналіз доцільно спрямувати на розділення основних типів трансформацій. NDVI характеризує зміни фотосинтетично активної рослинності; NBR та його різночасова різниця застосовуються для аналізу наслідків пожеж; показники водності й вологості допомагають відстежувати затоплення та висушування. Окремий індекс не визначає причину змін. Зниження NDVI може бути пов'язане з пожежею,

посухою, сезонним відмиранням або механічним порушенням, тому потрібне зіставлення часових рядів і додаткових ознак.

Для оцінювання пожежного впливу необхідно розрізняти температурні аномалії, окремі події горіння та площі згарищ. Одна пожежа може бути зафіксована кількома сенсорами і під час декількох прольотів. Площа пікселя активного горіння не дорівнює площі вигорілої території. Дані FIRMS використовують як індикатор часу й місця теплової активності, а межі пошкоджених ділянок уточнюють за оптичними знімками та відповідними продуктами вигорілих площ [2].

Для зони моніторингу природоохоронних територій Херсонської та Миколаївської областей наведено 1865 температурних аномалій за період від лютого 2022 до лютого 2023 року. Найбільша їх кількість припадала на травень–вересень 2022 року. Цей показник характеризує сукупність супутникових реєстрацій у межах вибраної зони, а не кількість незалежних пожеж і не загальнонаціональні втрати природно-заповідного фонду. Для подальшого аналізу потрібні перевірка повторних реєстрацій та просторове групування подій.

Показовим є наведений у звіті приклад Солоозерної ділянки Чорноморського біосферного заповідника. За результатами інтерпретації знімків Landsat 9 і Sentinel-2 наслідки пожежі 5–9 травня 2022 року оцінено приблизно у 12 км² вигорілої території [1]. Значення слід розглядати як дистанційну оцінку конкретного епізоду. Його не можна автоматично переносити на весь заповідник або додавати до інших оцінок без перевірки просторових перетинів і дат спостереження.

Для Кінбурнського півострова та прилеглих природоохоронних територій у матеріалах дослідження описано поєднання пожежного впливу з порушенням поверхні, утворенням траншей, колій і вирв. Екологічний аналіз таких об’єктів має визначати площу оголеного ґрунту, розриви рослинного покриву та зв’язність оселищ. Лінійні порушення доцільно оцінювати за довжиною і шириною, площинні — за контурами. Підсумовування різних категорій без усунення накладень призводить до завищення площі ураження.

Значення територій Чорноморського біосферного заповідника та НПП «Білобережжя Святослава» визначається поєднанням степових, лісових, піщаних і водно-болотних комплексів. Однакове за площею порушення може мати різні наслідки залежно від типу оселища, повторюваності пожеж і збереженості сусідніх ділянок. Тому оцінювання потребує накладання карти пошкоджень на карту природних комплексів. Дистанційні ознаки втрати рослинності не є самостійним доказом зникнення певного виду або зміни чисельності птахів.

Руйнування Каховської ГЕС 6 червня 2023 року утворило окремий комплекс гідроекологічних наслідків: затоплення нижнього б'єфа, осушення колишнього водосховища та зміну умов функціонування заплавних і прибережних екосистем. Для природоохоронного аналізу важливо розглядати ці процеси за фазами: проходження паводкової хвилі, спад води, оголення відкладів і подальша зміна рослинності. Загальний характер екологічних наслідків катастрофи узагальнено в оцінці UNEP.

Картографування водного режиму передбачає зіставлення оптичних індексів води та радарних ознак затоплення з рельєфом і гідрографічною мережею. На відкритій воді та серед затопленої рослинності радарний сигнал може змінюватися по-різному, тому єдиний поріг для всієї території недостатній. Межі підтоплення потрібно прив'язувати до конкретної дати, відокремлюючи постійні водойми від тимчасово затоплених площ. Концентрації забруднювачів у воді й донних відкладах потребують лабораторного підтвердження.

Інтегрована ГІС-модель має об'єднувати базові характеристики оселищ, часові ряди індексів, контури згарищ, затоплені ділянки та локальні механічні порушення. Для кожного об'єкта зберігають джерело, дату знімання, метод виділення й рівень достовірності. Доцільно розрізняти безпосередньо спостережувані зміни, їхню інтерпретацію та прогнозовані наслідки. Така структура дає змогу оновлювати інформацію без втрати історії спостережень і повторно перевіряти отримані оцінки.

Класифікаційний модуль може використовувати Random Forest для розподілу території за типами покриву та станом пошкодження. Навчальні приклади мають охоплювати природну мінливість оселищ і типові помилки дешифрування. Перевірку слід виконувати на незалежних просторових ділянках із поданням матриці помилок, точності й повноти за класами. Важливість ознак характеризує внесок показників у конкретну модель, проте не доводить причинного зв'язку між воєнною подією та екологічною зміною.

Пріоритетність відновлення доцільно визначати з урахуванням інтенсивності порушення, повторюваності впливів, природоохоронної цінності, можливості самовідновлення та безпечного доступу. Для згарищ потрібне спостереження за відновленням рослинного покриву, для механічно порушених ділянок — оцінювання ерозійних процесів, для заплав — контроль водного режиму. Повернення високих значень NDVI не означає повного відновлення видового складу або структури оселища.

Отже, інтеграція оптичних, радарних і теплових спостережень у ГІС дозволяє послідовно аналізувати воєнні трансформації природно-заповідних територій. Узагальнені матеріали демонструють потребу в розділенні типів порушень, часовій прив'язці показників і контролі їхньої достовірності. Результатом є основа для вибору ділянок додаткових обстежень, визначення пріоритетів відновлення та побудови довготривалого моніторингу. Наступний етап передбачає апробацію моделі й уточнення дистанційних оцінок за доступними наземними даними.

Список використаних джерел

1. Трофимчук О.М., Адаменко О.М., Триснюк В.М. Геоінформаційні технології захисту довкілля природно-заповідного фонду /Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України; Івано-Франківський нац. тех. ун-т нафти і газу. - Івано-Франківськ :Супрун В.П., 2021. – 343 с.// ISBN 978-617-7468-53-9 10.3997/2214-4609.201902083

8.. Tymchuk V., Trysnyuk V. The systematic review of variety of military, weapon, combat and warfare system-of-systems wuth their new classification and ontology depiction for further concept and design development for the Armed Forces of Ukraine. Міжнародний науковий журнал "Military Science". Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України. Том 2, № 1. 2024 р. с. 102-116. ISSN (online): 2786-9326.

Першочергові заходи з оцінки забруднення земель сільськогосподарського призначення внаслідок збройної агресії

Хижняк С.В., Коверсун І.В., Коваль Г.В., Войціцький В.М.

(Національний університет біоресурсів і природокористування України, E - mail: khs2014@ukr.net)

Повномасштабна збройна агресія Російської Федерації проти України спричинила масштабні руйнування житлової, промислової та критичної інфраструктури, ушкодження земельних ресурсів. Наразі, внаслідок забруднення, мінування та ведення бойових дій непридатними до використання на території України є майже 6 млн. гектарів земель сільськогосподарського призначення. Відновлення продуктивності земельних ресурсів та мінімізація негативних наслідків забруднення потребує проведення низки необхідних експертиз. Першочергові заходи регламентуються чинним законодавством України (зокрема, Постанова КМУ №326, Постанова КМУ № 844 та Методика Міндовкілля № 167). Процес оцінки складається з організаційних, безпекових, аналітичних та екотоксикологічних етапів.

Підготовчий етап полягає в очищенні земель сільськогосподарського призначення від вибухонебезпечних предметів,

оскільки роботи на земельних ділянках дозволяються лише після офіційного підтвердження безпеки територій.

Збір попередньої інформації. Аналіз даних про характер бойових дій у регіоні (інтенсивність обстрілів, типи застосованої зброї, наявність фортифікаційних споруд, місця падіння ракет чи безпілотників, пожежі).

Польовий відбір проб ґрунту. Проводиться безпосередньо на ушкоджених ділянках та на фонових (неушкоджених) територіях для порівняння. Проби відбирають з різних глибин (зазвичай 0–20 см, 20–40 см тощо), оскільки різні хімічні речовини мають різну рухливість у ґрунтовому профілі.

Лабораторний аналіз (ключові показники) для визначення концентрації забруднюючих речовин (нафтопродуктів, свинцю, кадмію, миш'яку, сірки тощо). Виявлення та порівняння ступеня забруднення з встановленими санітарно-гігієнічними нормативами, які визначають критерії безпечності для здоров'я людини, зокрема, перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК). При дослідженні стану довкілля внаслідок його забруднення токсичними речовинами провідна роль належить аналітичним фізико-хімічним методам. Серед низки аналітичних фізико-хімічних методів для виділення і очищення досліджувальних речовин використовуються, як правило, хроматографічні та електрофоретичні методи, а для ідентифікації і кількісного визначення речовин – спектроскопічні, електрохімічні, імунологічні та радіометричні методи.

Екологічна експертиза проводиться із залученням методів біоіндикації та біотестування. До чутливих ґрунтових тест-організмів належать певні мікроорганізми, найпростіші (ґрунтові амеби, інфузорії), личинки комах, деякі види гризунів та земноводних. Чутливими до забруднення ґрунту тест-організмами є ґрунтові черви *Eisenia fetida*. Дослідження з їх використанням проводять згідно вимог ДСТУ ISO 11268-1:2003 та ДСТУ ISO 11268-2:2003.

Фітоіндикаторами забруднення ґрунту є певні види рослин чи їхні угрупування, наприклад, ґрунтові водорості, лишайники, мохи, хвоя голонасінних, однодольні рослини (зокрема, пшениця, жито, кукурудза) та дводольні рослини (овочеві, бобові, олійні) та інші рослини. Дослідження проводять згідно, ДСТУ ISO 11269-1:2004 та ДСТУ ISO 11269-2:2002.

Отримані дані про ступінь забруднення ґрунтів сільськогосподарського призначення є основою комплексної оцінки їхнього екологічного стану, придатності для вирощування безпечної продукції та розрахунку заподіяних збитків. Зокрема, це необхідно при

розробкці заходів із відновлення земель. На основі типу та рівня забруднення визначається стратегія відновлення ґрунту (ремедіація), наприклад, вапнування, внесення сорбентів, фіторемедіація. Застосовують рекультивацію - ландшафтне відновлення та повернення в агросектор. Якщо рівень забруднення критичний і відновлення економічно недоцільне, застосовують методи консервації (виведення з сільськогосподарського використання під заліснення чи залуження).

Екосистемний вимір відновлення та сталої реінтеграції тимчасово окупованих територій України

Жарова Л., Хлобистов Є.В.

(Національний університет «Києво-Могилянська академія», E-mail: l.zharova@ukma.edu.ua, ievgen.khlobystov@ukma.edu.ua)

Екосистемний вимір повоєнного відновлення пов'язаний з розумінням складності та послідовності задач, в основі яких – оцінка заподіяної шкоди та прогнозування її наслідків на середню і довгострокову перспективу. За розрахунками Державної екологічної інспекції України, станом на кінець 2024 р. збитки, завдані довкіллю збройною агресією, становили понад 3,15 трлн грн, з них 1,118 трлн грн – збитки об'єктам природно-заповідного фонду (ПЗФ). Близько 514 об'єктів ПЗФ площею 0,8 млн га залишаються під окупацією, понад 900 об'єктів на площі 1,24 млн га зазнали суттєвих пошкоджень [1].

Розподіл збитків територіально нерівномірний. Найвищий рівень ураження мають Донецька і Луганська області, де руйнування промислових, хімічних і шахтних об'єктів формує стійкі «токсичні ландшафти». Високе навантаження зазнають Запорізька, Харківська, Миколаївська та Херсонська області (забруднення повітря і вод, порушення гідрологічного режиму, наслідки руйнування Каховської ГЕС), помірне – центральні області [1]. Окремим чинником є ландшафтні пожежі, які дослідники розглядають як застосування «вогню як зброї» [2].

Екосистемні послуги являють собою сукупне значення впливу природних ресурсів та довкілля на людину та всі форми її життєдіяльності: виробничу, соціальну, фізіологічну тощо. Їх скорочення – результат зміни структури та складу екосистем. Проєкт Стратегії управління екосистемними послугами до 2030 р. [3] фіксує відсутність грошової оцінки природного капіталу як об'єкта управління, однак не враховує віддалених у часі наслідків.

Основні виклики для визначення відтермінованих економічних наслідків скорочення екосистемних послуг за умов продовження бойових дій такі:

1) натурні дослідження, потрібні для оцінки змін продуктивності екосистем, за умов війни проводити складно, а інколи практично неможливо;

2) реальний вплив зміни екосистемних послуг на господарські процеси залежить від характеру економіки, трудового потенціалу та інвестиційних ресурсів, а повоєнне використання постраждалих територій поки не визначене;

3) вартісна оцінка залежить від готовності суспільства користуватися цими послугами, зокрема від статево-вікової структури населення постраждалих і деокупованих територій;

4) методичні дослідження скорочення екосистемних послуг мають здійснюватися вже зараз – для обґрунтування позиції України на міжнародних майданчиках і в судових процесах щодо компенсації шкоди довкіллю.

Стале відновлення ТОТ відбувається послідовно: 1) відновлення критичної інфраструктури; 2) відновлення економічного потенціалу; 3) відновлення соціальної стабільності та забезпечення екологічної безпеки; 4) створення територіальної системи «точкового зростання» та визначення місця регіону в міжнародному поділі праці [4]. На третьому етапі особливого значення набуває гармонізація екологічного законодавства з правом ЄС у межах Глави 27 acquis communautaire. Наближення вимог щодо води, повітря, поводження з відходами та промислових викидів доцільно розглядати не як формальну умову вступу до ЄС, а як інструмент інвестиційної привабливості та довгострокової конкурентоспроможності реінтегрованих територій.

Реінтеграція не обмежується запровадженням урядування та українських інституцій: територія має набути самодостатньої моделі регіонального розвитку. Звідси потреба в окремих моделях для Криму (біосферний і рекреаційний потенціал, дефіцит води), Донбасу (рекультивація «токсичних ландшафтів», затоплення шахт, забруднення підземних вод), Півдня (наслідки руйнування Каховської ГЕС, зрошення, водно-болотні угіддя) та прикордоння (лісовідновлення, моніторинг прикордонних екосистем).

Практичними інструментами «зеленого відновлення» є розширення мережі ПЗФ, ревайлдинг і консервація забруднених сільськогосподарських земель [5], а також оцінка пожеж і стану лісів у важкодоступних районах за даними ДЗЗ (NASA FIRMS, Copernicus EFFIS) та ГІС-моделювання [2].

Висновок. Менеджмент сталої реінтеграції ТОТ України є стратегією, що передбачає консенсус і баланс інтересів, планування, відповідальність і моніторинг виконання, а також міжнародну підтримку. Екосистемні послуги як об'єкт управління можуть стати основою моделі врахування особливостей реінтеграції за різних суспільних умов. Багатофакторна модель впливу здатна стати ядром інформаційно-аналітичної системи еколого-економічних взаємодій з даними ДЗЗ, оцінками збитків і соціально-демографічними показниками.

Список літератури

1. Грушка В. В., Суматохіна І. М., Сизенко О. В. Просторова диференціація екологічних збитків війни в Україні та її вплив на сталий розвиток регіонів. Економіка та суспільство. 2025. Вип. 80. С. 155–165. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-80-77

2. Уліганець С., Сировець С., Мельник Л., Довгань Н. Екологічні наслідки воєнних дій на території України: моніторинг впливу пожеж. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки. 2025. № 1(61). С. 58–67.

3. Проєкт Стратегії формування та реалізації державної політики у сфері управління екосистемними послугами на період до 2030 року. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: https://surl.li/lavbvw

4. Zharova L., Khlobystov I. Reintegration of temporarily occupied territories of Ukraine based on sustainability. Актуальні питання економічних наук. 2025. № 17. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.17846453

5. Кученко Б. Як війна впливає на природу України та чому збереження й відновлення природних екосистем є важливим у повоєнному відновленні. ГО «Екодія», 2023. Цит. за посиланням: https://ecoaction.org.ua/iak-vijna-vplyvaie-na-pryrodu.html

Геоінформаційне оцінювання екологічних ризиків колишніх військових об'єктів за даними БПЛА та наземних досліджень

Шумейко В.О., Мосійчук Д.І.

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ

Повернення колишніх військових об'єктів до цивільного використання потребує оцінювання накопиченого забруднення та порушень природних компонентів. На таких територіях можуть поєднуватися залишки паливно-мастильних матеріалів, забруднені ґрунти, змінений дренаж, насипи, оголені поверхні та деградований рослинний покрив. Просторова неоднорідність цих впливів ускладнює вибір репрезентативних точок контролю. Поєднання безпілотної аерозйомки, лабораторної аналітики й геоінформаційних систем

створює основу для послідовного обстеження та визначення пріоритетів реабілітації.

Мета роботи — обґрунтувати технологічну послідовність оцінювання екологічного стану колишніх військових об'єктів із поєднанням даних БПЛА, наземного відбору проб та просторового моделювання. Об'єкт дослідження — природно-техногенні комплекси демілітаризованих територій; предмет — методи інтеграції дистанційних ознак, лабораторних показників і характеристик міграції забруднювачів у ГІС.

Початковий етап передбачає збирання відомостей про попереднє використання ділянки, розташування складів, ремонтних майданчиків, паливного господарства та місць можливого накопичення відходів. Формують концептуальну схему «джерело — шлях перенесення — об'єкт впливу», яка пов'язує потенційні осередки з поверхневим стоком, підземними водами, ґрунтом і населенням. Подібна логіка використовується в оцінюванні забруднених ділянок для встановлення можливих шляхів експозиції [1]. Вона визначає зміст наступних вимірювань.

Демілітаризація не означає автоматичної безпечності доступу. До початку наземних робіт необхідно встановити допустимі маршрути та наявність обмежень, пов'язаних із вибухонебезпечними предметами. Відбір проб і встановлення геодезичних опор виконують лише на ділянках, доступ до яких підтверджено відповідальними службами. Аерозйомку планують з урахуванням чинного режиму використання повітряного простору та можливостей безпечного запуску. Дані БПЛА не підтверджують відсутності підземних небезпечних об'єктів.

Аерознімальні роботи доцільно проводити серіями узгоджених місій над імовірними осередками та контрольними ділянками. RGB-знімання забезпечує ортофотоплани, текстурні характеристики і фотограмметричні моделі поверхні; мультиспектральне — ознаки стану рослинності. Деталізація залежить від параметрів камери, висоти польоту й умов знімання. Параметри польоту визначають за вимогами до деталізації.

Просторову точність контролюють за незалежними перевірними точками, відокремленими від опорних. Застосування RTK або PPK поліпшує геопозиціонування, однак не усуває потреби в контролі результату. Для повторних зйомок забезпечують зіставність освітлення, сезонної фази та радіометричного калібрування. Необхідно розрізняти цифрову модель поверхні, яка включає рослинність і споруди, та модель рельєфу. Використання першої для моделювання стоку без очищення від сторонніх об'єктів може спотворювати напрямки дренажу.

Вибір індексів потребує врахування їхніх спектральних визначень [2]. Індексний аналіз включає NDVI, SAVI та показники червоного краю за наявності відповідних каналів. Водні індекси обирають за конкретним визначенням і спектральним складом сенсора: варіант NDWI для відкритої води використовує зелений і ближній інфрачервоний канали, тоді як MNDWI потребує короткохвильового інфрачервоного каналу SWIR. Його не можна обчислити зі звичайного набору RGB, red-edge і NIR. За відсутності SWIR доцільно залучати відповідні супутникові матеріали або змінювати перелік індикаторів.

Спектральні аномалії рослинності та ґрунтів використовують для попереднього зонування. Зміна індексу може бути пов'язана із забрудненням, водним дефіцитом, перезволоженням, механічним ущільненням або відмінностями видового складу. Тому концентрації важких металів, нітратів і нафтопродуктів не слід встановлювати за індексами без локального калібрування. Залежності між спектральними ознаками та лабораторними результатами потребують незалежної перевірки і застосовні в межах умов, представлених у вибірці.

План відбору проб поєднує фонові ділянки, регулярні спостереження та цільові точки в імовірних осередках забруднення. У вихідному підході передбачено дослідження шарів 0–10, 10–30 і 30–50 см; фактичну глибину уточнюють відповідно до ґрунтових горизонтів і завдань обстеження. Фіксують координати, дату, глибину, тип поверхні, умови відбору та лабораторний метод. Для контролю якості передбачають повторні проби й відповідні лабораторні процедури, а значення нижче межі визначення позначають окремо.

Для просторової інтерполяції можуть застосовуватися IDW або кригінг. Вибір методу залежить від щільності проб, просторової структури даних і наявності виражених меж між зонами. Кригінг потребує обґрунтованої варіограмної моделі; проста інтерполяція не відтворює фізичний механізм міграції. Якість оцінюють на контрольних точках або просторово розділених підвибірках. Ділянки поза достатнім покриттям вимірюваннями позначають як зони підвищеної невизначеності, а не як достовірно чисті території.

Модель рельєфу та гідрографічні шари дають змогу визначати схили, пониження і потенційні напрямки поверхневого перенесення. Геологічна будова, проникність порід і глибина підземних вод характеризують можливість подальшої міграції. Ці властивості слід поєднувати з даними про конкретні речовини, оскільки їхня рухливість залежить також від кислотності, гранулометричного складу й органічної речовини ґрунту. Напрямок поверхневого стоку не можна безпосередньо ототожнювати з напрямком руху підземних вод.

Інтегральне оцінювання пропонується будувати на нормованих показниках стану ґрунтів і рослинності, поширення забруднення та умов його перенесення. Для кожного показника визначають напрям зміни небезпеки, спосіб нормування й вагу. Підсумкові бали мають супроводжуватися первинними значеннями, щоб локальне критичне перевищення не приховувалося усередненням. Порогові межі категорій необхідно обґрунтовувати й перевіряти, а ваги — аналізувати на чутливість. Бальна оцінка є інструментом ранжування і не замінює кількісного оцінювання експозиції.

ГІС-база об’єднує ортофотоплани, точки проб, концентрації за глибинами, контури потенційних осередків і шляхи перенесення. Для кожного шару зберігають джерело, дату, точність та обмеження інтерпретації. Потрібно відокремлювати виміряні значення, інтерпольовані поля і сценарні результати. Паспорт ділянки має містити перелік досліджених речовин, оцінку невизначеності, обґрунтовані обмеження використання й потребу в додаткових дослідженнях. Веб-ГІС може забезпечувати доступ до цих відомостей відповідно до прав користувача.

Рішення щодо реабілітації приймають з урахуванням властивостей забруднювачів, шляхів впливу та запланованого використання території. Можливі локальна санація, стабілізація ґрунтів, інженерні бар’єри або біологічні методи, придатність яких перевіряють окремо. Саме значення інтегрального індексу не є достатньою підставою для вибору технології. Ефективність заходів оцінюють повторними вимірюваннями в узгоджених точках, контролем підземних вод за потреби та аналізом відновлення рослинного покриву.

Отже, поєднання БПЛА, наземного контролю та ГІС формує послідовну технологію обстеження колишніх військових об’єктів. Дистанційні матеріали уточнюють просторову структуру території та план відбору проб, лабораторні результати підтверджують забруднення, а геоінформаційне моделювання забезпечує зонування і вибір пріоритетів відновлення. Подальша апробація має перевірити відтворюваність індексного аналізу, точність просторових моделей і стійкість категоризації на ділянках із різною історією військового використання.

Список використаних джерел

1. Tymchuk V., Trysnyuk V. The systematic review of variety of military, weapon, combat and warfare system-of-systems wuth their new classification and ontology depiction for further concept and design development for the Armed Forces of Ukraine. Міжнародний науковий журнал “Military Science”. Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України. Том 2, № 1. 2024 р. с. 102-116. ISSN (online): 2786-9326.

9. Триснюк В.М., Єгоров В.О. Математична модель розподілу засобів радіомоніторингу на спостереження супутникових каналів зв’язку із використанням

нейронних мереж. Екологічна безпека та природокористування, 1(53) 2025 с.132-139 ISSN: 2411-4049.
https://doi.org/10.32347/2411-4049.2025.1.132-138

Експедиційні дослідження природоохоронних територій в умовах війни

Л. Горошкова, О. Меньшов, В.Триснюк, В. Охарєв
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ «Інститут геології»
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України
E-mail: goroshkova69@gmail.com; menshov.o@ukr.net

Повномасштабна військова агресія Російської Федерації проти України створила принципово нові умови для функціонування природоохоронних територій, зумовивши виникнення додаткових екологічних загроз та істотне ускладнення проведення наукових досліджень. Особливо вразливими виявилися природні комплекси, розташовані поблизу районів ведення бойових дій, об'єктів критичної інфраструктури та територій, що зазнають масштабних змін природних умов унаслідок воєнних руйнувань. За таких обставин особливого значення набувають експедиційні дослідження, які дозволяють отримувати первинну інформацію безпосередньо на місцевості, фіксувати просторові особливості трансформації природного середовища та формувати емпіричну основу для подальшого оцінювання екологічних наслідків війни.

Показовим прикладом є острів Хортиця, розташований у межах міста Запоріжжя між Старим і Новим руслами річки Дніпро. Територія острова має особливу природоохоронну, історико-культурну та ландшафтну цінність і входить до складу Національного заповідника «Хортиця». Водночас її географічне положення зумовлює залежність стану природних комплексів від гідрологічного режиму Дніпра, промислового й урбанізованого впливу Запорізької агломерації, а в сучасних умовах – і від наслідків військових дій. Тому дослідження цієї території потребують комплексного підходу, який передбачає одночасне вивчення водного середовища, ґрунтового покриву та донних відкладів.

Особливого значення для природних комплексів Хортиці набуло руйнування Каховської гідроелектростанції 6 червня 2023 року.

Знищення Каховського водосховища та подальша зміна гідрологічного режиму Нижнього Дніпра спричинили масштабну трансформацію прибережних і острівних екосистем. Одним із найбільш помітних наслідків для території Національного заповідника стало зникнення природних озер, які раніше були важливими компонентами його ландшафтної та гідрологічної структури. Це не лише змінило умови існування водних і прибережних екосистем, а й створило передумови для трансформації донних відкладів, оголення раніше затоплених поверхонь, зміни ґрунтових процесів та активізації взаємодії між атмосферними, водними й ґрунтовими чинниками.

У межах досліджень, що проводилися на території острова Хортиця, особливу увагу було приділено вивченню ґрунтів і донних відкладів озер, які зникли внаслідок зміни гідрологічного режиму. Дослідження мали комплексний характер і передбачали послідовне вивчення магнітних властивостей природних утворень, ідентифікацію магнітних мінералів, визначення їхніх розмірів і доменного стану. Такий підхід дозволяє не лише охарактеризувати сучасний стан досліджуваних компонентів природного середовища, а й отримати додаткову інформацію щодо походження мінеральних частинок та співвідношення природних і техногенних чинників їх формування.

Методична основа досліджень включала комплекс польових і лабораторних робіт. Важливим етапом стало відбирання зразків ґрунтів та донних відкладів із подальшим проведенням магнітометричних і магнітомінералогічних досліджень. Застосування зазначеного комплексу методів має особливе значення для природоохоронних територій, оскільки магнітні характеристики ґрунтів і донних відкладів відображають як особливості їхнього природного генезису, так і можливі прояви техногенного навантаження. Зокрема, зміни співвідношення магнітних фракцій, розмірів зерен та їхнього доменного стану можуть використовуватися для виявлення внеску продуктів промислової діяльності, процесів горіння та інших антропогенних джерел мінеральної речовини. Водночас інтерпретація отриманих результатів потребує врахування природного літогенного та педогенного походження магнітних мінералів.

Отримані результати свідчать про складний генезис магнітної фракції досліджуваних природних утворень. Встановлене співіснування мінералів літогенного, педогенного та ймовірного техногенного походження вказує на необхідність урахування різних механізмів формування сучасного стану ґрунтів і донних відкладів. Зокрема, на території острова традиційні антропогенні впливи, пов'язані з функціонуванням промислової агломерації Запоріжжя, доповнилися

новими чинниками, зумовленими повномасштабною війною. При цьому важливо розмежовувати безпосередній вплив військових подій та опосередковані наслідки, пов'язані зі зміною природних умов, оскільки виявлення окремих мінеральних компонентів саме по собі не є достатньою підставою для однозначного встановлення їхнього військового походження.

Важливим результатом досліджень стало також усвідомлення необхідності розглядати наслідки руйнування Каховської ГЕС не лише як зміну гідрологічного режиму річки Дніпро, а і як масштабну трансформацію всієї системи природних комплексів заповідної території. Зникнення озер призвело до втрати специфічних водних оселищ, зміни умов зволоження прилеглих ґрунтів і порушення сформованих зв'язків між водними та наземними екосистемами. Таким чином, природоохоронна територія зазнала одночасного впливу кількох груп чинників, серед яких гідрологічні зміни, традиційне антропогенне навантаження та наслідки військових дій.

Досвід проведення досліджень на острові Хортиця демонструє, що в умовах війни експедиційна діяльність набуває не лише наукового, а й особливого природоохоронного значення. Насамперед вона забезпечує можливість документування змін природного середовища, які можуть бути швидкоплинними або незворотними, формування первинної бази даних для подальшого моніторингу та встановлення просторових закономірностей трансформації природних комплексів. Водночас проведення таких робіт потребує врахування безпекових обмежень, доступності окремих ділянок, можливих наслідків обстрілів, наявності вибухонебезпечних предметів та необхідності узгодження дослідницької діяльності з адміністрацією природоохоронних установ.

Важливою особливістю експедиційних досліджень у воєнний період є необхідність поєднання безпосередніх польових спостережень із лабораторними методами, аналізом матеріалів попередніх досліджень та даних дистанційного моніторингу. Це дозволяє компенсувати обмеження доступу до окремих територій, зіставляти сучасний стан природних компонентів із попередніми характеристиками та уникати необґрунтованого ототожнення всіх виявлених змін із наслідками військових дій. Особливого значення набуває забезпечення порівнянності результатів у часі, що створює основу для оцінювання довгострокових тенденцій екологічної трансформації природоохоронних територій.

Дослідження острова Хортиця підтверджують необхідність розвитку комплексних експедиційних підходів до оцінювання стану природоохоронних територій в умовах війни. Використання

магнітомінералогічних методів у поєднанні з польовими дослідженнями ґрунтів і донних відкладів дозволяє отримувати важливу інформацію про природні та техногенні чинники формування сучасного стану геологічного середовища. Виявлені особливості мінерального складу досліджуваних зразків засвідчують складність процесів, що відбуваються на території острова, та необхідність продовження комплексного моніторингу.

Отже, експедиційні дослідження природоохоронних територій у період воєнного стану слід розглядати як важливий інструмент документування екологічних наслідків війни, оцінювання змін природного середовища та формування наукового підґрунтя для подальшого відновлення порушених екосистем. Приклад острова Хортиця демонструє, що навіть за умов значних безпекових і природно-гідрологічних викликів комплексні дослідження дозволяють отримувати нові наукові результати, необхідні для збереження природної спадщини України та обґрунтування природоохоронних заходів у післявоєнний період.

Геоінформаційне забезпечення оцінювання екологічних ризиків 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 полютантів. 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 ризики 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.

Персоналізований підбір коворкінг-просторів у системі командного бронювання

Аронов А.О., Колпаков Д.О.

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, м. Київ

Розвиток гібридних форматів роботи зумовлює потребу в цифрових платформах, які не обмежуються пошуком вільного робочого місця. Для команд важливими є відповідність простору професійним інтересам, узгодження спільного відвідування та оперативний обмін повідомленнями. Аналіз сервісів Creative States, Platforma, Kooperativ і KONTORA Lviv у кваліфікаційній роботі виявив обмеженість персоналізації та вбудованої командної взаємодії.

Метою роботи є реалізація механізму персоналізованого підбору коворкінг-просторів та його інтеграція з процесом командного бронювання. Об'єктом дослідження є інформаційні процеси пошуку та резервування робочих зон. Предметом є алгоритми зіставлення інтересів, програмні засоби бронювання і взаємодії учасників команди. За основу взято клієнт-серверну платформу на JavaScript і TypeScript, описану в кваліфікаційній роботі [1].

Персоналізація ґрунтується на профілі інтересів користувача та категоріях, пов'язаних із коворкінгами. Після визначення доступних просторів система зіставляє інтереси з тематичними тегами та формує впорядкований перелік рекомендацій. Такий підхід доповнює звичайні фільтри за локацією, вартістю та типом робочої зони. Рекомендаційний

результат слугує підказкою для вибору, тоді як остаточне бронювання залежить від фактичної доступності місць.

У реалізації рекомендаційного модуля передбачено оцінювання подібності наборів інтересів за коефіцієнтом Жаккара, використання історії бронювань і елементів колаборативної фільтрації [1]. Коефіцієнт Жаккара визначається відношенням кількості спільних елементів двох множин до кількості елементів їх об'єднання. Завдяки цьому можна порівнювати профіль користувача з ознаками простору без необхідності задавати однакову кількість інтересів у кожному профілі.

Поєднання явних інтересів і поведінкових даних дозволяє враховувати як зазначені користувачем уподобання, так і попередній досвід бронювання. Для нових користувачів основним джерелом персоналізації залишаються обрані категорії інтересів. Важливо розрізняти релевантність рекомендації та доступність конкретного слота: висока відповідність інтересам не означає можливості бронювання на задану дату.

Командна взаємодія підтримується сутностями Team, TeamMember, TeamInvite і Message. Користувач створює команду, запрошує учасників і координує вибір простору. Для обміну повідомленнями в реальному часі застосовано Socket.IO. Після вибору коворкінгу учасники можуть узгодити дату, зону та параметри спільного відвідування. Така організація пов'язує персональний пошук із командним сценарієм і зменшує потребу переходити до сторонніх засобів комунікації.

Архітектура платформи складається з клієнтської частини на React і TypeScript, серверної частини на Node.js та Express, бази даних PostgreSQL і Prisma ORM. Redis використовується для кешування та обмеження частоти запитів, а Docker Compose для розгортання компонентів. REST API забезпечує доступ до каталогу, профілів, зон і бронювань. Рольова модель розмежовує повноваження користувача, власника, менеджера, працівника рецепції та адміністратора [1].

Життєвий цикл бронювання охоплює пошук простору, вибір доступного слота, створення бронювання, зміну його стану, реєстрацію прибуття та завершення відвідування. Система передбачає сповіщення, список очікування і повторювані бронювання. Працездатність програмних модулів перевіряли за допомогою модульних та наскрізних тестів із використанням Jest і Playwright. У дипломній роботі наведено оцінку відповідності функціональним вимогам, проте ці результати не слід трактувати як доведене статистичне підвищення точності рекомендацій.

Отже, розроблене рішення об'єднує персоналізований підбір коворкінг-просторів, перевірку доступності зон та інструменти

командної комунікації в одному вебсередовищі. Практична цінність полягає в реалізації цілісного сценарію від пошуку місця до завершення відвідування. Подальша оцінка рекомендаційного механізму потребує окремого експерименту з показниками релевантності та порівнянням із базовим пошуком.

Список використаних джерел

1. Колпаков Д. О. Цифрова платформа бронювання коворкінг-просторів з урахуванням інтересів користувачів та підтримкою командної взаємодії на основі JavaScript. Кваліфікаційна робота бакалавра. Київ, 2026.

2. Socket.IO. Documentation. URL: https://socket.io/docs/v4/

Лінеаризація нелінійних вимірювань у задачі оцінювання координат об'єкта

Биль К.І., Терентьєв О.М.

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України.

kirilbyl@gmail.com, o.terentiev@gmail.com

Вступ. У багатьох прикладних задачах стан системи не спостерігається безпосередньо, а доступні вимірювання містять похибки. Фільтр Калмана поєднує модель еволюції стану з новими спостереженнями, забезпечуючи послідовне уточнення оцінки та її невизначеності [1, 2]. Для дослідження нелінійних нестаціонарних процесів важливо розуміти не лише обчислювальну схему методу, а й припущення, за яких його результати мають коректну інтерпретацію. В рамках дисертаційного дослідження, щодо виявлення перспективних, та практично корисних методів для аналізу нелінійних та/або нестаціонарних процесів розглянуто математичну основу фільтра Калмана та розглянути приклад оцінювання координат за нелінійними вимірюваннями.

Математичні основи алгоритму фільтра Калмана.

У дискретному часі лінійна модель у просторі станів задається рівняннями:

$$x_k = F_k x_{k-1} + B_k u_k + w_k,\ z_k = H_k x_k + v_k$$

де x_k – вектор стану, z_k – вектор спостережень, u_k – відомий керувальний вплив, F_k, B_k та H_k – матриці моделі, а w_k і v_k – шум процесу та похибка вимірювання. Їхні коваріаційні матриці позначаються як Q_k і R_k. У стандартній постановці характеристики

збурень вважаються відомими, а шум процесу та вимірювання – некорельованими.

Алгоритм складається з прогнозування та коригування. Спочатку обчислюють апріорну оцінку стану й коваріацію похибки, а після отримання вимірювання визначають коефіцієнт підсилення K та уточнюють оцінку. Класичний фільтр Калмана є оптимальним у середньоквадратичному сенсі за відповідних лінійних і статистичних припущень. Зауважимо, що у загальному випадку нелінійності або помилкової специфікації моделі ця властивість не гарантується [1, 2].

Опис експерименту.

Розглядається прикладна задача визначення координат об'єкта на площині за кутами, виміряними з відомих пунктів спостереження. Для i-го пункту спостереження модель вимірювання має вигляд:

$$z_i = arctan\left(\frac{y}{x - l_i}\right) + v_i$$

де (x, y) – координати об'єкту, l_i – координата пункту спостереження, z_i – виміряний кут, v_i – похибка.

Залежність є нелінійною, тому біля початкової оцінки координат модель лінеаризують за допомогою розкладу Тейлора. Для вектора поправки $\Delta r = (\Delta x, \Delta y)^T$ одержують наближення $\Delta z \approx H \cdot \Delta r + v$, де H – матриця чутливості кутових вимірювань до координат. Поправку можна визначити методом зважених найменших квадратів:

$$\Delta r = (H^T R^{-1} H)^{-1} H^T R^{-1} \Delta z$$

де R – коваріаційна матриця похибок кутових вимірювань.

Таблиця 1. Початкові значення для прикладу.

i	1	2	3	Одиниці виміру
l_i	0	152,5	305	метр
z_i	30,1	45,0	73,6	градус
r_i	0,01	0,01	0,04	градус^2

На основі початкових даних вимірюваннями, з таблиці 1, і початкової оцінки (369; 213,5) м, що взято з рисунку 1, було отримано поправку, що приблизно становить (−1,536; 0,549) м. Відповідно, скоригована оцінка координат становить (367,464; 214,05) м. Загалом приклад демонструє, як нелінійні вимірювальні співвідношення можуть бути локально лінеаризовані для уточнення оцінки стану.

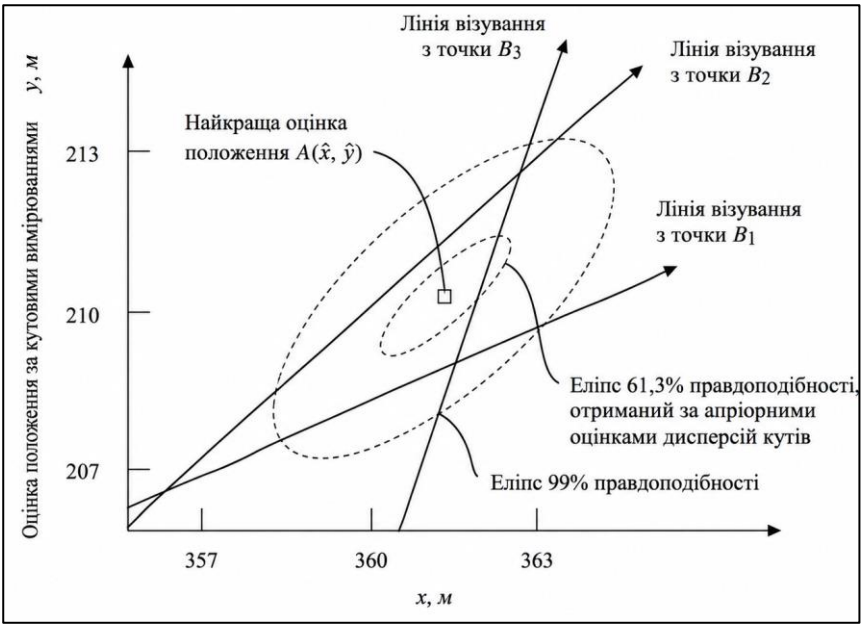


Рис. 1. Числовий приклад оцінювання положення за допомогою кутових вимірювань.

Висновки.

Фільтр Калмана є базовим методом рекурсивного оцінювання стану, який поєднує модель динаміки, вимірювання та оцінку невизначеності. Приклад визначення координат демонструє практичне значення моделі спостережень і лінеаризації в задачі з нелінійними вимірюваннями. Подальше застосування підходу до нелінійних і нестаціонарних систем потребує відповідної моделі динаміки та обґрунтованого вибору модифікації алгоритму, зокрема розширеного фільтра Калмана. Для багатоджерельних задач, що може бути майбутньою новизною дисертаційного дослідження, для чого необхідно буде додатково враховувати різні функції спостережень, часову узгодженість і відмінності в точності джерел.

Список літератури.

1. Kalman R. E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. Journal of Basic Engineering. 1960. – Vol. 82, No. 1. – P. 35-45. – DOI: https://doi.org/10.1115/1.3662552 (дата останнього доступу 2026-10-28).

2. Welch G., Bishop G. An Introduction to the Kalman Filter. Technical Report TR 95-041. Chapel Hill: University of North Carolina, 1995. – URL: https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/WELCH/kalman.html (дата останнього доступу 2026-10-28).

Математичне моделювання гідрогеологічних умов Київської промислово-міської агломерації для обгрунтування створення мережі локального (бюветного) водопостачання населення під час надзвичайних ситуації або воєнного стану

Руденко Ю.Ф., Юркова Н.А., Гураль О.В., Саприкін В.Ю.
(Державна установа "Науково-інженерний центр радіогідрогеоекологічних полігонних досліджень НАН України"), E-mail: rud@hydrosafe.kiev.ua

Повномасштабна збройна агресія російської федерації спричинила значний негативний вплив на всі без винятку галузі економіки України та сфери суспільного життя, зокрема і на галузь водного господарства.

У 2023-2025рр. Національною академією наук України були профінансовані прикладні науково-дослідні роботи на тему: «Підвищення надійності водопостачання населення під час можливих надзвичайних природних та техногенних ситуацій або запровадження військового стану за рахунок захищених підземних вод (для міст України, де мешкають понад 100 тис. осіб)»

Було виконано аналіз та узагальнення геолого-гідрогеологічних і гідрохімічних даних по цих містах та прилеглим територіям, а також забезпеченості їх затвердженими експлуатаційними запасами і прогнозними ресурсами підземних вод. Створені гідрогеологічні моделі для територій з різними геолого-гідрогеологічними умовами. Надані рекомендації щодо організації розгалуженої системи бюветного водопостачання з автономним енергозабезпеченням насосного обладнання.

Розглянемо ситуацію та пропозиції відносно побудови мережі локального водопостачання м. Києва. Місто Київ – столиця України з населенням 2 962,180 тис. осіб (станом на 01.01.2021). Водопостачання міста Київ здійснюється за рахунок поверхневих вод Дніпра та Десни, а також підземних вод. У районі міста Київ знаходяться 36 ділянок родовищ підземних вод, затверджені експлуатаційні запаси підземних вод на яких становлять біля 700 тис. м^3/добу, а їх використання менше за 10%.

Основні водоносні горизонти (комплекси), що експлуатуються в межах міста, відносяться до сеноман-келовейських та середньоюрських (байоських) відкладів. Сеноман-келовейський водоносний комплекс поширений в межах Київської міської агломерації (КПМА) повсюдно.

Потужність водовмісних порід верхньої товщі комплексу змінюється від 5-20 до 26-30 м, глибина залягання від 60 до 150 м, дебіти свердловин - у межах 1,6-4,7 дм^3/с.

Нижня частина водовмісних відкладів представлена товщею зкременілих алевритів, алевролітів, вапняків, пісковиків, мергелів. Потужність її сягає 10-41 м. Відклади характеризуються високими фільтраційними властивостями. Водопровідність коливається в межах 50-700 м^2/добу, дебіти свердловин змінюються в межах 5-40 дм^3/с, переважають 15-25 дм^3/с.

Внаслідок тривалої та інтенсивної експлуатації підземних вод сеноман-келовейського водоносного комплексу в районі Києва, на правому і лівому березі р.Дніпро утворилися дві депресійні лійки радіусом від 3-5 до 10-15 км із зниженням п'єзометричного рівня в їх центрі на 10-20 м.

Водовмісні породи байоського водоносного горизонту представлені пісками дрібнозернистими, частіше середньозернистими, крупнозернистими до гравелистих, що чергуються з прошарками та лінзами глин. Загальна потужність піщаних відкладів змінюється від 8 до 43 м. Водопровідність порід складає 120-500 м^2/добу, глибина залягання водоносного горизонту змінюється від 180 м на заході до 350 м на сході району, величина напору - від 154 до 287 м.

Режим водоносного горизонту байоських відкладів суттєво порушений в умовах інтенсивної експлуатації. Під час його максимальної експлуатації (друга половина 80-х років минулого століття) виникла депресійна лійка значних розмірів, радіус якої сягав 60 км, а загальне зниження п'єзометричного рівня поверхні в її центральній частині - 100-110 м.

Протягом 2016-2018 років, за технічним завданням ПрАТ «Акціонерна компанія «Київводоканал», була виконана повторна геолого-економічна оцінка експлуатаційних запасів питних підземних вод в межах ділянок цього підприємства. За результатами цих робіт були зменшені затверджені експлуатаційні запаси майже на 210 тис.м^3/добу.

При виконанні 3-х різних варіантів прогнозу на гідрогеологічній моделі КПМА послідовно було враховано наступне: 1-й варіант – водовідбір відповідав заявці АК «Київводоканал»; 2-й варіант – були враховані всі водозабори міста, які працюють на затверджених та незатверджених запасах (720 тис.м^3/добу); 3-й варіант – додатково враховувалися всі водозабори в радіусі 25 км від міста (понад 1 млн. м^3/добу).

Основний висновок - водообмін поверхової водоносної системи, що розглядається, забезпечує формування експлуатаційних запасів підземних вод за рахунок природних та залучених ресурсів і в меншій мірі ємкісних запасів в усіх розглянутих варіантах прогнозу. При цьому ще маємо певний резерв по відношенню до допустимих знижень.

Було визначено необхідну кількість питної води та пунктів локального водопостачання для м. Київ. Виходячи з кількості населення міста (2962,2 тис. осіб), норми водопостачання на 1 людину під час можливих надзвичайних ситуацій або воєнних дій (5-7 л на добу), а також кількості населення, яке може обслуговуватись з одного бювету (5 тис. мешканців міста), були виконані відповідні розрахунки, що вміщені в таблиці.

Кільк. населен. тис. осіб	Норма водопост. на 1 особу, л/добу	Кільк. насел., закріпл. за1 бювет., тис. осіб	Необхід. кільк. бюветів, штук	Дебіт 1 бювету, $м^3$/добу	Загальний дебіт всіх бюветів, $м^3$/добу
2962,2	5,0	5,0	592	25,0	14800,0
	7,0	5,0	592	35,0	20720,0

Таким чином, для організації локального водопостачання міста необхідно передбачити використання від 14,8 до 20,72 тис. $м^3$/добу води питної якості.

Вирішити це питання за рахунок підземних вод можливо, зважаючи на величезну кількість невикористаних експлуатаційних запасів підземних вод. Що стосується кількості бюветів, то тут виникає певне питання. По-перше, ці бювети повинні бути пов'язані з розміщенням укриттів від ворожих обстрілів, і самі бути досить захищеними. По-друге, вірогідно, буде необхідно споруджувати нові досить глибокі свердловини (від 120-150 м до 200-300 м).

Крім того, слід розглянути питання щодо можливості обслуговування з одного бювету 10 тис. мешканців, що дозволить зменшити кількість пунктів локального водопостачання вдвічі (до 300).

Безумовно, що всі питання, пов'язані з організацією локального водопостачання м. Києва (розташування бюветів, буріння свердловин, автономне енергопостачання, встановлення за необхідності компактних систем поліпшення якості води, фінансування запланованих робіт та ін.), повинні вирішуватися з місцевими органами управління з залученням фахівців підприємств, які мають досвід у виконанні запланованих робіт.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

Інформаційно-комунікаційні технології
для перемоги та відновлення

Колективна монографія
за матеріалами
XXV Міжнародної науково-практичної конференції
«Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток»
(Київ, 12-13 жовтня 2026 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.

ТОВ "ЮСТОН ІНФО"
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції серія ДК No 8361 від 16.06.2025 р.

Підписано і здано до друку «30» 10. 2026. Формат 60Х84 1/16.
Папір офсетний. Гарнітура Таймс. Офсетний друк.
Умовн. друк. арк. 19,4. Обл.-вид. арк. 21,1
Тираж 300. Замовлення № 301026

КИЇВ 2026