

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
І ГЛОБАЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ
ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ім. В.М. ГЛУШКОВА
ІНСТИТУТ ЕКОНОМІКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ

№ 3 (12), липень-вересень 2018 р.

Міжнародний науковий журнал

Заснований у липні 2014 р.
Виходить 4 рази на рік

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України,
в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових
ступенів доктора і кандидата наук за напрямками фізико-математичні, технічні та
економічні науки

(Наказ Міністерства освіти і науки України від 09.03.2016. № 241)

КИЇВ 2018

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор – **С.О. Довгий**, д-р фіз.-мат. наук, академік НАНУ
Заступник головного редактора – **О.М. Трофимчук**, д-р техн. наук,
чл.-кор. НАНУ

Члени редколегії:

В.П. Вишневський, д-р екон. наук,
акад. НАНУ
В.М. Геєць, д-р екон. наук, акад. НАНУ
Л.Ф. Гуляницький, д-р техн. наук
Ю.І. Калюх, д-р техн. наук
Ю.Г. Кривонос, д-р фіз.-мат. наук,
акад. НАНУ
С.І. Левицький, д-р екон. наук
Р.М. Лепа, д-р екон. наук
О.О. Любіч, д-р екон. наук
В.О. Романов, д-р техн. наук

В.А. Пепеляєв, д-р фіз.-мат. наук
В.О. Петрухін, д-р техн. наук
С.К. Полумієнко, д-р фіз.-мат. наук
О.Г. Рогожин, д-р екон. наук
І.В. Сергієнко, д-р фіз.-мат. наук,
акад. НАНУ
М.І. Скрипниченко, д-р екон. наук,
чл.-кор. НАНУ
Д.В. Стефанишин, д-р техн. наук
П.І. Стецюк, д-р фіз.-мат. наук
В.О. Устименко, д-р фіз.-мат. наук

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА РАДА

О.М. Ведута, д-р екон. наук, проф., Росія
М. Вохозка, проф., Чеська Республіка
Р. Еспехо, проф., Великобританія
А. Крайка, проф., Польща
А. Леонард, проф., Канада
П. Миколайчак, проф., Польща
С.О. Нурмінський, д-р фіз.-мат. наук,
проф., Росія

В.М. Полтерович, д-р екон. наук, проф.,
акад. РАН, Росія
В.І. Суслов, д-р екон. наук, проф.,
чл.-кор. РАН, Росія
Ю.С. Харін, д-р фіз.-мат. наук, проф.,
чл.-кор. НАНБ, Білорусь
Г. Ширз, проф., Великобританія
М. Ячимович, проф., акад. ЧАНМ,
Чорногорія

Рекомендовано до друку Вченою радою Інституту телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України (протокол № 9 від 16.09.2018 р.)

*Журнал публікує оригінальні та оглядові статті, матеріали проблемного та
дискусійного характеру, науково-практичні матеріали з питань математичного
моделювання в різних сферах господарювання, інформаційного забезпечення процесу
моделювання і прогнозування, розвитку кібернетичної складової і застосування
сучасних програмно-апаратних засобів для математичного моделювання.*

ОСНОВНІ ТЕМАТИЧНІ РОЗДІЛИ ЖУРНАЛУ

- Інформаційні технології в економіці
- Математичні та інформаційні моделі в економіці
- Аналіз, оцінка та прогнозування в економіці
- Дискусійні повідомлення

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ

03186, м. Київ, Чоколівський бульв., 13,
Інститут телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України
Телефони: (044) 245-87-97
(044) 524-22-62

Свідоцтво про реєстрацію
КВ № 20259-10659 Р від 14.07.2014

Електронна версія журналу в Інтернеті
www.mmejournal.in.ua українською,
російською та англійською мовами

ЗМІСТ

ДО 100-РІЧЧЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

Трофимчук О.М., Миронцов М.Л.

Сучасні дисертаційні дослідження Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору: екологічна безпека..... 7

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

Миронцов М.Л.

Вектор сучасних досліджень електрометрії нафтогазових свердловин..... 26

Краскевич В.Є., Селіванова А.В.

Інформаційні технології для інноваційного інжинірингу..... 37

Трофимчук О.М., Василенко В.М., Зайцев С.В.

Аналіз систем автоматичного запиту на повторну передачу..... 41

МАТЕМАТИЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ В ЕКОНОМІЦІ

Андрущенко Р.Б., Зайцев С.В., Солдатов А.Ю.

Аналіз методів серіалізації структурованих даних для передачі в протоколах прикладного рівня моделі OSI..... 52

Сидоренко В.Л., Задунай О.С., Азаров С.І.

Методичний підхід до ідентифікації еколого-економічного ризику промислової діяльності..... 71

Кряжич О.О., Коваленко О.В.

Деякі удосконалення математичних основ способу опису забрудненої території..... 80

Стрижак О.Є., Приходнюк В.В., Гайко С.І., Шаповалов В.Б.

Відображення мережевої інформації у вигляді інтерактивних документів. Трансдисциплінарний підхід..... 87

АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ

Стефанишин Д.В.

Проблеми та перспективи гідроакумуляції в контексті раціонального природокористування та екологізації гідроенергетики в Україні..... 101

Лисецький Ю.М. Технології аналізу даних при побудові моделей економічних систем....	114
РЕФЕРАТИ	120
ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ	125

CONTENTS

FOR THE 100th ANNIVERSARY OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE

Trofymchuk O.M., Myrontsov M.L.

Modern dissertation researches of the Institute of Telecommunications and Global Information Space: Environmental safety 7

INFORMATION TECHNOLOGY IN ECONOMY

Myrontsov M.L.

Vector of modern studies of electrometry of oil and gas wells 26

Kraskevich V., Selivanova A.

Information Technologies for Innovative Engineering 37

Trofymchuk O.M., Vasylenko V.M., Zaitsev S.V.

Analysis of automatic request transfer systems 41

MATHEMATICAL AND INFORMATIONAL MODELS IN ECONOMY

Andruschenko R.B., Zaitsev S.V., Soldatov A.Yu.

Analysis of structured data serialization methods for transfer by the application layer protocol of the OSI model..... 52

Sydorenko V.L., Zadunaj O.S., Azarov S.I.

Approach for identification of environmental risk 71

Kryazhych O.O., Kovalenko O.V.

Some improvements in the mathematical foundations of the description of polluted areas 80

Stryzhak O., Prykhodnyk V., Gajko S., Shapovalov V.

Network information display in the form of interactive documents. Transdisciplinarity approach..... 87

ANALYSIS, EVALUATION AND FORECASTING IN ECONOMY

Stefanyshyn D.V.

Problems and prospects of hydro-accumulation in the context of rational nature management and ecologization of hydropower in Ukraine..... 101

Lisetskyi Yu.M.	
Data Analysis Technologies for Building Economic Systems Models.....	114
ABSTRACTS	120
INFORMATION ABOUT THE AUTHORS	125

ДО 100-РІЧЧЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

УДК 504, 528

О.М. ТРОФИМЧУК, М.Л. МИРОНЦОВ

СУЧАСНІ ДИСЕРТАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНСТИТУТУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ І ГЛОБАЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ: ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

***Анотація.** Наведено основні теоретичні і практичні результати, що увійшли в дисертаційні дослідження, які були успішно захищені працівниками (або під їх науковим керівництвом) Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України. Матеріал подано у вигляді анотаційного узагальнення основних наукових друкованих праць у періодичних міжнародних та вітчизняних фахових виданнях, монографіях, матеріалах наукових конференцій та авторських свідоцтв.*

***Ключові слова:** інформаційні технології.*

Вступ

Це остання з трьох статей, мета яких – відмітити історичну дату – сторіччя Національної академії наук [1], згадавши найбільш важливі результати, що увійшли до дисертаційних досліджень, які були успішно захищені безпосередньо співробітниками Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (ІТГП НАНУ) або були захищені під їх науковим керівництвом з моменту створення Спеціалізованої Вченої Ради Д 26.255.01 (при ІТГП НАНУ).

Метою першої статті [2] було викладення основних результатів за спеціальностями «01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи» (три докторські та шість кандидатських робіт) і «05.23.02 – основи і фундаменти» (одна докторська робота), метою другої [3] – викладення результатів досліджень за спеціальністю «05.13.06 – інформаційні технології» (три докторські та сім кандидатських робіт). Цю статтю присвячено висвітленню результатів за спеціальністю «21.06.01 – екологічна безпека».

Зазначимо, що майже всі наведені нижче результати доповідались на щорічних конференціях «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» [4–8], головним організатором яких є ІТГП НАНУ.

1. Основні результати

Розроблення системи екологічного моніторингу природно-заповідного фонду Західного Полісся (2013 р., на здобуття наукового ступеня д.т.н.; науковий консультант чл.-кор. НАНУ, д.т.н. О.М. Трофимчук).

Робота **В.І. Мокрого** [9] присвячена розробленню теоретичних основ створення системи екологічного моніторингу природно-заповідного фонду Західного Полісся та підвищенню інформативності даних для забезпечення управління екологічною безпекою природних і антропогенізованих екосистем на основі комплексного підходу до сучасних інформаційно-аналітичних технологій та інструментальних засобів.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [10–16]:

1. Вперше синтезовано тематичні еколого-картографічні моделі Шацького національного природного парку (НПП), використовуючи профільно-діаграмні характеристики космознімків та топографічні карти. На відміну від існуючих конструктивно-географічних методів, даний підхід забезпечує оперативну класифікацію ступенів гомогенності природних та антропогенно змінених екосистем Західного Полісся. Тематичне застосування ДЗЗ/ГІС-технологій забезпечує кількісне і якісне оцінювання змін морфометричних параметрів лісових і водних екосистем Шацького поозер'я завдяки синтезу даних космічного моніторингу та карт лісонасаджень. На відміну від існуючих методів лісовпорядкування, даний підхід дозволяє уніфікувати використовувані методи для фіксації постмеліоративних, сільватизаційних, рекреаційно-дигресійних та резерватогенних явищ і ефектів, властивих Західнополіським екосистемам, одержувати швидкі способи доступу до просторових даних і економити інформаційні ресурси.

2. Вперше розроблено методологію застосування ДЗЗ/ГІС-технологій оцінок рекреаційного навантаження на акваторію озерних екосистем Шацького НПП шляхом ідентифікації площ рекреаційно-порушеного дна водойм. На відміну від існуючої описової реєстрації рекреаційних навантажень, даний підхід забезпечує об'єктивність первинної, аналітичної і прогностичної екомоніторингової інформації та узгодженість нормативного, організаційного й методичного забезпечення аналізу рекреаційного потенціалу лімносистем.

3. Вперше одержано математичні моделі кінетики флуоресценції хлорофілу рослин Шацького НПП за кореляцією вимірних флуоресцентних параметрів з біофізичними механізмами фотосинтезу як інтегрального параметра стану навколишнього середовища. На відміну від інших біоіндикаційних методів і моделей, запропонований підхід забезпечує розроблення узагальненої динамічної математичної моделі, що відображає різні електрон-конформаційні стани, які відрізняються взаємним розташуванням донорних і акцепторних компонентів та відповідно реакційною здатністю потенційної активності фотосинтетичного апарату. Він дає змогу розв'язати задачу ранньої діагностики якості довкілля, використовуючи диференційну резистентність рослин до забруднень, і одержувати швидкі способи доступу до просторово-часових даних впливу природно-антропогенних факторів на розрахований індекс життєвості рослин та економити інформаційно-технологічні ресурси.

4. Вперше одержано математичні моделі фазових переходів суцесійних процесів лісових угруповань Західного Полісся, що описують зміни листяного насадження на хвойне використанням феноменології екологічних фазових переходів. На відміну від класичних лісотаксаційних методів, пропонується підхід визначення імовірнісних меж зміни видового складу лісомеліорованих екосистем, в умовах обмеженої апріорної інформації про критичні значення фітомаси насадження, дає змогу встановити взаємозв'язок між поточним станом об'єкта і прогнозованими суцесіями та сформувати простір параметрів управління, які визначають тренд змін кількісних і якісних характеристик лісотвірних процесів на територіях Західнополіського регіону.

5. Удосконалено комплексну методологію ідентифікації мульти-спектральних космознімків природних і антропогенних об'єктів ландшафту Шацького НПП шляхом профільно-діаграмного аналізу. На відміну від інших дешифрувальних методів, даний підхід дозволяє виконати тематичну класифікацію результатів дистанційного зондування в умовах обміну даними наземних звірок та незалежними ознаками об'єктів. Використовувані методологічні принципи полігонно-калібрувальних робіт базуються на інтегруванні інформації польового рекогносцирування лісорослинних умов, з фотобіологічними характеристиками рослин для екологічної інтерпретації даних космічного моніторингу. Виміряні інтегральні оптико-спектральні параметри рослин є інформаційно-емісійними індикаторами стану довкілля, оскільки флуоресцентне експрес-тестування має високу чутливість і роздільну здатність, що забезпечує сумісність технічного, інформаційного і програмного забезпечення складових частин комплексного моніторингу лісових екосистем.

6. Отримали подальший розвиток моделі, програмні засоби та інформаційні технології моніторингу поглинання вуглецю, які ґрунтуються на розподіленому оцінюванні поглинання парникових газів. На відміну від інших методів інвентаризації вуглецевого балансу, при визначенні стоку вуглецю територіальної одиниці (Шацького НПП) враховано її особливості, з подальшим узагальненням даних для лісових екосистем Західного Полісся, що дає можливість побудови кадастрів вуглецевого балансу.

7. Отримали подальший розвиток алгоритми адаптації математичних моделей флуоресцентних параметрів рослин Шацького НПП з геоінформаційними системами для просторового аналізу процесів стоку й емісії вуглецю в екосистемах Західного Полісся за рахунок автоматизованого експрес-флуоресцентного нормування фрагментів екосистем із їхньою координатною прив'язкою, а також алгоритми обчислення оцінок і вирішальних правил, що максимально відповідають закономірностям біоіндикації. На відміну від існуючих інерційних і технологічно емних методів радіоізотопних міток та інфрачервоного газоаналізу, даний підхід дозволяє істотно підвищити точність і швидкодію алгоритмів визначення просторово-часових змін киснево-вуглецевого балансу в реальному часі, мінімізувати похибки вимірювань, усунути суб'єктивізм людського фактора та економити інформаційно-технологічні ресурси.

Екологічна безпека техноприродних геосистем регіону (на прикладі Тернопільської області); (2016 р., на здобуття наукового ступеня д.т.н.; науковий консультант чл.-кор. НАНУ, д.т.н. О.М. Трофимчук).

Робота **В.М. Триснюка** [17] присвячена вдосконаленню наукових основ забезпечення екологічної безпеки техноприродних геосистем у межах регіональних територій та створення нових методів та засобів, спрямованих на покращення здоров'я населення.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [4, с. 108-118; 5, с. 44-54; 6, с. 71-76; 7, с. 18-25; 18-25]:

1. Запропоновано систему оперативного і стратегічного управління техноприродних екосистем, яка за рахунок розширення функціональних можливостей екологічного моніторингу та науково обґрунтованої оцінки стану екосистем дозволяє прогнозувати вплив природних та антропогенних факторів на екосистемну динаміку та еколого-економічну базу для попередження і відвернення загроз та забезпечення екологічної безпеки природних комплексів Тернопільської області. Теоретично обґрунтовані техноприродні геосистеми та здійснена їх математична формалізація.

2. Розроблено методологію оцінювання рівня екологічної безпеки техноприродних систем регіону від забруднень навколишнього середовища мікроелементами на основі ДЗЗ/ГІС-технологій, цифрового моделювання урбанізованих територій методами параметричної оптимізації та статистичної екстраполяції моніторингу екосистем. Її використання при тематичному дешифруванні й спільному аналізі великої кількості різночасових даних ДЗЗ з різним просторовим розрізненням дозволяє економити інформаційні ресурси (за рахунок зменшення обсягу оброблюваних даних (економія часових ресурсів досягає 53%, а витрати оперативної пам'яті зменшуються у 8 разів).

3. Розроблено методологію синтезу тематичних еколого-картографічних моделей екосистем, яка підвищує ефективність адаптації алгоритмів аналізу зображень до специфіки прикладних завдань моніторингу природно-антропогенних комплексів та своєчасно забезпечує інформаційну підтримку управлінських рішень.

4. Використовуючи системний аналіз функціонування комп'ютерної системи екологічної безпеки, розроблено методи і моделі ідентифікації техногенезу ґрунтів, на основі обробки й аналізу дистанційних і лабораторно-польових вимірювань, запропоновано карту забруднення екологічного стану ґрунтів Тернопільської області та інструментів управління екологічною безпекою природоохоронних об'єктів.

5. Досліджена спеціалізація забруднення регіону та охарактеризовані медико-екологічні параметри забруднення території, як вагомого чинника здоров'я населення. Встановлено статистичну залежність між концентраціями мікроелементів у ґрунтах, водних ресурсах і захворюваністю та смертністю населення, знайдено функціональні залежності, що адекватно моделюють ці зв'язки на основі створеної математичної моделі. Створено інформаційну аналітичну комп'ютерну систему для екологічних служб і комплексну галузеву методикау «Прогнозування показників екологічної безпеки за результатами моніторингу ґрунтів», які впроваджено в департаменті екології та природних ресурсів Тернопільської області.

6. Проведений методико-екологічний аналіз показав, що рівень захворюваності і смертності населення в значній мірі залежить від ландшафтно-геохімічних особливостей території (вмісту макро- і мікроелементів, лужно-кислотних і окисно-відновних умов, ступеня техногенного забруднення і самоочищення, вмісту мінеральних елементів у

харчових продуктах та ін.). Розроблено комп'ютерну програму EcoForecast, що дозволяє прогнозувати зміни здоров'я населення в залежності від концентрацій хімічних елементів територій проживання. Результати аналізу реальних даних забруднення території і захворюваності людей за розробленою методологією показали збіг 90%. Порівняльний аналіз методів прогнозування змін забруднення показав, що точність прогнозу за розробленими методами від 6 до 8% в залежності від концентрації забруднень.

7. Створено фактографічні та картографічні моделі техногенного та антропогенного навантаження на локальну лімнологічну систему з одночасним поєднанням контактних і дистанційних методів, проведено батиметричну зйомку та картографування глибин і рельєфу дна водойм.

8. Розроблено карту сучасної екологічної ситуації Тернопільської області на основі тематичної еколого-картографічної моделі, використовуючи профільно-діаграмні характеристики космознімків та топографічні карти, а також розрахунково-графічні методи визначення вмістів хімічних речовин у компонентах довкілля.

9. Встановлено загальні принципи техніко-технологічного управління екологічною безпекою в умовах техногенного забруднення; розроблено систему управління технічною безпекою в умовах техногенного забруднення; розроблено систему технічних рішень щодо досягнення прийняттого рівня екобезпеки, яка враховує профілізацію регіонів та позиційність джерел небезпеки. Запропоновано методичний підхід щодо оцінки стану екологічної безпеки в умовах інтенсивного забруднення навколишнього середовища.

10. Науково обґрунтовано алгоритм прийняття рішення на основі комплексного поєднання польових методів спостереження, методів математичного моделювання і методів ДЗЗ з активним використанням технологій ГІС, які рекомендується застосовувати не тільки для окремих техногенно-небезпечних об'єктів, а й для адміністративно-територіальних та фізико-географічних одиниць.

Оцінка якості поверхневих вод методами сучасних геоінформаційних технологій (на прикладі р. Сіверський Донець); (2011 р., на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник чл.-кор. НАНУ, д.т.н. О.М. Трофимчук).

Робота Є.С. Анпілової [26] присвячена розробці і реалізації методів та засобів, спрямованих на вирішення задач оцінки якості поверхневих вод та удосконалення їх моніторингу.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [27–31]:

1. Створено новий метод оцінки якості поверхневих вод, який відрізняється від існуючих використанням геостатистичних методів інтерполяції даних моніторингу та удосконаленим методом обробки даних про якість по класах та категоріях, що дозволяє покращити ведення екологічного моніторингу поверхневих вод.

2. Виявлено закономірності зміни якості поверхневих вод по всьому басейну р. Сіверський Донець, зокрема, визначено місця підвищеної концентрації речовин, які впливають на екологічний стан басейну річки.

3. Дістали подальшого розвитку картографічні моделі антропогенного навантаження та якості поверхневих вод (на прикладі басейну р. Сіверський Донець).

Оцінка екологічного стану природно-заповідних територій засобами геоінформаційних технологій (2017 р., на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник **чл.-кор. НАНУ, д.т.н. О.М. Трофимчук**).

Робота **С.А. Загородньої** [32] присвячена оцінці екологічного стану та аналізу впливу антропогенних чинників на екосистему природоохоронної території засобами геоінформаційних технологій на прикладі Білоозерської ділянки Рівненського природного заповідника.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [7, с. 49-53; 25, 33–38]:

1. Проведено аналіз науково-методологічних основ оцінки сучасного стану природно-заповідного фонду України. Запропоновано новий підхід до забезпечення збереження природоохоронних об'єктів на основі впровадження інформаційних технологій для науково обгрунтованої оцінки стану екосистем. Такий підхід дозволить оперативно накопичувати дані, що забезпечить якісну оцінку та прогнозування наслідків впливу природних та антропогенних факторів на природні комплекси, які підлягають особливій охороні, для екологічної безпеки природно-заповідних територій.

2. Визначено методичні підходи до вдосконалення системи фонових моніторингу довкілля, підвищення його об'єктивності та наочності подачі даних на основі сучасних ДЗЗ/ГІС-технологій із врахуванням статусу, особливостей та специфіки природоохоронних територій. Запропоновано для проведення дослідження динаміки змін стану природних територій використовувати інформаційно-аналітичні технології обробки даних ДЗЗ. Для збирання, накопичення, обробки, формалізації і презентації даних про фактори впливу і стан природоохоронної екосистеми використано інтегровані в ArcGis інструменти, що забезпечують інтерпретацію результатів аналізу в графічній формі на електронних картах та реалізацію математичних методів оцінки інтенсивності антропогенного впливу і моделювання його екологічних наслідків.

3. Встановлено, що для дешифрування типів біотопів з метою тематичного картографування і прогнозування змін території Білоозерської ділянки Рівненського природного заповідника достатні космічні знімки середнього просторового розрізнення Landsat (30 м/піксель), що дозволило забезпечити загальну точність класифікації даних на рівні 97% на незалежній вибірці. Визначено інформативні ознаки та показники досліджуваної екосистеми, а саме: екологічний стан, природно-ресурсний потенціал, продуктивність природної екосистеми, можливість її використання в рекреаційно-господарському комплексі, ступінь рекреаційної дигресії.

4. Отримано карти біотопів Білоозерської ділянки Рівненського природного заповідника станом на 1989 та 2015 рр. в результаті тематичної обробки даних ДЗЗ та виявлені зміни в площах і розподілі типів біотопів, а саме станом на 2015 рік мілководдя збільшились на 7,61 га, вода зменшилась на 4,40 га. Місця вирубки на досліджуваній території у 1989 році не спостерігались, у 2015 році дешифровані ділянки площею – 25,78 га. Місця відкритого ґрунту та забудови зменшились на 20,27 га, це свідчить про те, що на Білоозерській ділянці Рівненського природного заповідника збільшилась площа залісненості території.

5. Створено тематичні шари для інформаційно-аналітичної системи та отримано комплекс електронних еколого-картографічних моделей у ГІС-середовищі, які відображають стан біотопів території, її рельєф, гідрологічну мережу, розміщення водно-болотних угідь, ландшафтні комплекси, рекреаційні зони, лісові насадження з відповідними таксаційними характеристиками, а також атрибутивні дані щодо видів тваринного та рослинного світу, які потребують особливої охорони, завантажені у геоінформаційну базу даних. Побудована інформаційно-аналітична модель із відповідними тематичними шарами є засобом інтеграції розрізненої інформації про об'єкт дослідження для оцінки та аналізу екологічного стану природно-заповідної території, як інструмент управління екологічною безпекою.

6. Проведено екологічну оцінку стану екосистеми Білоозерської ділянки Рівненського природного заповідника шляхом побудови модифікованої матриці Леопольда, що є тринарною та відображає канали та інтенсивність впливу на компоненти екосистеми, визначені експертно. Використано нормовану оціночну шкалу, згідно з якою максимальна інтенсивність впливу дорівнює 1. Для Білоозерської ділянки Рівненського природного заповідника оцінка сили впливу значно перевищила середнє значення ($I_{\text{норм.}} = 0,79$). Встановлено основні фактори антропогенного впливу на досліджувану природоохоронну територію: лісозаготівки, лісові пожежі та рекреаційна діяльність.

7. Розроблено концептуальну схему організації державної системи контролю та екологічної оцінки стану природно-заповідних територій на основі геоінформаційної моделі для підтримки прийняття управлінських рішень. На основі результатів дослідження та відповідних розрахунків, згідно з існуючою нормативно-правовою базою і міжнародними зобов'язаннями України обґрунтовані рекомендації щодо вдосконалення режиму охорони заповідних природних комплексів та об'єктів для забезпечення їх екологічної безпеки на рівні збереження здатності до самовідтворення.

8. Результати дисертаційної роботи впроваджені та використовуються у Рівненському природному заповіднику при виконанні наукових досліджень, створенні геоінформаційної системи, розробці управлінських рішень та системи заходів з охорони і раціонального використання території заповідника, а також у навчальному процесі на кафедрі землеустрою, кадастру, моніторингу земель та геоінформатики Національного університету водного господарства та природокористування при підготовці спеціалістів та магістрів за напрямком підготовки 193 Геодезія та землеустрій (землеустрій та кадастр, геоінформаційні системи та технології).

Оцінка стану складових довкілля з використанням технологій дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем (2017 р., на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник д.т.н. Г.Я. Красовський).

Робота Д.Л. Крети [39] присвячена удосконаленню інформаційної системи екологічного моніторингу для оцінки впливу техногенного забруднення на складові довкілля великих промислових міських агломерацій.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [36, 38, 40-42]:

1. Аналіз сучасної системи моніторингу основних складових довкілля України (грунтів, водної поверхні, атмосферного повітря) показав

необхідність її вдосконалення, в першу чергу, за рахунок використання можливостей ДЗЗ і ГІС. Причому особливої уваги потребує спостереження за станом атмосферного повітря як первинного реципієнту забруднення. Для цього доцільно використовувати дистанційно-контактні методи контролю забруднення від джерел викидів.

2. Програмна платформа сучасних ГІС дає змогу інтегрувати зовнішні бази даних і знань, стандартні інструменти та спеціалізовані модулі геопросторового і статистичного аналізу, що відкриває принципово нові можливості для створення систем моніторингу техногенного забруднення довкілля на основі дистанційних методів і модельних розрахунків. Зокрема, інтегрування у ГІС уніфікованої моделі ОНД-86 з розрахунку зон атмосферного забруднення від стаціонарних джерел долає труднощі забезпечення даними і дозволяє використовувати її для визначення зон осадження техногенних домішок із забрудненої атмосфери за результатами дешифрування космічних знімків снігового покриву навколо великих міських агломерацій і вздовж автодоріг. Запропонована автором методика визначення димових шлейфів за зонами забруднення снігового покриву значно технологічніша, ніж стандартна, оскільки базується лише на використанні матеріалів ДЗЗ та інструментів ГІС-аналізу. Дешифрувальними ознаками зон забруднення снігового покриву на космічних знімках мають бути S (Saturation) та V (Value) кольорового формату даних SHV. Оскільки саме вони найбільш придатні до застосування в алгоритмах автоматизованого дешифрування та збільшують точність виявлення ареалів димових шлейфів і зон сталого осадження твердих домішок.

3. Програмно реалізована підсистема оцінки зон техногенного забруднення снігового покриву передбачає створення тематичних шарів градацій забруднення снігу (в період сталого снігового покриву). Підвищення точності оцінки здійснюється шляхом зменшення дисперсії статистичними методами обробки даних та поєднання оцінок забруднення міських агломерацій з оцінками забруднення вздовж доріг. Для цього розроблена підсистема оцінки зон осадження техногенних домішок з атмосфери вздовж автодоріг. Отримані оцінки техногенного забруднення снігового покриву стають вхідними даними для підсистеми оцінки зон забруднення атмосфери навколо великих міських агломерацій, де відбувається моделювання поля концентрацій викидів в атмосферу.

4. Оцінка даних забруднення атмосфери методами геостатистичного аналізу на нормальність розподілу, стаціонарність та просторову структуру забезпечує визначення їх просторової тенденції та екстремальних випадючих значень. Порівняльний аналіз значень помилок просторової інтерполяції в опорних точках потрібний для вибору найбільш точного і ефективного методу інтерполяції. Встановлено, що найкращим методом інтерполяції поля забруднення в промислових регіонах є метод ординарного крігінгу.

5. З використанням цього методу побудовані карти: обсягів викидів забруднюючих речовин; імовірності змін обсягів викидів забруднюючих речовин і парникових газів підприємствами Запорізької та Дніпропетровської областей у 2009 р.; стандартної помилки інтерполяції категорії обсягів викидів забруднюючих речовин (значення помилки збільшується зі збільшенням відстані від точок вимірювання). Причому встановлено, що

оцінка концентрації атмосферного забруднення, розрахована за традиційною методикою ОНД-86, відхиляється від отриманої в тих самих пунктах інтерполяційним методом ординарного кригінгу (модуль Geostatistical Analyst системи ArcGis) не більше ніж на 12%.

6. На прикладі екологічних карт дванадцяти областей України опрацьовано структуру і змістове наповнення еколого-картографічних моделей для інформаційної підтримки прийняття управлінських рішень з питань охорони навколишнього природного середовища на регіональному рівні. За результатами еколого-картографічного моделювання розроблено екологічний атлас Київської області з деталізацією до рівня району як суб'єкта адміністративного устрою. Це дало змогу обґрунтувати також форму і зміст періодичних бюлетенів оцінки стану екологічної безпеки визначених територій областей з високим рівнем техногенного навантаження на атмосферне повітря.

Комплексна оцінка та прогнозування впливу сміттєзвалищ на складові довкілля (2015 р., на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник чл.-кор. НАНУ, д.т.н. **О.М. Трофимчук**).

Робота **Н.А. Новохацької** [43] присвячена комплексній оцінці природно-техногенної системи із структурним ядром сміттєзвалище та прогнозуванню екологічного впливу складованих відходів на основні компоненти навколишнього природного середовища на прикладі Київської області.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [4, с. 158-165; 5, с. 13-16; 21, 38, 41, 44, 45]:

1. Проаналізовано та узагальнено фактичний стан поводження з ТПВ, в результаті встановлено, що в Київській області зокрема та в Україні в цілому має місце недостатній контроль за суб'єктами поводження з ТПВ, що призводить до появи величезної кількості стихійних несанкціонованих сміттєзвалищ у лісосмугах, ярах, балках, поблизу населених пунктів. Ці сміттєзвалища являють собою серйозну екологічну небезпеку, оскільки існує можливість виносу забруднюючих речовин безпосередньо у водні об'єкти, зокрема, разом з талими та зливовими водами.

2. Узагальнено підходи ефективного контролю за станом навколишнього природного середовища в природно-техногенній системі, які включають в себе: ідентифікацію джерела впливу та обстеження місцевості; визначення напрямку розповсюдження впливу та шляху міграції забруднюючих елементів; обґрунтування негативного впливу на рецептор; поліпшення ситуації за допомогою відповідних заходів.

3. Розроблено метод виявлення та розпізнавання сміттєзвалищ, який ґрунтується на дистанційному зондуванні Землі з космосу. Модель автоматизованого виділення полігону звалища розроблено у середовищі Erdas (Model Maker) за критеріями середне, дисперсія, асиметрія та ексцес. Створено базу даних характеристик полігонів побутових відходів за різними класами та базу даних еталонних об'єктів з тих полігонів для ТПВ, які паспортизовані та мають систему моніторингу. У результаті обробки знімків території Києво-Святошинського району Київської області виявлено 21 несанкціоноване сміттєзвалище, загальною площею 19,12 га, похибка складає від 1% до 15%. За допомогою дистанційного зондування Землі також досліджено динаміку збільшення сміттєзвалищ.

4. Синтезовано просторову картографічну модель інвентаризації сміттєзвалищ засобами геоінформаційних систем, шляхом обробки та аналізу інформації, отриманої методами космічного моніторингу та гідрогеологічних даних. Встановлено, що більшість виявлених несанкціонованих стихійних сміттєзвалищ розташовані в безпосередній близькості до критичної зони, де підземні води природно не захищені. У середовищі ArcGIS отримано триангуляційну модель території навколо полігону ТПВ. Створено відеофайл із 3D зображенням досліджуваної території.

5. Побудовано картографічну прогнозу модель зони впливу при надзвичайній ситуації на полігоні ТПВ біля с. Тарасівка Києво-Святошинського району Київської області, а саме залповому виліву фільтрату із ставка-накопичувача, що може виникнути при аномальній зливі чи таненні снігу, шляхом просторового моделювання території об'єкта дослідження. Визначено, що основними рецепторами є другий водоносний горизонт та р. Сіверка, яка є «перехоплювачем» забруднюючих елементів, мігруючих за напрямком потоку. Встановлено загальний об'єм забруднених стоків, що досягне рибогосподарського ставка $Q = 46\ 340\ \text{м}^3$.

6. Виконано математичне моделювання міграції фільтраційного потоку та впливу забруднюючих елементів на підземні води, побудовано гідрогеологічний прогноз впливу сміттєзвалищ. Встановлено закономірності розподілу концентрації забруднення ґрунтових вод в зоні впливу полігону ТПВ. Прогнозна зона забруднення ґрунтових вод від полігону ТПВ біля с. Тарасівка становить 25–30 га за 24 роки існування досліджуваного полігону.

7. Запропоновано концептуальну систему екологічного контролю за станом довкілля та техногенно-екологічною безпекою в зоні впливу сміттєзвалищ з урахуванням міжнародних стандартів, для прийняття ефективних рішень з питань поводження з відходами та запобігання надзвичайним екологічним ситуаціям. Розроблено перелік першочергових завдань, які спрямовані на формування та реалізацію заходів щодо поліпшення стану довкілля.

Інтегральна оцінка техногенного забруднення довкілля регіону засобами геоінформаційних технологій (на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник чл.-кор. НАНУ, д.т.н. О.М. Трофимчук).

Робота **В.О. Охарєва** [46] присвячена проведенню інтегральної оцінки впливу складових техногенного забруднення на екологічний стан території регіону на прикладі Рівненської області.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [5, с. 70-73; 6, с. 247-249; 22, 36-38, 47-50]:

1. Узагальнено теоретико-методологічні основи комплексного оцінювання характеру та інтенсивності техногенного забруднення довкілля в контексті управління екологічною безпекою територій. Визначено доцільність вирішення даної задачі за допомогою сучасних інформаційних технологій, зокрема методів дистанційного зондування Землі з космосу та інструментарію геоінформаційних систем.

2. Проведено аналіз масиву статистичної інформації, що характеризує екологічні процеси в навколишньому середовищі Рівненської області, територія якої була обрана для інтегральної оцінки техногенного забруднення. Застосований метод аналізу динамічної кореляції, реалізований на основі

розробленого програмного забезпечення, може бути використаний для інвентаризації додаткових джерел або об'ємів забруднення на певній ділянці території, що підтверджує аналіз даних екологічного моніторингу м. Рівне.

3. Локалізовано шляхом використання методів тематичного дешифрування космічних знімків місця несанкціонованого видобутку бурштину на землях сільськогосподарського призначення та на лісовкритих площах, що призводить до незворотних порушень природного ландшафту, деградації ґрунтів та фітоценозів. Запропоновано комплексування методів ДЗЗ та ГІС-технологій (використання методів класифікації підстильної поверхні за вегетаційними індексами) для оцінки ризиків розподілу техногенного забруднення при надзвичайній екологічній ситуації. На прикладі Хмельницької АЕС, яка розташована на території сусіднього регіону, доведено необхідність обов'язкового урахування фактора транскордонного забруднення при проведенні екологічної оцінки.

4. Виконано інтегральну оцінку рівня техногенного забруднення довкілля території Рівненської області в 2007–2014 рр., для чого адаптовано та модифіковано існуючі підходи до комплексного оцінювання на основі використання методів математичної статистики, методу головних компонент і факторного аналізу. Класифіковано адміністративно-територіальні одиниці згідно з науково-практичними підходами у сфері екологічної безпеки. Визначено, що найвищий рівень техногенного забруднення характерний для Рівненського району ($I_{2014} = 2,6$); найнижчий – для Зарічненського району ($I_{2014} = 8,4$). Встановлено поступове погіршення екологічної ситуації в північних районах регіону, пов'язане з неконтрольованим видобутком мінеральних ресурсів.

5. Запропоновано концептуальну схему оцінки техногенного забруднення, засновану на використанні геоінформаційних технологій, що містить послідовність практичних заходів, спрямованих на підтримку прийняття рішень у сфері управління екологічною безпекою регіону.

Екологічний моніторинг лімнологічних систем методами дистанційного зондування Землі (на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник **чл.-кор. НАНУ, д.т.н. О.М. Трофимчук**).

Робота **І.В. Радчука** [51] присвячена підвищенню оперативності та повноти інформації при проведенні оцінки евтрофікації та стратегічних запасів прісної води в лімнологічних системах різного геологічного походження, на основі технологій ДЗЗ, ГІС та натурних випробувань.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [4, с. 185-190; 5, с. 70-73; 21, 22, 25, 34, 35, 37, 38, 40, 52]:

1. Проведено змістовний аналіз науково-методологічних основ комплексного оцінювання інтенсивності та характеру техногенного та антропогенного впливу на стан лімноекосистем, на основі якого були обґрунтовані методи дослідження, що використані в роботі. Виявлено особливості та закономірності процесів техногенного та антропогенного впливу на екологічний стан лімнологічних систем з використанням інформаційно-аналітичних інструментів і технологій.

2. Запропоновано та математично обґрунтовано нову методику дослідження явищ поглинання та розсіювання, створена експериментальна модель апаратури для контактного дослідження явищ поглинання, розсіювання та відбиття світла, проведені первинні випробування. Вперше

при дослідженнях озер Світязь та Нобель було застосовано нові методики, сучасні прилади і програмне забезпечення для батиметричної зйомки озер. На основі проведених експедицій було побудовано карту ізобат та рельєфу дна окремих частин оз. Світязь, зокрема затоки Бужня та найглибшої частини озера.

3. Відпрацьовано методику гідроакустичного вивчення донного рельєфу озер, яка достатньо ефективна для морфолітогенетичного аналізу різних за походженням озерних улоговин, створено картографічні моделі техногенного та антропогенного навантаження на локальну лімнологічну систему з одночасним поєднанням контактних і дистанційних методів, проведено батиметричну зйомку та картографування глибин і рельєфу дна озера Синевир. За підсумками досліджень надані рекомендації щодо оптимальних форм управління екологічною безпекою прісних озер на основі аналізу динаміки евтрофікації лімнологічних систем.

4. Розроблено 3D модель акваторії та берегової лінії озер на основі ГІС/ДЗЗ технологій з відображенням особливостей та основних параметрів функціонування лімнологічної екосистеми. Виявлена та підтверджена за допомогою ГІС/ДЗЗ проблема раціонального використання Шацьких озер, запропоновані рекомендації із забезпечення охорони від забруднень та створення умов для збереження ресурсів.

5. Розроблено електронний паспорт озера Нобель, наведено перелік методів біотестування та визначена логічна структура, на основі даних, зібраних під час проведення експедицій, створена інформаційна модель паспорта озера, при розробці якої застосовано метод онтологій та визначені правила побудови запитового підходу для формування інтерфейсу користувача для роботи з паспортом лімнологічного об'єкта через веб-інтерфейс. У паспорті зrealізоване використання послідовного алгоритму для пошуку інформації. За допомогою методу GOMS-KLM проведена оцінка трудомісткості інтерфейсу розробленого паспорта лімнологічного об'єкта. Середній час операції з введення пошукового слова до відповіді на пошук в системі за запитом складає 16,1 с.

Моніторинг природно-заповідних територій та об'єктів з використанням геоінформаційних технологій (на прикладі Тернопільської області); (на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник чл.-кор. НАНУ, д.т.н. О.М. Трофимчук).

Робота **Т.В. Триснюка** [53] присвячена розкриттю особливостей екологічного моніторингу природно-заповідних територій та об'єктів для прогнозування оцінки її екологічного стану засобами ГІС на прикладі Тернопільської області.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [4, с. 151-157; 5; с. 134-137; 6, с. 134-137; 7, с. 134-137, 19, 20, 22-24, 54-56]:

1. Проведено аналіз науково-методологічних основ оцінки сучасного стану природно-заповідних територій. Запропоновано новий науковий підхід забезпечення збереження природно-заповідних об'єктів на основі впровадження інформаційних технологій для науково обґрунтованої оцінки стану екосистем, що дає змогу оперативно накопичувати дані про оцінку та прогнозування наслідків впливу природних та антропогенних факторів природно-заповідних систем.

2. Запропоновано визначати екологічний стан ґрунтів природно-заповідних територій з урахуванням фонових концентрацій окремих хімічних елементів та розроблено відповідні картосхеми. Визначено рівень забруднення ґрунтів важкими металами, радіонуклідами, пестицидами і нафтопродуктами на територіях національних парків («Кременецькі гори», «Дністровський каньйон», природного заповідника «Медобори»), який на 90% відповідає регіональному геохімічному фону.

3. Запропоновані картографічні геомоделі та аналіз різночасових знімків дають можливість визначати динаміку розвитку процесів підтоплення природно-заповідних територій.

4. Розроблена картографічна модель взаємодії підтоплень геосистем при дощовій погоді Національного парку «Дністровський каньйон» з просторовою прив'язкою гідрологічних елементів і точок спостереження на основі цифрової моделі рельєфу.

5. У результаті експедиційних досліджень екосистеми Тернопільського ставу з одночасним поєднанням контактних і дистанційних методів встановлено, що інтенсивна евтрофікація водойм зумовлена зміною хімічного складу води. Вода Тернопільського ставу відноситься до 5-ї категорії (посередні, помірно забруднені). Запропонована 3D модель та електронна карта глибин показали, що середня глибина ставу дорівнює 3,75 м, а найбільша становить 12 м, що дозволяє здійснювати контроль за станом водних систем та аналізувати антропогенне навантаження на об'єкт.

6. На основі розробленої моделі організації інформаційної системи природно-заповідних територій та рекреаційних ресурсів запропоновано систему управління екологічною безпекою природно-заповідних територій в умовах інтенсивного забруднення навколишнього середовища, яка базується на використанні інформаційних технологій. Розроблена комп'ютерна програма оцінювання стану ґрунту в залежності від концентрації та природного фону окремих хімічних елементів природоохоронних територій (EcoFonIndex).

Система екологічного моніторингу деградації ґрунтів на прикладі Бродівського району Львівської області (на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник д.геол.н. **В.В. Радчук**).

Робота **В.О. Шумейка** [57] присвячена підвищенню ефективності прийняття управлінських рішень щодо покращення стану ґрунтів шляхом удосконалення системи екологічного моніторингу за рахунок комплексного оцінювання впливу антропогенного забруднення ґрунтового покриву та прогнозування змін його якісного складу.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [5, с. 44–54; 6, с. 247–249, 7, с. 16–20; 22, 25, 36, 37, 58, 59]:

1. Проведено аналіз сучасної організації державного моніторингу ґрунтів. Запропоновано технологію оцінки антропогенного забруднення ґрунтів шляхом комплексного використання даних ДЗЗ, наземних вимірів та ГІС.

2. Розроблено систему прогнозування деградації ґрунтів та напрямів міграції розчинних забруднюючих речовин за непрямими дешифрувальними ознаками – вмістом гумусу. Встановлено закономірність процесів деградації ґрунтів в залежності від їх агрохімічних властивостей (вміст гумусу, реакція ґрунтового розчину, вміст рухомих сполук азоту, фосфору і калію). Внесення надлишкових доз фізіологічно кислих мінеральних добрив (аміачна селітра,

аміак рідкий, аміак водний, сульфат амонію, сульфат амонію-натрію, хлористий амоній, сечовина (карбамід)) призводить до неприродного підкислення ґрунтового покриву та переходу їх у важкодоступні для рослин сполуки.

3. Розроблено систему оцінки антропогенного забруднення ґрунтів за допомогою розрахунку балу екологічного стану для кожної окремої сільськогосподарської ділянки. Створено еколого-агрохімічну картограму стану земель сільськогосподарського призначення для Бродівського району Львівської області, яка дозволяє визначити забруднені ділянки і поля, на яких можливо вирощувати екологічно чисту продукцію.

4. Встановлено техногенно забруднені поля в Бродівському районі Львівської області. Виявлено динаміку антропогенної деградації земель сільськогосподарського призначення (зниження вмісту гумусу, підвищення кислотності ґрунтів, зменшення кількості внесених органічних добрив, необґрунтоване використання мінеральних добрив, недотримання технології сівозмін, порушення правил обробітку ґрунту).

5. Розроблено інформаційно-аналітичну систему екологічного моніторингу ґрунтів. Запропоновано заходи покращення екологічного стану та відновлення родючості ґрунтів. Створено методику диференційованого внесення добрив, яка дозволяє при менших фінансових витратах отримувати високі врожаї. Розроблено рекомендації щодо контролю використання земельних ресурсів для органів землекористування Львівської області.

Висновки

Необхідно особливо відмітити результати, опубліковані в міжнародних журналах: «Ferroelectrics» **V. Mokryi** [16]; «Journal of Environmental Science and Engineering» **O. Trofymchuk, V. Trysnyuk, N. Novokhatska, I. Radchuk** [21]; «Water Supply and Wastewater Removal» **V. I. Mokryy, O. M. Trofimchuk, I. V. Radchuk, V. V. Radchuk, C. A. Zagorodnia, V. M. Trysniuk, V. O. Shumejko** etc. [25]; «Journal of Acta facultatis studiorum humanitatis et naturae universitatis Presoviensis» **V. Mokryy, O. Trofimchuk, V. Radchuk, I. Radchuk, S. Zagorodnya** etc. [35]; «J. Environ. Sci. and Engineering» **O. Trofymchuk, D. Kreta, M. Myrontsov, V. Okhariev, V. Shumeiko, S. Zagorodnia** [36].

Також необхідно відмітити результати, що доповідались на міжнародних наукових конференціях: у Польщі, 2006 р. та 2010 р., **Mokryi V. I.** [60, 61]; в Азербайджані, 2014 р., **Novokhatska N. A.** [62], 2015 р., **Zagorodnia S.** [63], 2015 р., **Y. S. Anpilova, V. I. Klymenko, N. A. Novokhatska, D. L. Kreta** [64]; у Болгарії, 2013 р., **V. Radchuk, N. Novokhatska** [65], **S. Zagorodnya, I. Radchuk** [66].

Окремо слід відзначити, що деякі з наведених результатів вже стали об'єктами права інтелектуальної власності. Зокрема, це результати, що увійшли до докторської роботи **В.М. Трисняка** [67] та кандидатської роботи **Т.М. Трисняка** [68].

Автори висловлюють подяку **Л.В. Зотовій** за надані матеріали під час підготовки рукопису статті та не можуть не відзначити її постійну технічну допомогу всім співробітникам ІТГП НАНУ при захистах їх дисертаційних робіт.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Історія Академії наук України 1918-1923: документи і матеріали / відп. ред. П.С. Сохань. Київ: Наук. думка, 1993. – 375 с.
2. Трофимчук О.М., Миронцов М.Л. Сучасні дисертаційні дослідження Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору: інформаційні технології // Математичне моделювання в економіці. – 2018. – №1. – С. 7–30.
3. Трофимчук О.М., Миронцов М.Л. Сучасні дисертаційні дослідження Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору: інформаційні технології // Математичне моделювання в економіці. – 2018. – №2. – С. 5–25.
4. XIII Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» – Київ, 2013 – 386 с.
5. XIII Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» – Київ, 2014 – 340 с.
6. XIV Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» – Київ, 2015 – 428 с.
7. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: Матеріали 15-ої Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, Пуща-Водиця, 03-06 жовтня 2016 р.) / За заг. ред. С.О. Довгого. – К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2016. – 258 с.
8. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях / Колективна монографія за матеріалами 16-ої міжнародної науково-практичної конференції (Київ, Пуща-Водиця, 03-04 жовтня 2017 р.) / За заг. ред. С.О. Довгого. – К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2017. – 252 с.
9. Мокрий В.І. Розроблення системи екологічного моніторингу природно-заповідного фонду Західного Полісся: автореф. дис. докт. тех. наук. К.: М-во освіти та науки України, Київський національний ун-т будівництва і архітектури, 2013. 41 с.
10. Капустяник В. Б. Прикладна спектроскопія: навч. посіб. / В. Б. Капустяник, В. І. Мокрий. – Львів: Видавничий центр Львівського національного університету імені Івана Франка, 2009. – 320 с.
11. Мокрий В. І. Інформаційні технології моніторингу рекреаційних дигресій лісів Західного Полісся / В. І. Мокрий // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць Ін-ту телекомунікацій і глобал. інформ. простору НАНУ і Київ. нац. ун-ту буд-ва і архіт. – Вип. 10. – К., 2012. – С. 25–37.
12. Мокрий В. І. Моделі фазових переходів сукцесійних процесів лісових угруповань Західного Полісся / В. І. Мокрий, В. Б. Капустяник, П. Г. Хомюк // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць Ін-ту телекомунікацій і глобал. інформ. простору НАНУ і Київ. нац. ун-ту буд-ва і архіт. – Вип. 8. – К., 2011. – С. 94–118.
13. Мокрий В. І. Технології оцінки рекреаційного потенціалу озер Шацького національного природного парку / В. І. Мокрий // Національна безпека: український вимір: зб. наук. праць Ін-ту проблем національної безпеки. – № 6(25). – К., 2009. – С. 128–139.
14. Красовський Г. Я. Актуальність інформаційно-технічного забезпечення управління Шацьким національним природним парком / Г. Я. Красовський, В. І. Мокрий // Екологія і ресурси: зб. наук. праць Ін-ту проблем національної безпеки. – Вип. 13. – К., 2006. – С. 101–111.
15. Crystalloptical Properties of Ferroics with the Dimethylammonium Cation (DMA-MeCl₄, Me = Cu, Zn; DMA-MnCl₃) in the Region of their Phase Transitions / [V. Kapustianyk, V. Bazhan, Yu. Korchak, S. Sveleba, V. Mokryi] // Ukrainian Journal of Physical Optics. – 2002. – V.3, №4. – P. 258–263.

16. Phase Transitions in $(\text{NH}(\text{CH}_3)_3)_2\text{ZnCl}_4$ Ferroelectric Crystals / [V. Kapustianik, S. Sveleba, V. Vaidanich, V. Mokryi, I. Polovinko, S. Dacko] // *Ferroelectrics*. – 1997. – V.192. – P. 121–127.
17. Триснюк В.М. Екологічна безпека техноприродних геосистем регіону (на прикладі Тернопільської області): автореф. дис. докт. тех. наук. К.: М-во освіти та науки України, Київський національний ун-т будівництва і архітектури, 2016. 37 с.
18. Трофимчук О.М. Потенціал геоінформаційних технологій у вирішенні проблем екологічної безпеки водних об'єктів / О.М. Трофимчук, В.М. Триснюк // *Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць*. 2012 – Вип. 11. – С. 19–29.
19. Триснюк В.М. Модельне дослідження важких металів екосистеми Тернопільського ставу / В.М. Триснюк, Т.В. Триснюк // *Науковий Вісник НЛТУ України: зб. наук. праць*. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2013. – Вип. 23.17. – С. 112–127.
20. Триснюк В.М. Локальна система космічного моніторингу лімнологічних систем / В.М. Триснюк, Т.В. Триснюк // *Scientific Journal «ScienceRise» України*. – 2014. – Вип. №2 (2) – С. 68–72.
21. Geoinformation Technologies in decision issues of municipal solid waste / [O. Trofymchuk, V. Trysnyuk, N. Novokhatska, I. Radchuk] // *Journal of Environmental Science and Engineering*. – 2014. – A 3. – P. 183–187.
22. Триснюк В.М. Інформаційні технології дослідження штучно створених екосистем на прикладі Тернопільського ставу / В.М. Триснюк, І.В. Радчук, В.О. Охарев, Т.В. Триснюк, О.В. Атрасевич, В.О. Шумейко // *Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць*. 2014 – Вип. 15. – С. 15–21.
23. Триснюк В.М. Інформаційні моделі еколого-безпечного розвитку природоохоронних територій / В.М. Триснюк, Т.В. Триснюк // *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal) / Warszawa, Polanf №2, 2015. S. 132–137.*
24. Триснюк В.М. Екологічна безпека техноприродних геосистем регіону / В.М. Триснюк, О.М. Трофимчук, Т.В. Триснюк // *Вісник Вінницького політехнічного інституту: збірник наукових праць*, 2015 р. – Вип. 5 (122). – С. 30–34.
25. Information support of conception of environmental safety of water supply and wastewater treatment / [V. I. Mokryu, O. M. Trofymchuk, S. L. Vasilenko, O. A. Bobush, O. G. Chajka, I. V. Radchuk, V. V. Radchuk, C. A. Zagorodnia, V. M. Trysniuk, V. O. Shumejko, G. J. Krasovskiyy, O. S. Butenko, A. V. Mokra, R. T. Gasko, I. M. Kurliak] // *Water Supply and Wastewater Removal*. – Politechnika Lubelska, edited by Henryk Sobczuk, Beata Kowalska. – Lublin. – 2016. – P. 132–145.
26. Анпілова Є.С. Оцінка якості поверхневих вод методами сучасних геоінформаційних технологій (на прикладі р. Сіверський Донець). К.: М-во освіти та науки України, Київський національний ун-т будівництва і архітектури, 2011. 19 с.
27. Використання ГІС-технологій для інвентаризації джерел забруднення поверхневих вод транскордонних об'єктів / [Анпілова Є.С., Волошкіна О.С., Трофимчук О.М., Цибульський А.І.] // *Екологія і ресурси*. – 2007. – №16. – С. 46–51.
28. Василенко С.Л. Застосування аперіодичних ланок системи автоматичного управління для моделювання адвективно-дифузійного переносу розчинених сполук у водотоках / С.Л. Василенко, Є.С. Анпілова // *Екологія і ресурси*. – 2007. – №17 – С. 95–98.
29. Аналитико-статистический подход к моделированию трансформации загрязняющих веществ в зоне смешения речной и возвратной воды / С.Л. Василенко, А.Н. Трофимчук, Е.С. Анпилова // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки*. – 2007. – С. 35–42.
30. Анпілова Є.С. Щодо питання ведення моніторингу на створах річки Сіверський Донець / Є.С. Анпілова // *Екологія і ресурси*. – 2006. – №13. – С. 127–132.

31. Анпілова Є.С. ГІС-технології для оцінки техногенного впливу нафтопроводів на навколишнє середовище та оцінки збитків / Є.С. Анпілова, В.І. Клименко // Екологія і ресурси. – 2003. – №8. – С. 52–58.
32. Загородня С.А. Оцінка екологічного стану природно-заповідних територій засобами геоінформаційних технологій. К.: М-во освіти та науки України, Київський національний ун-т будівництва і архітектури, 2016. 21 с.
33. Красовський Г.Я. Інформаційні ресурси інтерактивної системи підтримки рішень з питань управління екологічною безпекою українського сектору Чорного моря / [Г. Я. Красовський, В. В. Радчук, С. А. Загородня] // Геоінформатика. – 2016. – №1(57). – С. 57– 65.
34. Інформаційне забезпечення гідроакустичного моніторингу озер Західного Полісся / [О. М. Трофимчук, В. І. Мокрий, В. В. Радчук, І. В. Радчук, С. А. Загородня] // Екологічна безпека та природокористування. – 2015. – Вип. 1(17). – С. 5–15.
35. Biophysical monitoring of forest ecosystems / [V. Mokryy, O. Trofymchuk, V. Pohrebennyk, R. Politylo, V. Radchuk, I. Radchuk, S. Zagorodnya] // Journal of Acta facultatis studiorum humanitatis et naturae universitatis Presoviensis, Natural sciences, Slovak Republic. Presov. – 2016. – Vol. XLIII. – P. 167–172.
36. Information Technology in Environmental Monitoring for Territorial System Ecological Assessment / [О. Трофимчук, Д. Крета, М. Myrontsov, V. Okhariev, V. Shumeiko, S. Zagorodnia] // J. Environ. Sci. and Engineering. – 2015. – А4. – P. 79–84.
37. Реалізація інформаційних технологій моніторингу лімнокосистем на заповідних територіях (На прикладі НПП «Синевир») / [С. А. Загородня, В. О. Охарев, І. В. Радчук, В. О. Шумейко] // Екологія – 2015 / Ecology – 2015 : збірник наукових статей, 23–26 вер. 2015 р., – Вінниця, 2015. – С. 86.
38. Застосування сучасних інформаційних технологій для досліджень екологічного стану Шацьких озер / [В.І. Клименко, С.А. Загородня, Д.Л. Крета, В.О. Охарев, І.В. Радчук, Н.А. Шевякіна, О.С. Бутенко, В.Ю. Вишняков] // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. пр. – К., 2010. – Вип. 6. – С. 103–122.
39. Крета Д.Л. Оцінка стану складових довкілля з використанням технологій дистанційного зондування землі та геоінформаційних систем. К.: М-во освіти та науки України, Київський національний ун-т будівництва і архітектури, 2017. 20 с.
40. Моніторинг навколишнього середовища з використанням космічних знімків супутника NOAA / [Пашенко Р. Е., Радчук В. В., Красовський Г. Я. та ін.] // Під ред. С. О. Довгого. – Київ : ФОП Пономаренко Є.В., 2013. – 316 с.
41. Новохацька Н. А. Моделювання та прогнозування впливу сміттєзвалищ на підземні води / Н. А. Новохацька, Д. Л. Крета // Екологічні науки – 2015. – № 1/2015(7). – С. 71–79.
42. Просторовий аналіз розповсюдження забруднень поверхневих вод і ґрунтів засобами ДЗЗ та ГІС / [Є. С. Анпілова, В. І. Клименко, Д. Л. Крета, О. М. Трофимчук] // Екологічна безпека та природокористування. – 2014. – № 14. – С. 59–69.
43. Новохацька Н.А. Комплексна оцінка та прогнозування впливу сміттєзвалищ на складові довкілля. К.: М-во освіти та науки України, Київський національний ун-т будівництва і архітектури, 2015. 20 с.
44. Новохацька Н. А. Методологія просторового моделювання зони забруднення навколо місць видалення відходів / Н. А. Новохацька // Екологічна безпека та природокористування. – 2014. – № 15. – С. 53–60.
45. Новохацька Н. А. Технологія інвентаризації місць видалення відходів методами дистанційного зондування Землі / Н. А. Новохацька, О. М. Трофимчук // Екологічна безпека та природокористування. – 2014. – № 14. – С. 31–40.
46. Охарев В.О. Інтегральна оцінка техногенного забруднення довкілля регіону засобами геоінформаційних технологій: автореф. дис. канд. тех. наук. К.: М-во освіти та науки України, Київський національний ун-т будівництва і архітектури, 2016. 21 с.
47. Космічний моніторинг та ГІС-технології для моніторингу та прогнозування надзвичайних ситуацій на об'єктах атомної енергетики / [О.М. Трофимчук,

- В.В. Радчук, В.О. Охарев, В.О. Шумейко] // Екологічні науки: науково-практичний журнал. – К.: ДЕА, 2015. – №7. – С. 146–151.
48. Волошкіна О.С. Реалізації технологій космічного моніторингу та геоінформаційних систем для проведення екологічної оцінки складових довкілля та районування територій / О.С. Волошкіна, В.О. Охарев // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. пр. – К., 2011. – Вип. 8. – С. 55–65.
49. Красовський Г.Я. Районування територій за рівнем антропогенного навантаження із залученням технологій дистанційного зондування Землі з космосу та геоінформаційних систем / Г.Я. Красовський, В.О. Охарев // Екологічна безпека і природокористування: зб. наук. пр. – К., 2010. – Вип. 5. – С. 5–48.
50. Бутенко О.С. Механізм визначення кількісних характеристик рівня концентрації забруднюючих речовин викидами автомобільного транспорту / О.С. Бутенко, В.О. Охарев // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. пр. – К., 2009. – Вип. 3. – С. 14–33.
51. Радчук І.В. Екологічний моніторинг лімнологічних систем методами дистанційного зондування Землі. К.: М-во освіти та науки України, Київський національний ун-т будівництва і архітектури, 2016. 19 с.
52. Радчук І.В. Реалізація геоінформаційних технологій підтримки прийняття рішень для управління екологічною безпекою озерних екосистем / І.В. Радчук // Екологічні науки: науково-практичний журнал – К.:ДЕА, 2015 – №7. – С. 141–145.
53. Триснюк Т.В. Моніторинг природно-заповідних територій та об'єктів з використанням геоінформаційних технологій (на прикладі Тернопільської області). К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, 2017. 18 с.
54. Триснюк Т.В. З історії розвитку охорони природи на Тернопільщині / Т.В. Триснюк // Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук.-техн. праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.1. – С. 131–134.
55. Триснюк В.М. Інформаційні технології та просторово часові методи регіональної системи моніторингу / В.М. Триснюк, Т.В. Триснюк // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: науково-технічний журнал. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (ІФНТУНГ); Івано-Франківськ: Симфонія форте. – 2014, №2 (10) – С. 120–128.
56. Триснюк Т.В. Експериментальні дослідження рекреаційного навантаження на природоохоронні території Тернопілля / Т.В. Триснюк // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць. – К.: – 2015. Вип. 18. – С. 31–36.
57. Шумейко В.О. Система екологічного моніторингу деградації ґрунтів на прикладі Бродівського району Львівської області: автореф. дис. канд. тех. наук. К.: М-во освіти та науки України, Київський національний ун-т будівництва і архітектури, 2016. 20 с.
58. Шумейко В.О. Методика проведення еколого-економічної оцінки сільськогосподарських угідь з використанням даних дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем / В.О. Шумейко // Екологічна безпека та природокористування. – 2014. – №16. – С. 123–127.
59. Шумейко В.О. Інформаційні технології екологічного моніторингу земель сільськогосподарського призначення / К.В. Сметанін, В.О. Шумейко // Моделювання та інформаційні технології. – 2014. – №73. – С. 105–113.
60. Mokryi V. I. Geoecological aspects of complex ecological-qualifying practice of students / V. I. Mokryi // Geoeducational potential of southern and southwestern margin of the Ukrainian craton: m-ly Międzynarod. konfer. nauk. – Wrocław, 2006. – P. 113–116.
61. The complex monitoring of the degraded landscapes of Chervonograd mining-industrial region / [V. I. Mokryi, L. I. Kopyi, M. M. Paslavskyy, Y. I. Pankivskyy] // Przyrodnicze wykorzystanie ubocznych produktow spalania węgla, biomasy oraz węgla z biomasa: m-ly Międzynarod. konfer. nauk.-techn. – Szczecin, 2010. – P. 41–44.

62. Novokhatska N. A. Use of modern information technologies for management of place the accumulation of waste / N. A. Novokhatska // The role of multidisciplinary approach in solution of actual problems of fundamental and applied sciences (earth, technical and chemical) : book of abstracts I-st international scientific conference of young scientists and specialists, 15–16 October 2014. – Baku, Azerbaijan, 2014. – P. 272–274.
63. Zagorodnia S. Features of using information technology to study constituent of natural reserve fund / S. Zagorodnia // Multidisciplinary approach to solving problems of geology and geophysics : book of abstracts international scientific conference of young scientists and specialists, 15–16 Oct. 2015. – Baku, Azerbaijan, 2015. – P. 196.
64. Use the geographic information systems and remote sensing from space for creation cartographic models for assessment of the quality of soils and surface water / [Y. S. Anpilova, V. I. Klymenko, N. A. Novokhatska, D. L. Kreta] // Role of environmental assessment of agricultural land in developed of regions and in protection of ecological balance: Materials international seminar, 15 December 2015. – Baku, Azerbaijan, 2015. – P. 59–61.
65. Marine pollution monitoring of the BLACK SEA ports and waterways by GIS and remote sensing / [V. Radchuk, A. Palazov, G. Krasovskiy, V. Slabakova, O. Hristova, N. Novokhatska] // Marine research horizon 2020 : book of abstracts international conference, 17–20 September 2013. – Varna, Bulgaria : Helix Press Ltd., 2013. – P. 196.
66. Zagorodnya S. Methodology of creating a geoinformation system for cartographic support to decisions relating to the black sea water resources protection / S. Zagorodnya, I. Radchuk // Book of abstracts international conference Marine research horizon 2020 (Varna, Bulgaria, 17–20 sept.). – Varna : Helix Press Ltd, 2013. – P. 195.
67. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 60519 Комп'ютерна програма «EcoForecast» для прогнозування зміни здоров'я органів кровообігу в залежності від концентрації цинку в поверхневих водах територій проживання («EcoForecast» (Екопрогнозування)) / О.М. Трофимчук, В.М. Триснюк, М.В. Крихівський // Дата реєстрації Державної служби інтелектуальної власності України 07.07.2015.
68. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 60519 Комп'ютерна програма оцінювання стану ґрунту в залежності від концентрації та природного фону окремих хімічних елементів природоохоронних територій (EcoFonIndex) / Т.В. Триснюк, М.В. Крихівський // Дата реєстрації Державної служби інтелектуальної власності України 26.03.2017.

Стаття надійшла до редакції 16.08.2018.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 550.8

до 100-річчя НАН України

М.Л. МИРОНЦОВ

ВЕКТОР СУЧАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕЛЕКТРОМЕТРІЇ НАФТОГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

***Анотація.** Наведено основні теоретичні і практичні результати математичного моделювання, розробки нових та вдосконалення існуючих методів електрометрії нафтогазових свердловин. Матеріал подано у вигляді анотаційного узагальнення основних друкованих автором праць.*

***Ключові слова:** каротаж, електрометрія свердловин, геофізичне дослідження свердловин, вуглеводні.*

Вступ

Сто років тому, 27 листопада 1918 р., Загальними Зборами Української АН було обрано свого першого Президента – видатного вченого В.І. Вернадського [1]. Відповідно до цього саме у листопаді 2018 року НАН України святкує своє сторіччя. Цю дату вже було відмічено трьома оглядовими статтями, що присвячені висвітленню результатів, що увійшли до дисертаційних досліджень, які були успішно захищені безпосередньо співробітниками Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (ІТГП НАНУ) або були захищені під їх науковим керівництвом з моменту створення Спеціалізованої Вченої Ради Д 26.255.01 (при ІТГП НАНУ) [2–4].

Майже сто років виповнюється цими роками і геофізичному дослідженню свердловин (ГДС). В чому практична цінність ГДС і особливо каротажу¹? Достатньо сказати, що до тих пір, доки свердловини є єдиним засобом видобутку вуглеводнів, каротаж буде єдиним методом встановлення кількості, місця залягання та можливої добової швидкості (добового дебіту) їх видобутку.

Говорячи зрозумілою мовою: якщо не буде каротажу – людство залишиться без вуглеводнів, що за теперішніх умов рівнозначно поверненню рівня розвитку цивілізації на сторіччя назад.

¹ каротаж – (фр. *carottage*, від *carotte* – морква, з якою на початку 1920-х рр. іронічно порівнювали каротажні зонди) – усталена узагальнююча (окрім відбору керна) назва методів ГДС.

А серед усіх методів каротажу саме електрометрія свердловин відіграє вирішальну роль, тому що, серед іншого, саме вона дає відповідь на два питання [5, 6]:

- скільки вуглеводнів є у розрізі?
- де саме вони в ньому розташовані?

Мета цієї статті – згадати найбільш важливі події в історії розвитку електрометрії і ретроспективно зупинитись на окремих результатах автора в галузі електрометрії нафтогазових свердловин.

1. Ретроспектива електрометрії свердловин

Перша електрометрія як метод геофізичної розвідки була виконана у 1912 р. братами Шлюмберже. Цей перший експеримент являв собою два електроди, увіткнуті в поверхню Землі, з послідуочим дослідженням еквіпотенційних поверхонь.

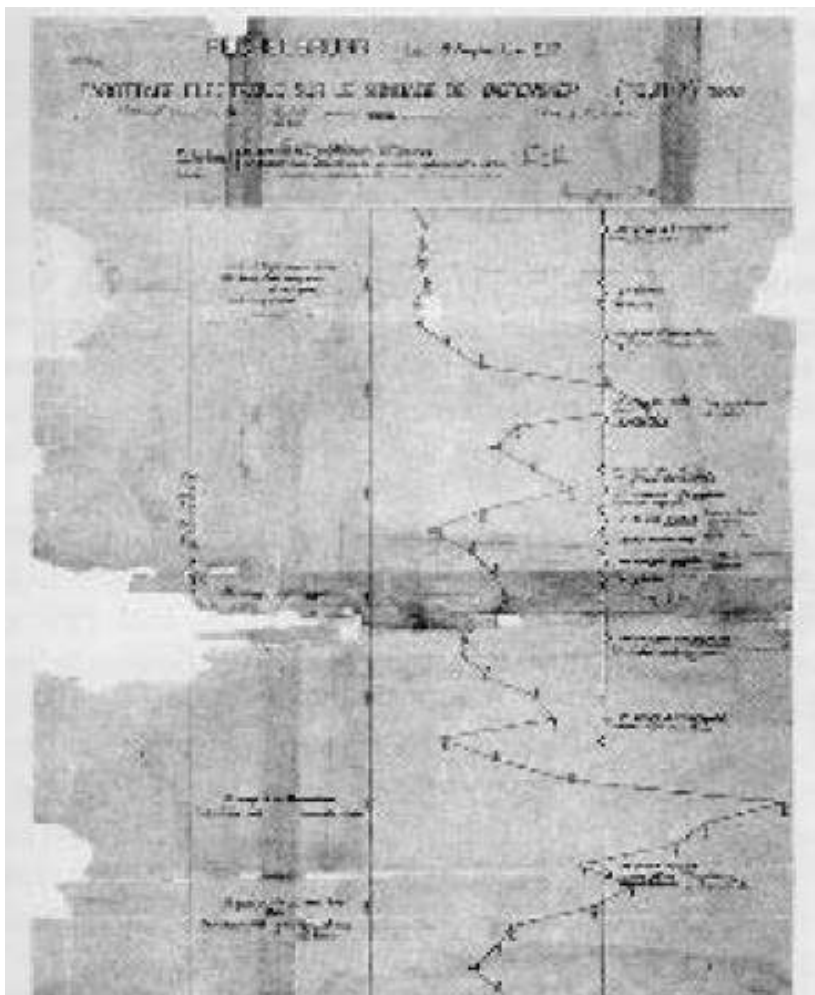


Рисунок 1 – Діаграма першого у світі каротажу (методом опорів)

Минули роки напруженої праці науково-технічної думки братів, аж доки у 1920 р. вони відкрили першу комерційну каротажну компанію і нарешті 5 вересня 1927 року поряд з м. Пешельбронн (тепер муніципалітет Мерквіллер-Пешельбронн) виконали перший у світі електричний каротаж (ЕК) у теперішньому розумінні цього слова (рис. 1).

Нафтова промисловість швидко оцінила новацію братів Шлюмберже для пошуку вуглеводнів.

Вже з 1929 р. почалось широке комерційне застосування ЕК у США, Венесуелі, Росії.

У 1931 р. (майже випадково) був відкритий другий метод ГДС: метод самочинної (природної) поляризації (ПС).

Одночасне застосування методу опорів та ПС стало свого роду революцією. Воно дозволило по ПС виділяти пористі породи-колектори (ПС у той час так і називався – «каротаж пористості»), а за методом опорів – розділяти їх на водоносні та продуктивні.

У 1930-ті рр. компанія Schlumberger почала застосування свого першого каверноміра (з чотирма лапами). У 1940-ві рр. на кожній з лап з'являється мікрозонд ЕК, що дозволяє встановлювати кут залягання та просторову орієнтацію пластів.

Через 20 років після першого виконаного каротажу компанія Schlumberger створює перший багатозондовий каротажний апаратурний комплекс (у сучасному розумінні), що складався з ПС, двох потенціал-зондів (normal sonde) та одного градієнт-зонду (lateral sonde).

Чому виникла потреба використовувати одночасно декілька зондів ЕК, які вимірюють одну і ту саму величину питомого опору (ПО) навколосвердловинного простору? Тому що у цей час остаточно стало зрозуміло, що головний об'єкт електрометричного дослідження є пласт-колектор (рис. 2), головною фізичною властивістю якого, з точки зору електрометрії, є зміна повздовжньої провідності (нормально до вісі свердловини). Якщо ПО ближньої до свердловини зони відрізняється від ПО віддаленої зони, то такий пласт називають пластом з проникненням, і для дослідження його провідності необхідно мати декілька зондів різної глибини дослідження.

Проте встановлення параметрів навіть такої простої моделі вимагає розв'язання оберненої задачі, що вже у першій половині минулого сторіччя поставило на порядок денний необхідність вміти розв'язувати прямі задачі. За відсутності обчислювальних ресурсів це вимагало створення способу отримання аналітичних розв'язків хоча б для самих простих моделей розрізів.

На цьому шляху одразу було отримано багато наукових результатів.

Вже у 1933 г. була опублікована монографія академіка В.А. Фока [7], яка була присвячена, в тому числі, розв'язанню прямої задачі каротажу опорів для випадку пласта нескінченної потужності (товщини). З цього моменту починається новий етап в історії промислової геофізики, який можна назвати етапом напіваналітичних розв'язків.

Що собою являли такі розв'язки? Це, по суті, були аналітичні вирази, що дозволяли зв'язати вимірюваний уявний опір (УО) з параметрами моделі пласта.

Але такий підхід вимагав спрощення моделі. Наприклад, у роботі Л.М. Альпіна [8] градієнт-зонди та потенціал-зонди ЕК описані тільки одним

параметром – довжиною L , в той час як у загальному виді, навіть у наближенні точкових електродів, вони повинні описуватись лінійними відстанями AM, MN, NB .

В дійсності така ідеалізація може призводити до суттєвих викривлень результатів навіть при обчисленні геометричного фактора кожного зонду [9]. Проте на той час, за відсутності можливості розв'язати пряму задачу більш точно, ці напіваналітичні методи були революційними та дозволили перейти від етапу виміру УО до нехай і наближеного, але визначення геоелектричних параметрів розрізу.

Більше того, такий підхід мав продовження. Так, результати, отримані акад. СРСР В.А. Фоком, були узагальнені А.І. Забаровським для трьохшарової моделі середовища (свердловина – зона проникнення – неушкоджена буровим розчином частина пласту) [10].

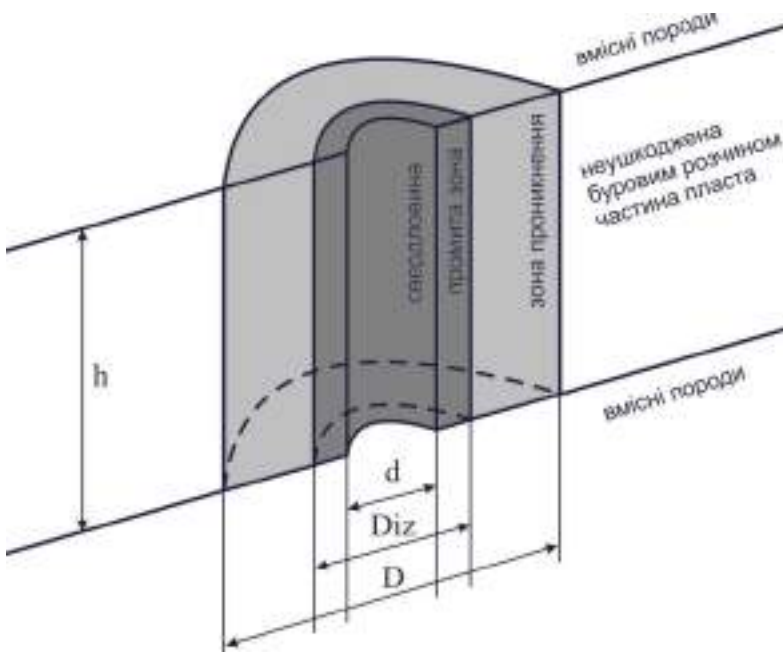


Рисунок 2 – Модель пласта-коллектора

Згодом були опубліковані роботи В.Р. Бурсіана, Л.М. Альпіна і С.М. Шейнмана, в яких розглядались аналітичні розв'язки задач ПС [11, 12].

Застосування методу зображень дозволило В.Р. Бурсіану отримати прості розв'язки для плоскопаралельних окремо однорідних пластів без впливу свердловини, а також для одного пласту скінченної потужності та наближений розв'язок з урахуванням свердловини, якщо ПО вмісних порід дорівнює ПО свердловини.

Ці розрахунки було покладено в основу методики інтерпретації каротажного зондування С.Г. Комарова [13].

Запропонований Л.М. Альпіним [14] метод сіткового моделювання та розроблений на його основі А.Є. Кулінковичем [15–17] електроінтегратор дозволили експериментально отримати ряд палеток, які також були використані в методиці інтерпретації С.Г. Комарова [18].

Зокрема, Л.М. Альпін розглянув прямокутну ґратку з неоднорідним кроком, яка відповідає 2D задачі ЕК. А.Є. Кулінкович застосував отримані Л.М. Альпінім значення опорів ґратки до значень комірок електроінтегратора та ретельно розглянув питання присвоєння значень опорів електроінтегратора, спосіб реалізації стабілізатора та вимірювача струму.

Слід також відмітити, що у напрямку лабораторного моделювання (з невеличкою затримкою) проводились роботи і «на Заході». Так, у 1950 р. [19] компанія Schlumberger створила свій електроінтегратор, що дозволив більш реалістично проводити 2D моделювання для моделі свердловина + тонкі пласти з зоною проникнення.

Наприкінці 1970-х років обчислювальна техніка розвинулась настільки, що розрахунок прямої задачі займав вже не тижні, а години. На початку 1980-х рр. практичне використання електроінтеграторів було майже припинене (проте частка експериментального моделювання все ще зберігається, оскільки значну частину досліджень, наприклад, оцінку впливу контактного потенціалу на боковий каротаж, шляхом моделювання з необхідною точністю виконати не вдалось).

З тих самих пір розв'язання прямої 2D задачі методом скінченних різниць втратило новизну та вважається тривіальним. Воно стало масово застосовуватись при моделюванні приладів (виконання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт) та для розрахунку палеток.

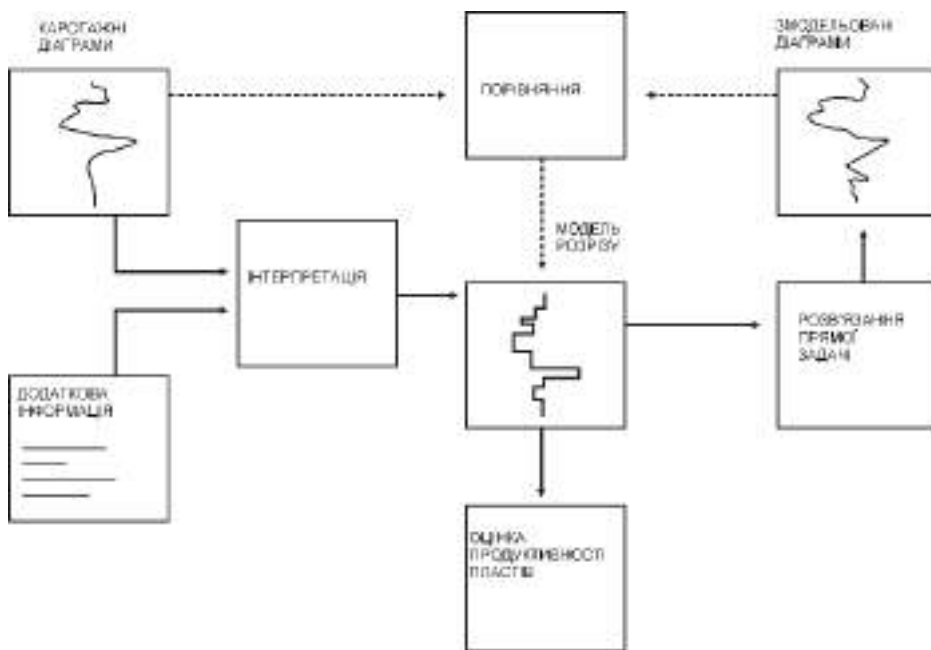


Рисунок 3 – Схема розв'язання оберненої задачі електрометрії

Також використання розв'язання прямої задачі у тому чи іншому вигляді застосовується у будь-якому сучасному ітераційному процесі розв'язання оберненої задачі.

Таке розв'язання оберненої задачі електрометрії виглядає (див. рис. 3) наступним чином: на основі каротажних діаграм будується модель розрізу (можливо використовуючи іншу допоміжну додаткову інформацію, наприклад дані кавернограми); для побудованої моделі розраховуються каротажні діаграми (за допомогою розв'язання прямої задачі); розраховані діаграми порівнюються з реальними і за виявленими розбіжностями коригується модель розрізу. Процес повторюється до тих пір, доки розбіжності не задовольняють встановленого критерію подібності.

В якості критерію подібності прийнято вважати досягнення мінімального значення функціоналу:

$$F(\rho_1^T, \rho_2^T, \dots, \rho_n^T) = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\rho_i^T - \rho_i^E}{\delta_i \rho_i^T + \chi_i} \right)^2}, \quad (1)$$

де n – кількість зондів в апаратурному комплексі; ρ_i^T – розраховані значення УО i -го зонду для поточних значень геоелектричних параметрів моделі; ρ_i^E – фактичне значення УО i -го зонду; δ_i, χ_i – відносна та абсолютна похибка i -го зонду відповідно.

Такий процес розв'язання оберненої задачі, реалізований для конкретної апаратури, окрім самостійного використання, є ще і невід'ємною частиною апаратурно-методичного комплексу, склад якого в загальному вигляді був описаний ще Л.М. Альпінім та С.Г. Комаровим і який включає в себе:

- 1) розробку теорії методу;
- 2) вибір параметрів зондуючого пристрою;
- 3) необхідне метрологічне забезпечення (наприклад, оцінка точності виміру, яка необхідна для можливості визначення геоелектричних параметрів розрізу);
- 4) розробку і реалізацію бази інтерпретації (описаний вище ітераційний спосіб розв'язання оберненої задачі);
- 5) петрофізичне забезпечення, що дозволяє від геоелектричних параметрів перейти до таких понять, як пористість, нафто- та газонасиченість, добовий дебіт пласта.

Необхідно зазначити, що на шляху розв'язання за вказаним способом оберненої задачі ЕК [20–23] та індукційного каротажу (ІК) [24–29] було досягнуто значних результатів.

Для задач ЕК при цьому використовувалась апаратурна можливість факторизації задачі ще на стадії виміру [30], а для задачі ІК – факторизація оберненої математичної двовимірної задачі [31–35]. Також було розроблено нові апаратурні рішення, як для ЕК [36–43], так і для ІК [44–46], або комплекси, що включають одночасно як апаратуру ЕК, так і апаратуру ІК [47–48].

Але при отриманні цих результатів стало очевидним, що метод, заснований на мінімізації (1), вимагає створення способу однозначного співставлення вектору в просторі даних виміру вектору в просторі геоелектричних параметрів моделі, який дещо зміниться, якщо врахувати похибку виміру [49–52]. Отже, важливим стало не тільки створення способу

однозначного співставлення вектору в просторі даних виміру вектору в просторі геоелектричних параметрів моделі, а методу співставлення деякої області у просторі даних виміру деякій області в просторі геоелектричних параметрів моделі, що також було успішно вирішено [53–57].

Проте не можна не зауважити, що таке співставлення є однозначним з математичної точки зору, але неоднозначним з геофізичної. Отже, виникає проблема еквівалентності, яку для розуміння можна сформулювати так: будь-якій області у просторі даних виміру відповідає деяка область у просторі геоелектричних параметрів моделі, яка може відповідати якісно різним моделям досліджуваного пласту. Тобто одній і тій самій області в просторі виміру можуть відповідати як моделі пласта без проникнення, так і пласта-колектора.

Саме в напрямку подолання проблеми еквівалентності, серед іншого, продовжується робота в ІТГП НАНУ в галузі електрометрії нафтогазових свердловин.

Крім того, слід розуміти, що в деяких важливих, з практичної точки зору, випадках потрібно розв'язувати принципово 3D задачу [58].

Окрім наведеного, було вирішено ряд задач ефективного використання електрометрії у складнобудованих геологічних розрізах, бо саме такі розрізи (тонкошаруваті, анізотропні колектори [43]; колектори аномально низького опору [41]; колектори залишкового нафтонасичення, «хибні» колектори [42] тощо) притаманні умовам Дніпровсько-Донецької западини [59].

Висновки

Головним результатом при вирішенні окреслених вище задач слід вважати практичне впровадження та реальну реалізацію деяких нових апаратурних рішень, що вже стали об'єктами права інтелектуальної власності [60–82].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Історія Академії наук України 1918-1923: документи і матеріали / відп. ред. П.С. Сохань. Київ: Наук. думка, 1993. – 375 с.
2. Трофимчук О.М., Миронцов М.Л. Сучасні дисертаційні дослідження Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору: математичне моделювання і обчислювальні методи. – 2018. – №1. – С. 7–30.
3. Трофимчук О.М., Миронцов М.Л. Сучасні дисертаційні дослідження Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору: інформаційні технології // Математичне моделювання в економіці. – 2018. – №2. – С. 5–25.
4. Трофимчук О.М., Миронцов М.Л. Сучасні дисертаційні дослідження Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору: екологічна безпека // Математичне моделювання в економіці. – 2018. – №3. – С. 7–25 (у друці).
5. Anderson В.І. Modeling and inversion methods for the interpretation of resistivity logging tool response. Delft: Delft University Press, 2001. 377 с.
6. Миронцов Н.Л. Численное моделирование электрометрии скважин. Київ: Наукова думка, 2012. 224 с.
7. Фок В.А. Теория каротажа. М. – Л.: ГТТИ, 1933.
8. Альпин Л.М. К теории электрического каротажа буровых скважин. ОНТИ, 1938. 136 с.

9. Миронцов М.Л. До розрахунку коефіцієнтів зондів електричного каротажу // Допов. Нац. акад. наук Укр., – 2003. – №11. – С. 120–122.
10. Заборовский А.И. Электроразведка. М.: Гостоптехиздат, 1943.
11. Бурсиан В.Р. К вопросу о распределении потенциала вдоль оси скважины при наличии диффузионных (контактных) э.д.с. Бюллетень нефтяной геофизики, вып. III, 1936.
12. Альпин Л.М., Шейнманн С.М. Некоторые расчеты по спонтанной поляризации. Бюл. нефтяной геофизики, вып. 3, 1936.
13. Комаров С.Г. Каротаж по методу сопротивлений, интерпретация. – М.: Гостоптехиздат, 1950. – 168 с.
14. Альпин Л.М. Применение сеточного моделирования для решения задач теории электрического каротажа // Прикладная геофизика. – 1962. – вып. 34. – С. 198–217.
15. Куликович А.Е. Закономерности кривых каротажа сопротивлений // Прикладная геофизика. – 1959. – вып. 24.
16. Куликович А.Е. Каротажный электроинтегратор ЭКСМ. Прикладная геофизика, вып. 34. М.: Гостоптехиздат, 1962а.
17. Куликович А.Е. Палетки бокового каротажного зондирования и методика их применения. М.: Гостоптехиздат, 1958, 44 с.
18. Комаров С.Г. Геофизические методы исследования скважин. – М.: Гостоптехиздат, 1962. – 368 с.
19. Guyod H. Electric analogue of resistivity logging. Geophysics, 20(3):615–629, 1955.
20. Миронцов Н.Л. Решение прямых и обратных задач электрического и индукционного каротажа методом интегральных (полных) токов / Зб. наук. праць. «Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики» – Київ. – 2009. – С. 340–352.
21. Миронцов М.Л. Метод швидкого розв'язання прямої та оберненої задачі індукційного каротажу // Геофизический журнал. – 2007. – №5. Т.29. – С. 212–214.
22. Миронцов М.Л. Метод розв'язання прямої та оберненої задачі індукційного каротажу // Допов. Нац. акад. наук Укр. – 2004. – №9. – С. 130–133.
23. Миронцов Н.Л. Метод построения геоэлектрической модели пласта-коллектора по данным электрометрии скважин // Допов. Нац. акад. наук Укр. – №3 – 2013. – С. 102–105.
24. Миронцов Н.Л. Пример эффективного решения обратной задачи многозондового индукционного каротажа // Допов. Нац. акад. наук Укр. – 2011. – № 5 – С. 119–122.
25. Миронцов Н.Л. Особенности применения четырехзондового индукционного каротажа в тонкослоистых разрезах Днепровско-Донецкой впадины // Геоінформатика. – 2017. – №4 (64). – С. 5–10.
26. Миронцов Н.Л. Критерий достоверности решения обратной задачи электрометрии скважин // Допов. Нац. акад. наук Укр. 2018. – №5. – С. 16–21. doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.04.016>
27. Миронцов Н.Л. Особенности численного решения обратной задачи индукционного каротажа в контрастном скважинном разрезе // Допов. Нац. акад. наук Укр. 2018. – №2. – С. 19–24. doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.02.019>
28. Миронцов Н.Л. Численное решение обратной задачи индукционного каротажа для тонкослоистых разрезов типа «рябчик» // Допов. Нац. акад. наук Укр. 2018. – №1. – С. 15–21. doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.01.015>
29. Миронцов Н.Л. Особенности решения обратной задачи индукционного каротажа в скважинах с высокой проводимостью // Геоінформатика. – 2018. – №1 (65). – С. 35–40.
30. Миронцов Н.Л. Методы факторизации двумерной обратной задачи электрического и индукционного каротажа / Зб. наук. праць. «Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики» – 2011. – №8. – С. 182–191.
31. Миронцов Н.Л. Решение уравнения Фредгольма первого рода типа свертки для задач индукционного каротажа // Геофизический журнал. – 2009. – Т. 31, № 3. – С. 116–120.

32. Миронцов М.Л. Практичне застосування неітераційного методу розв'язання рівняння Фредгольма першого роду до задач геофізики // Допов. Нац. акад. наук Укр. – 2009. – № 5. – С. 49–152.
33. Миронцов Н.Л. Способ решения обратной 2D задачи индукционного каротажа // Геофизический журнал. – 2009 – Т.31, № 4. – С. 196–203.
34. Миронцов Н.Л. Решение задачи определения действительного вертикального профиля проводимости по данным индукционного каротажа // НТВ Каротажник. – 2010. – № 3. – С. 57–69.
35. Миронцов Н.Л. Повышение вертикального разрешения низкочастотного индукционного каротажа на основе решения уравнения Фредгольма первого рода типа свертки // Геоинформатика. – 2012. – № 2. – С. 38–43.
36. Миронцов Н.Л. Новый принцип многозондового электрического каротажа // Допов. Нац. акад. наук Укр. – 2010. – № 6. – С. 103–106.
37. Миронцов Н.Л. Импульсный боковой каротаж с повышенным пространственным разрешением // Допов. Нац. акад. наук Укр. – 2010. – № 5. – С. 120–122.
38. Myrontsov M.L. Method for improving the spatial resolution of resistivity logging // Геофизический журнал. – 2010 – Т. 32, № 4. – С. 119–121.
39. Миронцов Н.Л. Два новых подхода к реализации многозондового бокового каротажа // Геофизический журнал. – 2011 – Т. 33, № 1. – С. 91–100.
40. Миронцов Н.Л. Способ устранения Гронинг-эффекта и эффекта экранирования при двойном боковом каротаже // Допов. Нац. акад. наук Укр. – 2011. – № 3. – С. 129–133.
41. Миронцов Н.Л. Аппаратурно-методический комплекс для исследования коллекторов аномально низкого сопротивления // Допов. Нац. акад. наук Укр. – 2012. – № 1. – С. 117–122.
42. Миронцов Н.Л. Метод распознавания "ошибочных" коллекторов и коллекторов остаточного нефтенасыщения при геофизическом исследовании скважин // Допов. Нац. акад. наук Укр. – 2012. – № 4. – С. 100–106.
43. Миронцов Н.Л. Эффективный метод исследования сложнопостроенных анизотропных пластов-коллекторов в терригенных разрезах // Допов. Нац. акад. наук Укр. – 2012. – № 5. – С. 119–125.
44. Миронцов Н.Л. О методе импульсного индукционного каротажа // Допов. Нац. акад. наук Укр. – 2010. – № 7. – С. 110–112.
45. Myrontsov M.L. Efficient method for solving the resistivity sounding inverse problem // Геофизический журнал. – 2010 – Т. 32, № 4. – С. 117–119.
46. Миронцов Н.Л. Численный метод решения прямой задачи импульсного индукционного каротажа // Допов. Нац. акад. наук Укр. – 2013 – №2. – С. 95–99.
47. Myrontsov M.L. Multi-Probe Hardware for Electrometry of Oil and Gas Wells // Science and innovation. 2018, 14(3):51-56. <https://doi.org/10.15407/scine14.03.051>
48. Миронцов М.Л. Багатозондова апаратура електрометрії нафтогазових свердловин // Наука та інновації. 2018, 14(3): 57–63. <https://doi.org/10.15407/scin14.03.057>
49. Миронцов Н.Л. Анализ возможностей синтетических зондов низкочастотного индукционного каротажа // НТВ Каротажник. – 2010. – № 4. – С. 73–87.
50. Миронцов Н.Л. Оценка влияния погрешности на решение обратной задачи индукционного каротажа // Допов. Нац. акад. наук Укр. – 2011. – № 4. – С. 111–114.
51. Миронцов Н.Л. Анализ возможностей стандартного комплекса электрометрии для решения актуальных задач геофизического исследования скважин // Геофизический журнал. – 2012. – Т. 34, №1. – С. 159–170.
52. Миронцов Н.Л. Один из возможных методов оценки погрешности индукционного низкочастотного каротажа // НТВ Каротажник. – 2012. – №9. – С. 72–77.
53. Миронцов Н.Л. Метод повышения эффективности решения обратной задачи каротажного зондирования комплексом БКЗ-БК-ИК // Геоинформатика. – 2011. – № 2. – С. 43–47.

54. Миронцов Н.Л. Об одном возможном методе повышения эффективности решения обратных задач каротажного зондирования / 36. наук. праць. «Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики» – 2012. – №9. – С. 143–150.
55. Миронцов Н.Л. Один возможный способ повышения точности решения обратной задачи электротометрии скважин // Допов. Нац. акад. наук Укр. – 2013 – №4. – С. 93–96.
56. Миронцов Н.Л. О связи характеристик пространственного разрешения зондирующей аппаратуры каротажа и эффективности решения обратных задач // Геофизический журнал. – 2012. – Т. 34, № 3 – С. 155–159.
57. Миронцов Н.Л. Метод решения обратной задачи электротометрии скважин // Геофизический журнал. – 2012. – Т. 34, № 4. – С. 193–198.
58. Миронцов Н.Л. Аппаратурно-методический комплекс электрического и индукционного каротажа наклонных и горизонтальных скважин // Геодинаміка – 2011 – № 2. (11). – С. 208–209.
59. Сгурнова М.Г., Зайковський М.Я., Заворотько Я.М., Цьоха О.Г., Кнішман О.Ш., Муляр П.М., Дем'яненко І.І. Нафтогазоперспективні об'єкти України. Нафтогазоносність та особливості літогеофізичної будови відкладів нижнього карбону і девону Дніпровсько-Донецької западини. Київ: Наукова думка, 2005. 196 с.
60. Пат. України № 123422, МПК⁸ G01V 3/00. Спосіб п'ятизондового несиметричного індукційного каротажу / М.Л. Миронцов; власник Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України; заявл. 26.09.2017; опубл. 26.02.2018 Бюл. №4.
61. Пат. України № 123423, МПК⁸ G01V 3/00. Спосіб двозондового електричного бокового каротажу становленням поля / М.Л. Миронцов; власник Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України; заявл. 26.09.2017; опубл. 26.02.2018 Бюл. №4.
62. Пат. України № 123424, МПК⁸ G01V 3/00. Спосіб чотиризондового несиметричного індукційного каротажу / М.Л. Миронцов; власник Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України; заявл. 26.09.2017; опубл. 26.02.2018 Бюл. №4.
63. Пат. України № 123425, МПК⁸ G01V 3/00. Спосіб тризондового електричного бокового каротажу становленням поля / М.Л. Миронцов; власник Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України; заявл. 26.09.2017; опубл. 26.02.2018 Бюл. №4.
64. Пат. України № 123426, МПК⁸ G01V 3/00. Спосіб багатозондового електричного бокового каротажу становленням поля / М.Л. Миронцов; власник Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України; заявл. 26.09.2017; опубл. 26.02.2018 Бюл. №4.
65. Пат. України № 123427, МПК⁸ G01V 3/00. Спосіб чотиризондового різночастотного індукційного зондування ближньої зони свердловинного розрізу / М.Л. Миронцов; власник Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України; заявл. 26.09.2017; опубл. 26.02.2018 Бюл. №4.
66. Пат. України № 123428, МПК⁸ G01V 3/00. Спосіб чотиризондового різночастотного індукційного зондування дальньої зони свердловинного розрізу / М.Л. Миронцов; власник Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України; заявл. 26.09.2017; опубл. 26.02.2018 Бюл. №4.
67. Пат. України № 123429, МПК⁸ G01V 3/00. Спосіб тризондового несиметричного індукційного каротажу / М.Л. Миронцов; власник Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України; заявл. 26.09.2017; опубл. 26.02.2018 Бюл. №4.
68. Пат. України № 114880, МПК⁸ G01V 3/00. Спосіб електричного бокового каротажу комбінацією прямих вимірів / М.Л. Миронцов; власник Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України; заявл. 21.09.2016; опубл. 27.03.2017 Бюл. №6.

69. Пат. України № 114879, МПК⁸ G01V 3/00. Спосіб багатозондового електричного бокового каротажу комбінацією прямих вимірів / М.Л. Миронцов; власник Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України; заявл. 21.09.2016; опубл. 27.03.2017 Бюл. №6.
70. Пат. України № 114878, МПК⁸ G01V 3/00. Спосіб електричного бокового каротажу комбінацією обернених вимірів / М.Л. Миронцов; власник Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України; заявл. 21.09.2016; опубл. 27.03.2017 Бюл. №6.
71. Пат. України № 114877, МПК⁸ G01V 3/00. Спосіб багатозондового електричного бокового каротажу комбінацією обернених вимірів / М.Л. Миронцов; власник Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України; заявл. 21.09.2016; опубл. 27.03.2017 Бюл. №6.
72. Пат. України № 114876, МПК⁸ G01V 3/00. Спосіб двозондового електричного бокового каротажу комбінацією прямих вимірів / М.Л. Миронцов; власник Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України; заявл. 21.09.2016; опубл. 27.03.2017 Бюл. №6.
73. Пат. України № 114875, МПК⁸ G01V 3/00. Спосіб тризондового електричного бокового каротажу комбінацією прямих вимірів / М.Л. Миронцов; власник Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України; заявл. 21.09.2016; опубл. 27.03.2017 Бюл. №6.
74. Пат. України № 114874, МПК⁸ G01V 3/00. Спосіб двозондового електричного бокового каротажу комбінацією обернених вимірів / М.Л. Миронцов; власник Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України; заявл. 21.09.2016; опубл. 27.03.2017 Бюл. №6.
75. Пат. України № 114873, МПК⁸ G01V 3/00. Спосіб тризондового електричного бокового каротажу комбінацією обернених вимірів / М.Л. Миронцов; власник Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України; заявл. 21.09.2016; опубл. 27.03.2017 Бюл. №6.
76. Пат. України № 108880, МПК⁸G01V 3/00. Спосіб тризондового електричного бокового каротажу / М.Л. Миронцов; власник Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України; заявл. 26.10.2015; опублік. 10.08.16 Бюл. № 15.
77. Пат. України № 76746, МПК⁸G01V 3/00. Спосіб електричного бокового скануючого каротажу / М.Л. Миронцов; власник Інститут геофізики ім. С.І. Суботіна НАН України; заявл. 17.07.2012; опубл. 10.01.2013 Бюл. №1.
78. Пат. України № 77338, МПК⁸G01V 3/00. Спосіб багатозондового електричного бокового каротажу / М.Л. Миронцов; власник Інститут геофізики ім. С.І. Суботіна НАН України; заявл. 26.07.2012; опублік. 11.02.2013 Бюл. №3.
79. Пат. України № 77432, МПК⁸G01V 3/00. Спосіб індукційного каротажу становленням поля / М.Л. Миронцов; власник Інститут геофізики ім. С.І. Суботіна НАН України; заявл. 27.08.2012; опублік. 11.02.2013 Бюл. №3.
80. Пат. України №81173, МПК⁸G01V 3/00. Спосіб частотного сканування при індукційному каротажу / М.Л. Миронцов; власник Інститут геофізики ім. С.І. Суботіна НАН України; заявл. 18.12.2012; опублік. 25.06.2013 Бюл. №12.
81. Пат. України № 81172, МПК⁸G01V 3/00. Спосіб симетричного бокового багатозондового каротажного зондування / М.Л. Миронцов; власник Інститут геофізики ім. С.І. Суботіна НАН України; заявл. 18.12.2012; опублік. 25.06.2013 Бюл. №12.
82. Пат. України № 81171, МПК⁸G01V 3/00. Спосіб двозондового електричного бокового каротажу / М.Л. Миронцов; власник Інститут геофізики ім. С.І. Суботіна НАН України; заявл. 18.12.2012; опублік. 25.06.2013 Бюл. №12.

Стаття надійшла до редакції 16.08.2018.

УДК 004:005.591.6

В.Є. КРАСКЕВИЧ, А.В. СЕЛІВАНОВА

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ІННОВАЦІЙНОГО ІНЖИНІРИНГУ

***Анотація.** Проаналізовано інформаційні інструменти для підтримки інноваційної діяльності. Розкрито поняття та особливості краудфандингових платформ. Проаналізовано перспективи розвитку краудфандингу в Україні.*

***Ключові слова:** інновація, інформаційний інструмент, інжиніринг, інноваційний інжиніринг, краудфандинг.*

Вступ

Інноваційна діяльність підприємств є одним із пріоритетних напрямів економічної політики в розвинених країнах. Стрімкий розвиток інформаційних технологій, в тому числі й інформаційних платформ, дає широкі можливості для підтримки управлінських рішень у процесі впровадження інновацій. На сьогодні особливої актуальності набувають методології інноваційного інжинірингу – процесу створення та реалізації інноваційного продукту чи послуги [1]. Обов'язковою умовою для інноваційного інжинірингу є ціленаправлена, системна та узгоджена взаємодія всіх учасників проекту.

Як свідчить практика, лише кожен десятий стартап є успішним та отримує подальшу реалізацію. Сам процес розробки інноваційного продукту охоплює період від інноваційного задуму до розробки документального забезпечення та проведення різного роду тестувань [2]. Вагому роль відіграє ефективне впровадження інноваційного інжинірингу, оскільки він включає в себе повну розробку продукту та подальший супровід і спрямований на зменшення фінансових ризиків та зниження вартості зовнішніх запозичень. Останні десять років все частіше зустрічається поняття краудфандингу (англ. «crowd» – натовп, «funding» – фінансування) – інформаційного інструменту для створення стартового капіталу майбутнього стартапу [5]. Для вітчизняних розробників краудфандингові платформи можуть стати реальною можливістю втілити свої інноваційні ідеї у життя.

Метою роботи є аналіз передового світового досвіду застосування краудфандингових платформ для реалізації стартапів та перспективи підтримки інноваційної діяльності в Україні.

1. Матеріали і методи

В основі дослідження – методи наукового пізнання, системного підходу й узагальнення, наукові праці українських та закордонних вчених.

2. Результати дослідження

Краудфандинг є одним з ефективних засобів залучення коштів на реалізацію різноманітних проєктів. Це можуть бути як культурні та соціальні проєкти, так і технічні (рис. 1). Сама процедура збору коштів проводиться за допомогою інформаційних платформ, і майбутні спонсори стартапів можуть як отримати в обмін фінансові нагороди та різного роду бонуси, так і не отримати нічого [4–7].

Сектор	Сума зібраних коштів, \$ млрд
Бізнес та підприємництво	6,70
Соціальні ініціативи	3,06
Кіно та театр	1,97
Нерухомість	1,01
Музика та звукозапис	0,74

Рисунок 1 – Лідери краудфандингового фінансування

Як інформаційний інструмент для збору коштів краудфандингова платформа є спеціалізованим сайтом для розміщення інноваційних ідей. Платформа забезпечує фінансові та юридичні аспекти діяльності та сприяє взаємодії учасників проєкту.

Існує декілька схем краудфандингу – без віддачі, з попереднім продажем продукту та рівноцінним розподілом. Відповідно люди або просто вносять свою частку до стартового капіталу без будь-якої віддачі, або стають спільними власниками майбутнього продукту чи послуги. Краудфандинг є новим підходом щодо ведення бізнесу та реалізації творчих проєктів. На даному етапі розвитку вже сформовані дві моделі для збору коштів – «гнучке фінансування» та «усе або нічого». Перша модель є більш привабливою для авторів інноваційного проєкту, так як особливістю є гарантоване отримання хоча б певної частки від необхідної суми. Друга модель, навпаки, приваблює потенціальних спонсорів, оскільки у разі збору неповної необхідної суми гроші будуть повернені. Важливою умовою успішного збору коштів для стартового капіталу, окрім оригінальної ідеї, є маркетингова діяльність, так як чим більша кількість людей дізнається про стартап, тим швидше він може бути реалізований [4].

Краудфандинговий процес можна розділити на наступні етапи:

- Розробник придумує ідею майбутнього стартапу.
- В залежності від специфіки проєкту здійснюється вибір відповідної краудфандингової платформи.
- Розробник розміщує бізнес-план свого проєкту на краудфандинговій платформі (важливо відмітити, що це повинна бути продумана презентація ідеї проєкту).
- Збір коштів. На цьому етапі розробник спілкується з майбутніми інвесторами та рекламує свій проєкт.

- Якщо зібрана необхідна сума коштів, розробник може використати її для реалізації проекту.
- Нагорода інвесторів (в залежності від обіцяної нагороди інвестори отримують обіцяні бонуси).
- Запуск проекту на ринок (після успішної реалізації розробник працює самостійно, краудфандингова платформа припиняє підтримку проекту).

Будь-яка краудфандингова платформа зацікавлена в успішній реалізації стартапу для підтримки хорошої репутації. Особливої уваги краудфандинг заслуговує як інструмент аналізу попиту на створюваний продукт або послугу [3–5]. Принцип доволі простий – чим швидше та більше коштів вдалося залучити, тим вищий є потенційний попит. У 2012 році в США був підписаний закон про форсований запуск бізнес-стартапів або JOBS Act, який дозволяє компаніям приймати інвестиції від звичайних громадян [8]. Окрім цього, надзвичайно гострим є питання захисту авторських прав, що відноситься до всіх типів краудфандингу, так як повна відкритість інформації може сприяти незаконному використанню інформації.

Існують також суто технічні перепони для краудфандингових платформ, це насамперед недостатньо розвинена інфраструктура та не завжди справне підключення до мережі Інтернет.

Активно розвиватися краудфандинг почав з 2008 року, коли були створені найпопулярніші платформи Kickstarter та IndieGoGo, які стали відомі завдяки фінансуванню стартапів. В європейському досвіді першою платформою вважають французьку Ulule, створену у 2010 році [7]. Окрім головного офісу в Парижі, існують представництва в Німеччині та Іспанії. На рахунку Ulule понад 4500 успішних проектів. Узагалі лише у Франції таких платформ – близько двох десятків. Більше тільки в США – не менш як 30.

У 2014 році відбувся справжній прорив у краудфандингу – порівняно з 2013 роком ринок виріс втричі, досягнувши \$16,2 млрд. Тільки за 2014 рік понад 3 мільйони людей з усього світу внесли свою частку до проектів на сайті Kickstarter. Найвідоміші стартапи Kickstarter зібрали до \$10 млн (Pebble, UbuntuEdge).

На вітчизняних просторах першою краудфандинговою платформою став створений у 2012 році «Спільнокошт», який за перші два роки існування зібрав майже 4 мільйони гривень. У 2013 році була реалізована ще одна платформа – Na-Starte. За період існування цієї платформи було запущено понад 40 проектів, 90% з яких – комерційні. В Україні краудфандинг може бути ефективним інструментом для підтримки малого бізнесу. Для великих компаній ідея краудфандингу може використовуватися не тільки для зовнішніх цілей, а й для оптимізації внутрішніх процесів. На сьогодні подібна методика вже застосована в компанії ІВМ.

Висновки

На сьогодні краудфандинг успішно функціонує на різних інформаційних платформах та має переваги над існуючими системами фінансування. В першу чергу, краудфандинг приваблює простотою, оскільки для успішного здійснення діяльності по залученню коштів між потенційними інвесторами та організаторами проекту необхідний взаємозв'язок за допомогою Інтернету. Важливим аспектом також є відсутність посередників та можливість

встановлювати безпосередні зв'язки між тими, хто володіє коштами, і тими, кому необхідне фінансування. Для інвесторів є декілька факторів, які можуть зацікавити у фінансуванні стартапів шляхом краудфандингу:

- Інвестори мають можливість інвестування в будь-який проект, так як вибір базується на особистих вподобаннях.
- Можливість отримати доступ до нового продукту ще до його офіційного виходу.
- Можливість відкритого спілкування та обміну ідеями на краудфандингових платформах.
- Підтримка інноваційних ідей та проектів, в тому числі і соціальних.

Підсумовуючи викладене, можна зробити висновки, що маловідомим компаніям вигідно використовувати краудфандинг, якщо ще немає аудиторії користувачів та є цікаві ідеї, які можуть привабити людей. За рахунок вільного спілкування з потенційними інвесторами розробники можуть реалізовувати проекти, які будуть задовольняти потреби ринку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Горовий В. М. Соціальні інформаційні комунікації, їх наповнення і ресурс / НАН України, Нац. б-ка України ім. В. І. Вернадського; наук. ред. Л. А. Дубровіна. / В.М. Горовий. – К., 2010. – 360 с.
2. Микитюк П.П. Інноваційний менеджмент: Навчальний посібник. – Тернопіль : Економічна думка, 2006. – 295 с.
3. Agrawal A., Catalini Ch., Goldfarb A. (2013), 'Some simple economics of crowdfunding, National Bureau of economic research', Cambridge Press
4. Cl. M. Christensen, T. Donovan, (2012), 'The process of strategy development and implementation', Innosight
5. Larralde A., Schwienbacher B. (2010), 'Crowdfunding of Small Entrepreneurial Ventures', Handbook of Entrepreneurial Finance, Oxford University Press
6. Blumenthal Y. (2012), 'Crowdfunding as financing tool: exploring the extra something', Maastricht University Press
7. Дубас О. П. Інформаційний розвиток сучасної України у світовому контексті. / О.П. Дубас – К.: Генеза, 2004. – 276 с.
8. Riehle D. (2007), The Economic Motivation of Open Source Software // SAP Research. P. 25–32.

Стаття надійшла до редакції 11.09.2018.

УДК 004.7

О.М. ТРОФИМЧУК, В.М. ВАСИЛЕНКО, С.В. ЗАЙЦЕВ

АНАЛІЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО ЗАПИТУ НА ПОВТОРНУ ПЕРЕДАЧУ

***Анотація.** У роботі розглядаються основні типи систем автоматичного запиту на повторну передачу та систем гібридного автоматичного запиту на повторну передачу, їх структура, особливості, параметри. Проведено порівняльний аналіз наведених систем для визначення основних переваг та недоліків. Показано залежність гнучкості та накладних витрат для різних систем гібридного автоматичного запиту на повторну передачу.*

***Ключові слова:** система, автоматичний запит, передача.*

Вступ

Надійність передачі даних є однією з основних проблем в області безпроводового зв'язку. Тому для підвищення надійності були впроваджені системи автоматичного запиту на повторну передачу (Automatic Repeat reQuest – ARQ). Існує декілька типів систем ARQ: ARQ вибіркового повтору, Go-Back-N ARQ, Stop-and-wait ARQ. Однак, застосування методів ARQ знижує пропускну здатність систем передачі даних. Тому для вирішення проблеми зниження пропускну здатності були створені системи гібридного автоматичного запиту на повторну передачу (HARQ – Hybrid ARQ). Системи HARQ включені в безпроводові стандарти, такі як LTE, LTE-Advanced та WiMAX [1–8].

1. Аналіз основних систем ARQ

Звичайним способом керування помилками передачі є використання методів прямої корекції помилок (FEC – Forward Error Correction). FEC використовують корегуючі коди. Коли приймач виявляє наявність помилок, він намагається виявити місцезнаходження помилок і виправити їх. Навіть якщо приймач не зможе виправити помилки, помилкові дані будуть доставлені на верхній рівень. Як альтернатива, коли доступний канал зворотного зв'язку від приймача до передавача, схеми ARQ можуть бути використані для подолання помилок передачі. У системі ARQ використовується код з хорошою здатністю виявлення помилок. Пакети даних додаються з бітами виявлення помилок і надсилаються на приймач. Після отримання пакета даних приймач перевіряє наявність помилок у отриманих даних. Якщо є помилки, приймач надсилає сигнал NACK у каналі зворотного зв'язку, що вимагає повторної передачі, і цей процес продовжується до тих пір, поки дані не будуть успішно отримані. Якщо пакет приймається без будь-яких помилок, приймач надсилає сигнал ACK до передавача. Циклічні надлишкові коди (CRC) – це найбільш часто використовувані коди для виявлення помилок [9, 10]. Існують три основні

типи схем ARQ – stop-and-wait ARQ, go-back-N ARQ та ARQ вибіркового повтору.

Stop-and-wait ARQ. Приклад Stop-and-wait ARQ показано на рис. 1. Після того як пакет закодований за допомогою коду виявлення помилок і відправлений на приймач, передавач чекає зворотного зв'язку з приймачем. Якщо передавач отримує повідомлення ACK, він надсилає наступний пакет. Якщо передавач отримує повідомлення NACK на каналі зворотного зв'язку, він повторно передає помилковий пакет. Ця схема зупинки та очікування ARQ є неефективною, коли існує велика затримка (затримка зворотного зв'язку) між часом передачі кожного пакета та повідомлення про час відгуку ACK або NACK. Перевага цього протоколу полягає в тому, що його легко реалізувати і що передавач або приймач повинні зберігати лише один пакет у будь-який момент часу [9].

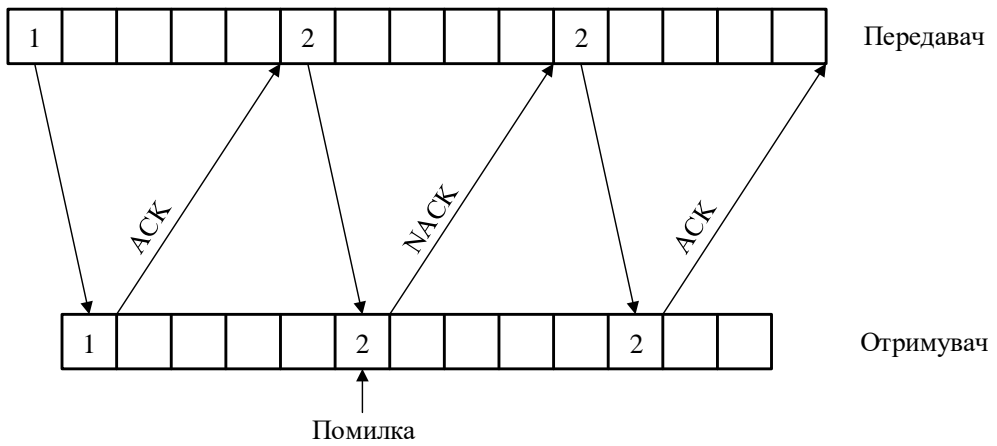


Рисунок 1 – Процес передачі пакетів для Stop-and-wait ARQ

Go-back-N ARQ. Робота системи Go-back-N ARQ показана на рис. 2.

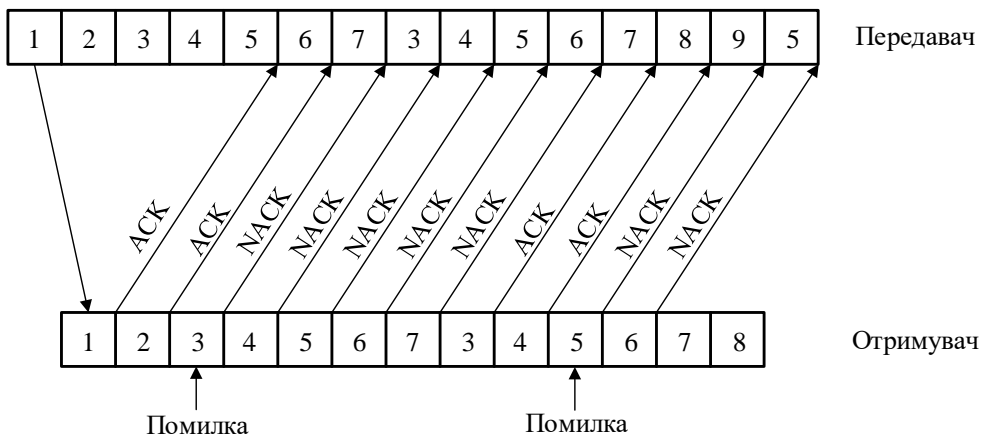


Рисунок 2 – Процес передачі пакетів для Go-back-N ARQ

У цьому протоколі ARQ передатчик не чекає повідомлення ACK для передачі наступного пакета, пакети передаються безперервно. Повідомлення ACK / NACK для переданого пакета буде прийнято після затримки в обидва кінці. Протягом цього часу передавач посилає інші $N-1$ пакети. Коли приймається повідомлення NACK, передавач виконує резервне копіювання помилкового пакета і відправляє його разом з $N-1$ пакетами, які були відправлені під час затримки в обидва кінці. Передавач повинен мати буфери для зберігання N пакетів в будь-який даний момент часу. Беручи до уваги, що на стороні одержувача пакети $N-1$, наступні за помилково прийнятим пакетом, відкидаються незалежно від того, чи є вони помилками, чи ні. Через безперервну передачу пакетів цей протокол більш ефективний, ніж протокол зупинки і очікування. Протокол go-back-N також стає неефективним, якщо затримка із зворотним проходом велика і швидкість передачі даних висока. Неефективність цього протоколу полягає в тому, що багато пакетів без помилок будуть відкинуті в приймальнику після виявлення пакета з помилкою [10].

ARQ вибіркового повтору. Робота системи ARQ вибіркового повтору показана на рис. 3. У цьому протоколі пакети безперервно відправляються з передавача. Передавач продовжує відправляти нові пакети, поки приймаються повідомлення ACK. Коли приймається повідомлення NACK, передавач передає тільки помилковий пакет. Оскільки пакети повинні бути доставлені в правильному порядку, в приймачі повинен бути наданий буфер для зберігання пакетів, які приймаються без помилок після пакета, який був з помилкою. Коли перший помилковий пакет успішно прийнято, приймач звільняє пакети без помилок в послідовному порядку до тих пір, поки не зустрінеться наступний помилково прийнятий пакет.

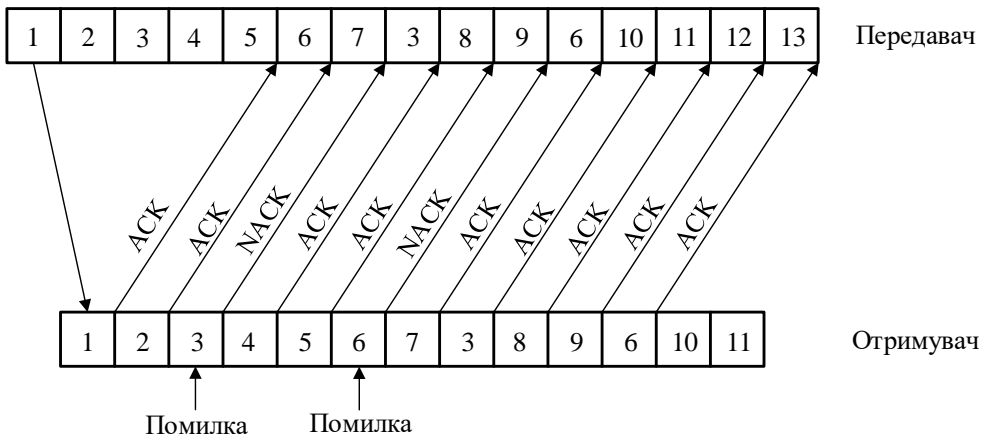


Рисунок 3 – Процес передачі пакетів для ARQ вибіркового повтору

ARQ вибіркового повтору є найбільш ефективним з трьох протоколів ARQ [10]. Основним недоліком схеми ARQ з вибірковим повтором є підвищена складність, оскільки передавач і приймач повинні мати буфери. Оскільки ймовірність помилки декодування набагато вище ймовірності невиявленої помилки, системи, що використовують тільки схеми FEC, не можуть гарантувати високу надійність. Для отримання високої надійності з

використанням FEC необхідно використовувати довгі потужні коди і виправляти велику кількість помилок. Однак використання довгих кодів робить декодування складним для реалізації і дорогим обчисленням. У порівнянні із системами, що використовують тільки FEC, системи ARQ прості і забезпечують більшу надійність. Схеми ARQ мають недолік в тому сенсі, що їх пропускна здатність значно погіршується в умовах сильного загасання. Недоліки в схемах ARQ і FEC можуть бути подолані, якщо дві схеми керування помилками належним чином об'єднані. Така комбінація називається HARQ [10].

2. Аналіз основних систем HARQ

На рис. 4 представлена класифікація типів передачі систем HARQ на основі часу та адаптації [11].



Рисунок 4 – Класифікація типів передачі систем HARQ

У синхронних неадаптивних системах HARQ повторні передачі відбуваються з фіксованими інтервалами часу. На рис. 5 представлений процес передачі даних в синхронних неадаптивних системах HARQ з кількістю блоків передачі в кадрі $N = 8$.

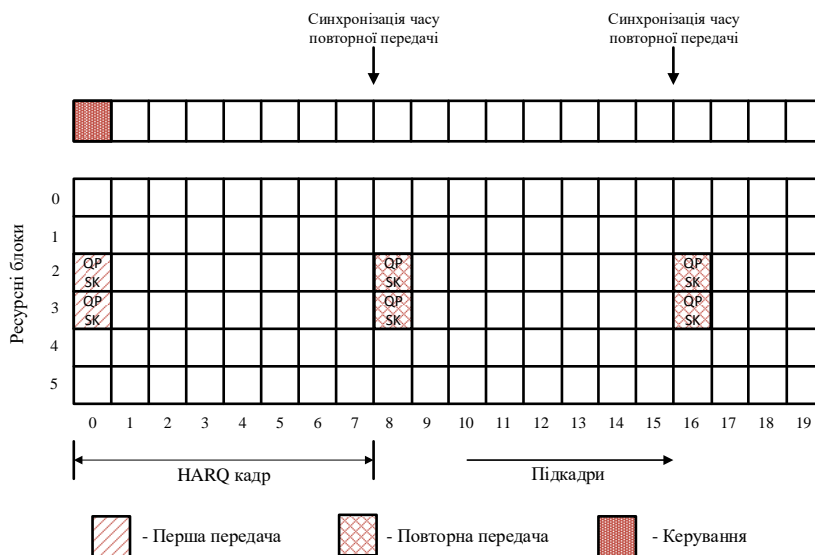


Рисунок 5 – Процес передачі даних у синхронних неадаптивних системах HARQ

Однією з переваг синхронного неадаптивного HARQ є те, що керуюча інформація повинна передаватися лише разом з першим блоком, оскільки час повторних передач визначено. Однак основним недоліком синхронного неадаптивного HARQ є те, що повторно передані блоки не можуть бути заплановані на частотно-часових ресурсах, які мають хороші умови каналу під час повторних передач [11].

На рис. 6 представлений процес передачі даних в синхронних адаптивних системах HARQ з кількістю блоків передачі в кадрі $N = 8$.

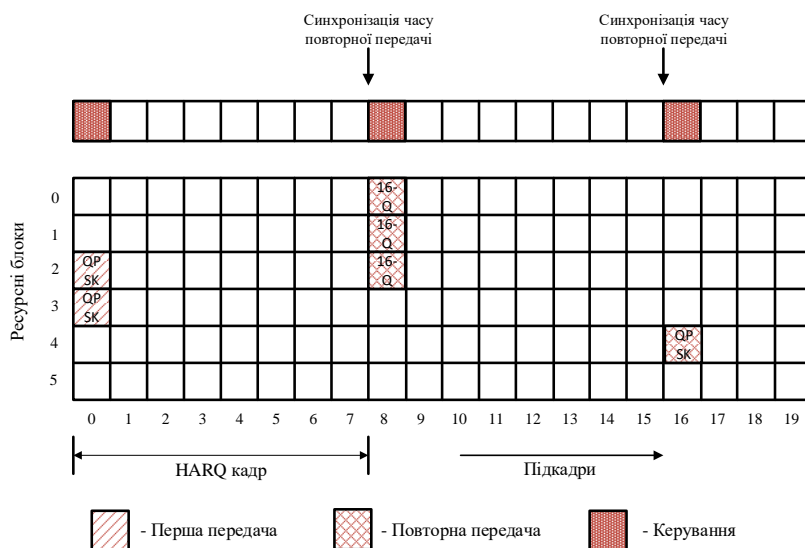


Рисунок 6 – Процес передачі даних у синхронних адаптивних системах HARQ

Синхронний адаптивний HARQ дозволяє змінювати розподіл ресурсів, схему модуляції та кодування для повторних передач. Подібно до синхронної неадаптивної HARQ, час повторної передачі фіксовано. Оскільки розподіл ресурсів, схема модуляції та кодування може змінюватися для повторних передач, керуюча інформація відправляється з повторною передачею.

На рис. 7 представлений процес передачі даних в асинхронних неадаптивних системах HARQ з кількістю блоків передачі в кадрі $N = 8$. Асинхронний неадаптивний HARQ дозволяє запланувати повторні передачі в часі. У такому HARQ розподіл ресурсів, схема модуляції та кодування для повторних передач зберігаються так само, як і на вхідній передачі. Тільки керуюча інформація, що несе ідентифікатор користувальницького обладнання, HARQ процесу і версії надлишковості, передається з кожною повторною передачею [11].

Основним недоліком цієї схеми є обмежена гнучкість. Резервування ресурсів передачі, схема модуляції та кодування для повторних передач не можуть бути адаптовані.

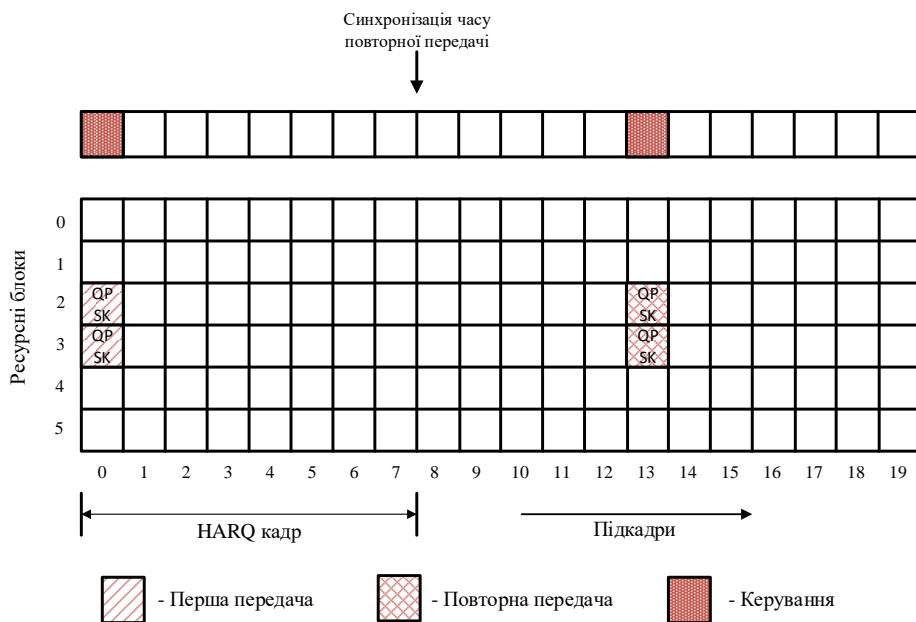


Рисунок 7 – Процес передачі даних в асинхронних неадаптивних системах HARQ

Асинхронна адаптивна система HARQ забезпечує повну гнучкість при повторних передачах. Повторні передачі виконуються так само, як і початкові передачі, як показано на рис. 8 [11]. Як адаптація, так і синхронізація коригуються відповідно до якості каналу. Отже, час повторної передачі, розподіл ресурсів, схеми модуляції та кодування адаптуються відповідно до умов каналу і ресурсів під час повторної передачі. Одним з основних недоліків є те, що повну інформацію керування потрібно відправляти з повторними передачами. Навіть якщо час, розподіл ресурсів, модуляція та кодування не змінюються щодо початкової передачі, то все одно необхідно передати інформацію керування в асинхронному адаптивному HARQ.

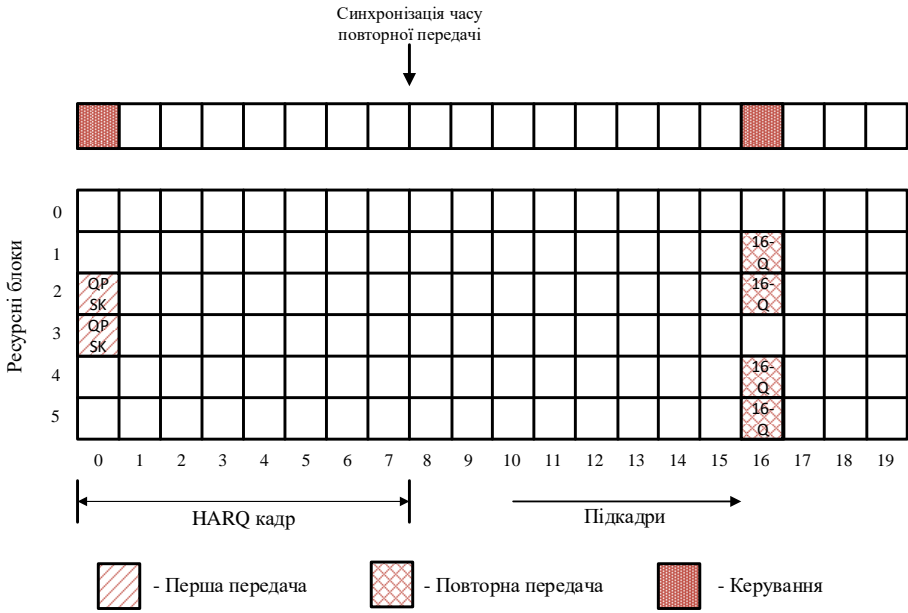


Рисунок 8 – Процес передачі даних в асинхронних адаптивних системах HARQ

На рис. 9 показаний графік залежності гнучкості і накладних витрат для різних гібридних схем ARQ [11]. Синхронна неадаптивна система HARQ має найменші витрати, а також забезпечує мінімальну гнучкість. З іншого боку, асинхронна адаптивна схема забезпечує максимальну гнучкість за рахунок великих накладних витрат. Синхронна адаптивна система і асинхронна неадаптивна система забезпечують деяку гнучкість для запобігання конфліктам ресурсів з проміжними накладними витратами. Очікується, що накладні витрати для синхронної адаптивної системи будуть більше, ніж асинхронної адаптивної системи, оскільки розподіл ресурсів зазвичай найбільше впливає на загальні накладні витрати.

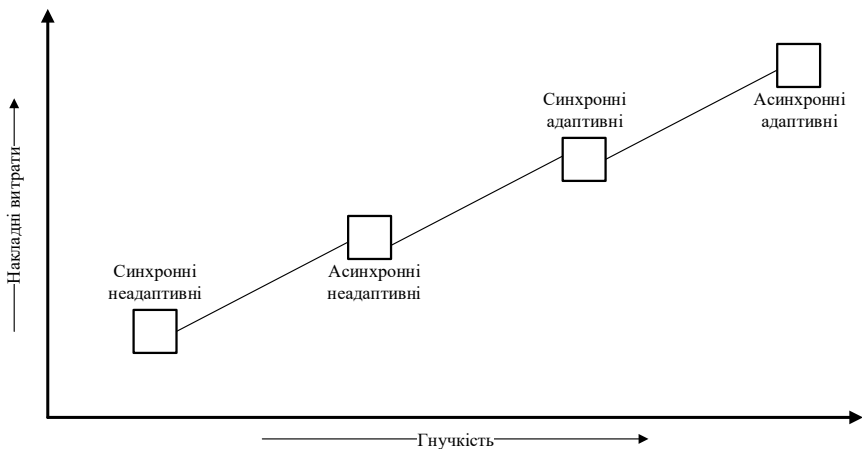


Рисунок 9 – Накладні витрати та гнучкість HARQ

Також системи HARQ класифікуються як системи HARQ типу-1 та HARQ типу-2.

Тип-I HARQ. У цих системах може одночасно використовуватися корекція помилок і виявлення помилок. Якщо число помилок в прийнятому пакеті знаходиться в межах корегуючої здатності коду, помилки будуть виправлені. Якщо приймач не в змозі виправити помилки, відбувається запит на повторну передачу. Коли повторно переданий пакет отриманий, приймач знову намагається виправити помилки (якщо вони є). Якщо помилки не виправилися, то знову відбувається запит на повторну передачу. Цей процес триває до тих пір, поки пакет не буде прийнятий правильно. Оскільки код повинен мати можливість одночасно виявляти і виправляти помилки, потрібно більше бітів контролю парності. Це збільшує додаткові витрати, які пов'язані з передачею. Через це системи типу HARQ-I можуть мати більш низьку пропускну здатність, ніж схеми ARQ, якщо умови каналу хороші. Однак, якщо каналні умови не є хорошими і коригувальна здатність FEC коду хороша, система типу HARQ-I може досягти більш високої пропускну здатності, ніж система ARQ [10].

Тип-II HARQ. Тип-II HARQ використовує повторну передачу послідовності, яка містить в основному біти парності, а не повторного надсилання вихідної послідовності. Ці схеми іноді називають схеми HARQ з м'яким комбінуванням.

Вони підрозділяються на два типи: системи з відслідковуючим комбінуванням (Chase Combining (CC) Schemes) та системи з інкрементальною надлишковістю (Incremental Redundancy (IR) Schemes) [12–13].

Системи з відслідковуючим комбінуванням (Chase Combining (CC) Schemes). Це схеми типу HARQ-II, в якому всі повторні передачі містять ту ж саму інформацію, тобто пакет кодується з використанням того ж коду каналу під час кожної передачі і сигнал, що передається, містить ті ж кодовані біти [9, 14–15]. Приймач використовує максимальне співвідношення об'єднання (MRC) для декодування пакета даних. Об'єднання зазвичай виконується після демодуляції, але перед декодуванням.

Системна модель схеми CC-HARQ показана на рис. 10. Набір інформаційних бітів N_I кодується для отримання N_C кодованих бітів. Потім ці біти перемежуються і N модульованих символів відправляється адресату в N каналах. Якщо приймач не в змозі декодувати пакет, то ті ж N символів модуляції S_1, \dots, S_N передаються протягом фази повторної передачі. Якщо максимальна кількість повторної передачі для кожного пакета даних обмежена L , то максимальна кількість каналів, що використовуються для передачі кожного пакета – $L \cdot N$.

У літературі пропонується кілька варіантів схем з відслідковуючим комбінуванням. Наприклад, замість передачі цілого кодового слова під час повторних передач може бути передана лише частина кодового слова, і такі схеми називаються частковими схемами з відслідковуючим комбінуванням, що поєднують схеми HARQ.

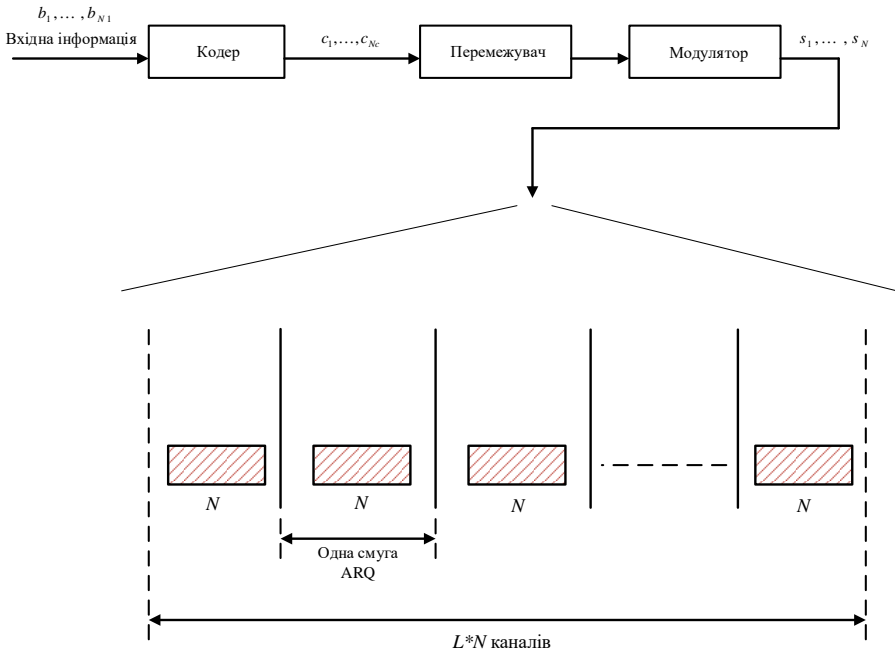


Рисунок 10 – Модель HARQ з відслідковуючим комбінуванням

Системи з інкрементальною надлишковістю (Incremental Redundancy (IR) Schemes). У цих схемах типу HARQ-II, всі наступні повторні передачі додають «нову» інформацію. Зазвичай під час повторних передач додаються додаткові біти парності, які передаються адресату [9, 16–17]. Приймач об'єднує інформацію з поточної повторної передачі з інформацією з попередніх спроб передачі одного і того ж пакета. Оскільки кожна передача містить інформацію, яка не була передана раніше, то швидкість передачі коду в приймачі знижується на кожній повторній передачі.

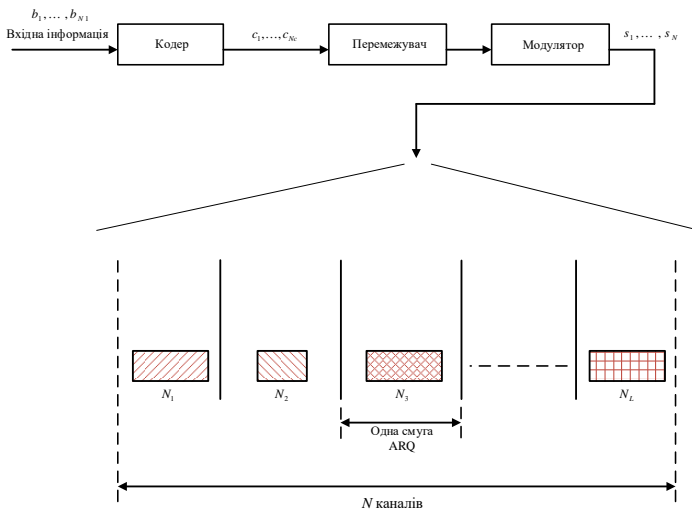


Рисунок 11 – Модель HARQ з інкрементальною надлишковістю

Системна модель HARQ з інкрементальною надлишковістю показана на рис. 11. Ця модель подібна до тієї, що показана для схеми HARQ з відслідковуючим комбінуванням на рис. 10, за винятком того, що під час повторних передач символи модуляції, що відповідають новим бітам парності, надсилаються в пункт призначення.

Висновки

1. У роботі розглядаються основні типи систем автоматичного запиту на повторну передачу та систем гібридного автоматичного запиту на повторну передачу, їх структура, особливості, параметри.

2. ARQ вибіркового повтору є найбільш ефективним з трьох протоколів ARQ. Але основним недоліком є підвищена складність за рахунок застосування додаткових буферів для збереження пакетів, які були прийняті без помилок.

3. Синхронна неадаптивна система HARQ має найменші витрати, а також забезпечує мінімальну гнучкість. А асинхронна адаптивна схема забезпечує максимальну гнучкість за рахунок великих накладних витрат.

4. Недоліком HARQ є те, що при запиті на повторну передачу передається заново весь блок, тим самим зменшуючи швидкість передачі інформації і збільшуючи час передачі інформації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Abudakar B. Automatic Repeat Request (Arq) Protocols / B. Abudakar // *The International Journal of Engineering Science*. – 2017. – Vol. 6, Issue 5. – P. 64–66. DOI: 10.9790/1813-0605016466.
2. Mallanagouda P. Dynamic and Channel Adaptive Error Control Scheme in Wireless Sensor Networks / P. Mallanagouda, B. Rajashekhar // *Global Journal of Computer Science and Technology: Network, Web & Security (USA)*. – 2017. – Vol. 17, Issue 2. – P. 43–54.
3. Cheolsu H. EMI Reduction algorithm using enhanced-HARQ Implementation for Controller Area Network / H. Cheolsu H, K. Seok // *International Journal of Applied Engineering Research*. – 2017. – Vol. 12, Num. 21. P. 11124–11129.
4. Santosh C. Review on Cross Layer Hybrid Scheme in WMSNS Using Error Correcting Codes for Energy Efficiency / C. Santosh, J. Swarna // *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education*. – 2017. – Vol. 2, Issue 5. – P. 315–322.
5. Yong J. Adaptive Cooperative FEC Based on Combination of Network Coding and Channel Coding for Wireless Sensor Networks / J. Yong, R. Peng // *Journal of Networks*. – 2014. – Vol. 9, No 2. – P. 481–487.
6. Simmi G. An introduction to various error detection and correction schemes used in communication / G. Simmi, K. Anuj, A. Tyagi // *International Journal of Applied Research*. – 2016. – 2 (8). – P. 216–218.
7. Farouq M. Maximizing Throughput of SW ARQ with Network Coding through Forward Error Correction / M. Farouq, O. Yahya, K. Ismail, B. Adel // *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. – 2015. – Vol. 6, No. 6. – P. 291–297.
8. Sesia S. LTE – The UMTS Long Term Evoluton. From Theory to Practice / Sesia S., Toufik I., Baker M. – West Sussex : John Wiley & Sons, 2009. – 626 p.
9. Chaitanya V. K. T. HARQ Systems: Resource Allocation, Feedback Error Protection, and Bits-to-Symbol Mappings / V. K. T. Cgaitanya // *Linköping Studies in Science and Technology, Dissertations, No. 1526*.
10. S. Lin and D. J. Costello, *Error Control Coding, 2nd ed.*, Prentice-Hall, 2004.

11. Khan F. LTE for 4G Mobile Broadband / F. Khan // Cambridge University Press, 2009 – P. 315–320.
12. Mandelbaum D. An Adaptive-Feedback Coding Scheme Using Incremental Redundancy / D. Mandelbaum // IEEE Transactions on Information Theory. – 1974. – Vol. 20, N 3. – P. 388–389.
13. Lin S. Automatic-Repeat-Request Error Control Schemes / S. Lin, D. Costello, M. Miller // IEEE Communications Magazine. – 1984. – Vol. 22. – P. 5–17.
14. G. Benelli, “An ARQ scheme with memory and soft error detectors,” IEEE Trans. Commun., vol. 33, no. 3, pp. 285–288, Mar. 1985.
15. D. Chase, “Code combining – a maximum-likelihood decoding approach for combining an arbitrary number of noisy packets,” IEEE Trans. Commun., vol. 33, no. 5, pp. 385–393, May 1985.
16. D. M. Mandelbaum, “Adaptive-feedback coding scheme using incremental redundancy” IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 20, no. 3, pp. 388–389, May 1974.
17. J. J. Metzner, “Improvements in block retransmission schemes,” IEEE Trans. Commun., vol. 27, no. 2, pp. 524–532, Feb. 1979.

Стаття надійшла до редакції 12.09.2018.

МАТЕМАТИЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 004.7

Р.Б. АНДРУЩЕНКО, С.В. ЗАЙЦЕВ, А.Ю. СОЛДАТОВ

АНАЛІЗ МЕТОДІВ СЕРІАЛІЗАЦІЇ СТРУКТУРОВАНИХ ДАНИХ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ В ПРОТОКОЛАХ ПРИКЛАДНОГО РІВНЯ МОДЕЛІ OSI

***Анотація.** Мережеве програмне забезпечення є невід'ємною частиною майже будь-якої інформаційної системи – від звичайних веб-сайтів до великих ентерпрайз-систем банків, фінансових організацій, розподілених обчислювальних систем та кластерів і датацентрів. Для того щоб структурні одиниці інформаційної системи могли спілкуватись між собою та розуміти одна одну, необхідно заздалегідь визначити «мову» (тобто, «протокол»), за допомогою якої вони будуть спілкуватись. Більшість сучасного програмного забезпечення використовує структуровані текстові або бінарні формати даних та протоколи, побудовані на базі UDP, TCP та HTTP. У даній роботі проведено аналіз існуючих форматів серіалізації структурованих даних в комп'ютерних мережах, розглянута їх внутрішня будова, виявлено їх особливості та запропоновано можливі способи вдосконалення.*

***Ключові слова:** HTTP, комп'ютерна мережа, серіалізація, мережеве програмне забезпечення.*

Вступ

Аналіз тенденцій розвитку мережі Інтернет показує, що за останні десятиріччя кількість трафіку зростає неймовірними темпами [1, 2]. Наприклад, спеціалісти Cisco прогнозують, що глобальний інтернет-трафік досягне позначки 3.3 зетабайт в 2021 році [3]. Активно розвивається мережа мініатюрних пристроїв «Інтернету речей», яким також необхідно передавати дані стосовно свого стану та роботи [4]. Банківські установи, фінансові біржі та інші розподілені системи з високим навантаженням використовують у своїй роботі структуровані дані, що передаються у форматах XML, JSON, BSON, SOAP та ін. NoSQL СУБД зазвичай мають вбудовану підтримку JSON, BSON [5, 6]. Тенденції розвиваються таким чином, що навіть реляційні бази даних починають підтримувати ці популярні формати (наприклад, SQLite – JSON1 Extension, MySQL – Json Data Type) [7, 8].

1. Постановка проблеми

Для передачі даних в більшості випадків використовують протоколи на базі UDP та TCP. Протоколи на базі UDP корисні для передачі даних, де втрата деякої частини пакетів не є критичною. Наприклад, це можуть бути аудіо- та відеопотоки. Протоколи на базі TCP займають іншу нішу і використовуються для передачі даних, де втрата пакетів неприпустима. Зокрема, саме на базі TCP побудовані такі протоколи мережі Інтернет, як HTTP, SMTP, SSH та ін. [9, 10].

Проблема постає у тому, що текстові формати даних, такі як XML, JSON, SOAP і навіть їх бінарні аналоги (наприклад, BSON, MessagePack, UBJSON), містять надлишкову інформацію, частина якої взагалі може навіть не нести ніякого інформаційного навантаження. Це знижує ймовірність успішної передачі даних та впливає на швидкість передачі даних в мережі, особливо при використанні бездротового зв'язку, який останнім часом набуває все більшого поширення.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Кожен формат даних має документ-специфікацію, у якому описано, як потрібно кодувати/декодувати інформацію. Зокрема, проаналізовані формати:

- 1) текстові – JSON, XML [11, 12].
- 2) бінарні з серіалізацією схеми даних – BSON, Smile, MessagePack [13–15].
- 3) бінарні без серіалізації схеми даних – Protocol Buffers, Flat Buffers [16–17].

Аналіз показує, що формати даних можна розділити на текстові (напр., JSON) та бінарні (напр., MessagePack). Також існують формати зі строгою схемою даних (Protocol Buffers) та нестрогою схемою даних (XML, JSON). Формати зі строгою схемою більш ефективні, оскільки в даному випадку саму схему можна виключити з пакетів, що передаються, у разі якщо схема відома обом сторонам каналу передачі даних.

Protocol Buffers – один з найефективніших форматів. Є дослідження, що він може використовуватись в пристроях Інтернету речей [18].

Однак, як буде показано далі у статті, для Protocol Buffers та його аналогів необхідні додаткові ресурси для зберігання класів серіалізації/десеріалізації.

У статті [19] розглядається протокол HTTP/2. Досліджується його вплив на функціонування веб-сайтів і показано, що, на відміну від HTTP/1, він є бінарним та відповідно більш ефективним.

У статтях [20–21] розглядаються методи серіалізації даних, зокрема і текстові JSON та XML. Доведено, що бінарні аналоги не тільки займають менше місця, а й працюють швидше.

Тим не менш, у статті [22] вказується на те, що в деяких випадках як виняток використовуються текстові формати навіть для передачі бінарних даних.

Підтвердженням ефективності бінарних форматів даних у мережевих протоколах є їх використання, наприклад, в розподілених системах з числовим програмним управлінням [23] та в клієнт-серверних системах з високим навантаженням [24].

3. Мета статті

Головною метою даної роботи є визначення, аналіз та порівняння основних форматів серіалізації/десеріалізації структурованих даних, їх особливостей та внутрішньої структури, виявлення можливих шляхів їх вдосконалення.

4. Виклад основного матеріалу

Всі існуючі формати серіалізації даних для передачі в комп'ютерних мережах, так як і протоколи, діляться на текстові та бінарні. Найпопулярнішими текстовими форматами є JSON та XML. Прикладом текстового протоколу прикладного рівня є HTTP. Особливістю текстових форматів та протоколів даних є те, що вони більш зрозумілі для інженерів, програмістів, які працюють з ними.

У теорії для відлагодження та виявлення помилок в них не потрібні спеціальні інструменти для декодування даних. Однак платою за це є більші вимоги до обчислювальних ресурсів. Бінарні формати (наприклад BSON) та протоколи (HTTP2), на противагу текстовим, є менш вимогливими до ресурсів.

Також варто зазначити, що текстові формати можуть використовуватись в тому числі і для передачі бінарних даних. Зокрема, і в JSON, і в XML є обхідні шляхи, як це зробити, хоча й з додатковими затратами обчислювальних ресурсів.

Перш ніж переходити до бінарних форматів, розглянемо спочатку текстові формати серіалізації – XML та JSON.

XML – Extensible Markup Language. Формат описує клас об'єктів даних, що називаються XML-документами, і частково описує поведінку комп'ютерних програм, які їх обробляють. XML – це обмежена форма SGML, стандартної мови розмітки ISO-8879. Документи XML є сумісними з документами SGML.

Документи XML складаються з блоків, які називаються сутностями, і можуть містити як структуровані, так і неструктуровані дані. В документі присутні як розмітка даних (теги та атрибути), так і самі символічні дані. Тег кодує схему зберігання документа та логічну структуру.

XML проектувався з урахуванням наступних вимог:

- XML повинен бути сумісним із SGML.
- Простота створення програм, які обробляють XML-документи.
- Кількість необов'язкових функцій у XML повинна бути збережена до абсолютного мінімуму, в ідеалі – до нуля.
- Документи XML повинні бути чіткими та зрозумілими.
- Формат XML повинен бути підготовлений швидко.
- Формат XML повинен бути формальним та лаконічним.
- Порядок та точність розміщення даних в XML має мінімальне значення.

Кожен XML-документ містить один або кілька елементів, межі яких обмежуються початковими тегами та кінцевими тегами, а для порожніх елементів – тегом порожнього елемента. Кожен елемент має тип, ідентифікований за назвою, який іноді називають його «загальним ідентифікатором» (GI), і може мати набір атрибутів. Кожна специфікація атрибута має назву та значення [25].

JSON – JavaScript Object Notation. Це текстовий незалежний формат, який використовує конвенції мов програмування сімейства C.

JSON побудований на двох структурах:

– Колекції пар «назва/значення». У різних мовах програмування колекція реалізується як об'єкт, запис, структура, словник, хеш-таблиця, або асоціативний масив.

– Упорядкований список значень. Реалізується як масив, вектор, список або послідовність.

Це – універсальні структури даних, які підтримуються завжди у тій чи іншій формі.

JSON описує наступні структурні елементи:

1) Об'єкт – це неупорядкований набір пар назва/значення. Об'єкт починається із символу «{» і закінчується символом «}». За кожною назвою слідує символ «:». Кожна пара назва/значення розділяється комою.

2) Масив – це упорядкована сукупність значень. Масив починається із символу «[» і закінчується символом «]». Значення розділяються комою.

Значенням може бути текст у подвійних лапках, число, об'єкт, масив або спеціальні зарезервовані слова: true, false і null. Ці структури можуть бути вкладені одна в одну.

Текстовий рядок являє собою послідовність символів Unicode, обов'язково обернуті подвійними лапками [11].

Оскільки XML та JSON – текстові формати, то їх легко порівняти (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняння XML та JSON

	XML	JSON
Приклад (compressed)	<pre><falls><fall fall="fell" type="point"><coordinates><latitude>71.8000</latitude><longitude>32.1000</longitude></coordinates><info><mass>30000</mass><name>Agen</name><recclass/></info></fall></falls></pre>	<pre>[{"fall": "fell", "type": "point", "coordinates": {"latitude": 71.8000, "longitude": 32.1000}, "info": {"mass": 30000, "name": "Agen", "recclass": null}}]</pre>
Приклад (Human-readable)	<pre><falls> <fall fall="fell" type="point"> <coordinates> <latitude>71.8000</latitude> <longitude>32.1000</longitude> </coordinates> <info> <mass>30000</mass> <name>Agen</name> <recclass/> </info> </fall> </falls></pre>	<pre>[{ "fall" : "fell", "type" : "point", "coordinates": { "latitude": 71.8000, "longitude": 32.1000 }, "info" : { "mass": 30000, "name": "Agen", "recclass": null } }]</pre>

Продовження таблиці 1

	XML	JSON
Розмір (байтів)	208	143
Розмір (GZIP 1.6 amd64, байтів)	148	132

Оскільки текстові формати кодування не є надто ефективними, альтернативами до них являються бінарні формати, що також можуть підтримувати довільні структури та передачу схеми даних поряд із самими даними [26].

Далі розглянемо наступні формати: BSON, Smile, MessagePack.

5. Бінарні формати із серіалізацією схеми даних

BSON – Binary JSON. Це специфікація двоетапної серіалізації документів, подібних до JSON. Як і JSON, BSON підтримує багаторівневі структури документів та масивів. BSON також містить розширення, які дозволяють передавати типи даних, які не входять до специфікації JSON. Наприклад, BSON має тип для дат та тип для бінарних даних.

BSON можна порівнювати з бінарними форматами обміну, наприклад Protocol Buffers, але, на відміну від останнього, він більш гнучкий. Однак BSON має накладні витрати, оскільки схема даних передається разом із самими даними.

Теоретично BSON може бути альтернативою формату JSON та використовуватись у протоколі HTTP/2, який є бінарним.

BSON розроблено з урахуванням наступних вимог:

1) Легковісність. Зменшення накладних витрат до мінімуму є важливим для будь-якого формату даних, особливо, якщо він використовується для передачі у комп'ютерних мережах.

2) Зручність. BSON є простим форматом з простою структурою, що дозволяє легко маніпулювати структурними одиницями.

3) Ефективність. Кодування даних в BSON та декодування з BSON можуть виконуватися дуже швидко в більшості мовах.

Базові типи BSON наведені нижче в таблиці 2.

Таблиця 2 – Базові типи

byte	1 байт (8 біт)
int32	4 байти (ціле число зі знаком)
int64	8 байтів (ціле число зі знаком)
uint64	8 байтів (ціле число без знаку)
double	8 байтів (64-bit IEEE 754-2008)
decimal128	16 байтів (128-bit IEEE 754-2008)

Вищенаведений приклад пакета у форматі BSON займає 157 байтів без GZIP та 151 з GZIP.

Закодована структура в BSON:

```

0x00: 91 00 00 00 00 03 30 00 89 00 00 00 02 66 61 6c 6c
.....0.....fall
0x10: 00 05 00 00 00 00 66 65 6c 6c 00 02 74 79 70 65 00
.....fell..type.
0x20: 06 00 00 00 00 70 6f 69 6e 74 00 03 63 6f 6f 72 64
....point..coord
0x30: 69 6e 61 74 65 73 00 2a 00 00 00 01 6c 61 74 69
inates.*....lati
0x40: 74 75 64 65 00 33 33 33 33 33 33 f3 51 40 01 6c 6f
tude.33333.Q@.lo
0x50: 6e 67 69 74 75 64 65 00 cd cc cc cc cc 0c 40 40
ngitude.....@@
.....
    
```

Приклад розбору перших 80 байтів (рис. 1):

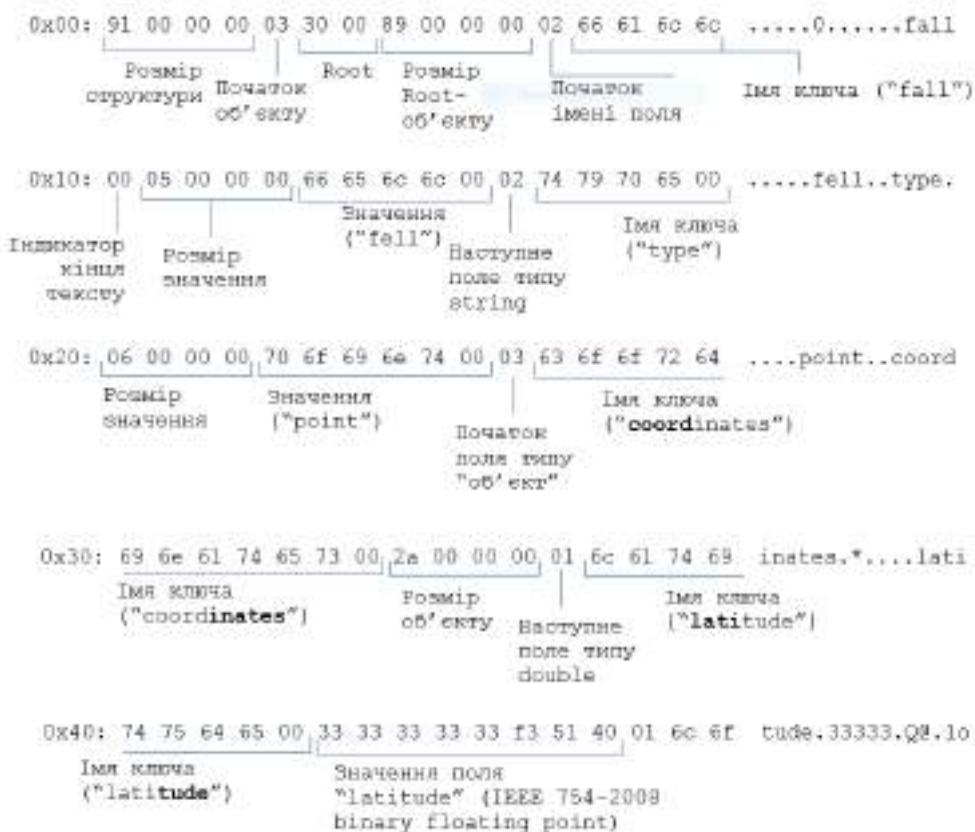


Рисунок 1 – Приклад серіалізованої структури в BSON

Можна помітити, що багато місця займають значення розмірів ключів та структур типу масиву, об'єкту, текстового рядка (int32, 4 байти на кожне поле). Враховуючи той факт, що зазвичай назви полів складаються з одного, максимум двох слів, то в результаті отримуємо overhead, який теоретично

може досягати до 100% відповідного поля в текстовому форматі JSON (якщо поле з однобайтовою назвою, то розмір поля в json: 1 символ + 2 байти на лапки + 1 байт на двокрапку). Отже, можна зробити висновок, що BSON не набагато ефективніший за текстовий аналог JSON [13].

Smile – це бінарний формат даних, еквівалент стандартного формату даних JSON.

Smile спроектований з урахуванням наступних цілей:

- 1) Підтримка всіх можливостей JSON.
- 2) Компактність для більш ефективної обробки потоку даних.
- 3) Ефективність у плані швидкості як при десеріалізації, так і при серіалізації.

4) Уникнення складних структур та алгоритмів.

5) Підтримка технології веб-сокетів настільки, наскільки це можливо.

Поточна версія Smile: 1.0.4. Офіційно використовується Content-Type: «application/x-jackson-smile». Потік даних починається із заголовку 0x3A 0x29 0x0A. Четвертий байт кодує наступну інформацію: номер версії, чи присутні байтові дані та тип кодування текстових даних.

Дані кодуються по секціях. Кожна секція складається з набору токенів, які формують відповідні ключі та значення. Токени використовуються у двох основних режимах: режим значення (value tokens), а також режим ключа (key tokens). Key tokens використовуються для позначення імен полів об'єктів. Довжина токена варіюється від 1 до 9 байтів. Перший байт визначає тип, а додаткові байти використовуються для специфікації в межах одного типу.

Також Smile підтримує цікаву можливість – Shared Strings. Для текстових даних, розміром менше 64 байтів, Smile застосовує кешування. Тобто, якщо в структурі, що кодується, є текстові значення, що повторюються, то фактично вони будуть закодовані лише один раз (рис. 2, табл. 3):

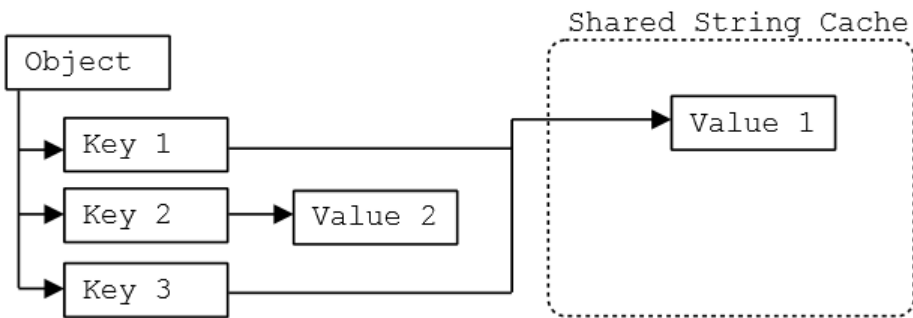


Рисунок 2 – Кеш текстових полів

Таблиця 3 – Типи даних в Smile

Empty String	Спеціальне значення для пустих рядків («»)
Simple Literals	NULL, false, true, цілі числа, числа з плаваючою точкою (32-бітні та 64-бітні)
Small ASCII, Tiny ASCII	Текстові дані ASCII

Продовження таблиці 3

Empty String	Спеціальне значення для пустих рядків («»)
Small Unicode, Tiny Unicode	Текстові дані Unicode
Small Integers	Числові дані, закодовані алгоритмом ZigZag
Misc (binary, text, structured markes)	Об'єкти, масиви, бінарні та тесктові масиви великого розміру

З табл. 3 можна бачити, що числа кодуються за допомогою алгоритму ZigZag. Це простий алгоритм, що дозволяє привести знакові типи чисел до беззнакових для уніфікації їх зберігання та передачі.

Кодування 32-бітних знакових чисел у ZigZag (табл. 4) відбувається наступним чином:

$$N_z = (N_o \ll 1) \text{ XOR } (N_o \gg 31) \tag{1}$$

Для 64-бітних знакових чисел:

$$N_z = (N_o \ll 1) \text{ XOR } (N_o \gg 63) \tag{2}$$

N_o – оригінальне значення;

N_z – закодоване значення.

Таблиця 4 – Приклади закодованих чисел в ZigZag

Signed Int	ZigZag encoded Int
0	0
-1	1
1	2
-2	3
2147483647	4294967294
-2147483648	4294967295

Нижче наведений приклад пакета закодованих даних у форматі Smile.

```

0x00: 3a 29 0a 01 fa 83 66 61 6c 6c 43 66 65 6c 6c 83
:). . . . fallCfell.
0x10: 74 79 70 65 44 70 6f 69 6e 74 8a 63 6f 6f 72 64
typeDpoint.coord
0x20: 69 6e 61 74 65 73 fa 87 6c 61 74 69 74 75 64 65
inates..latitude
0x30: 29 00 40 28 7c 66 33 19 4c 66 33 88 6c 6f 6e 67
).@(|f3.Lf3.long
0x40: 69 74 69 64 65 29 00 40 20 03 19 4c 66 33 19 4d itide).@
..Lf3.M
0x50: fb 83 69 6e 66 6f fa 83 6d 61 73 73 24 07 29 a0
..info..mass$.).
0x60: ...
    
```

Розмір закодованих даних – 128 байтів без GZIP та 137 байтів з GZIP.

Нижче детально розглянуті перші 64 байтів серіалізованої структури (рис. 3):

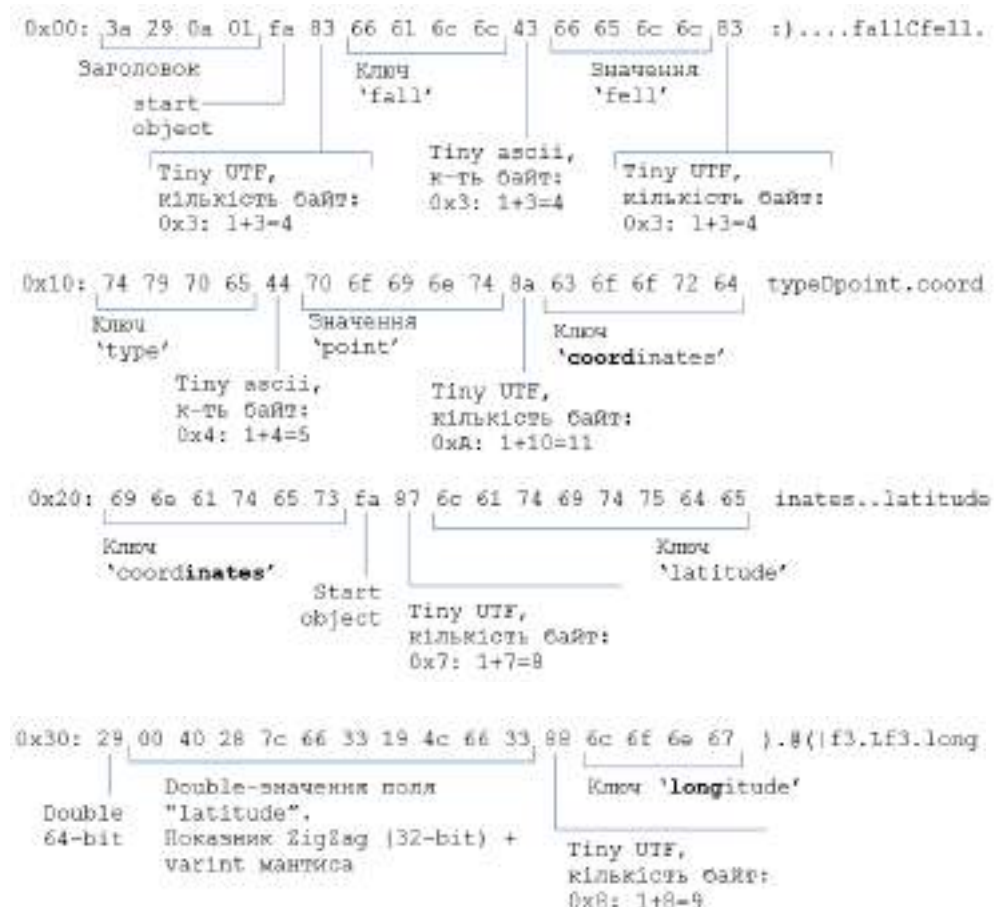


Рисунок 3 – Приклад серіалізації структури в Smile

Як можна побачити з даного прикладу, кодування більш ефективно у тому плані, що метайнформація про ключі та значення займає значно менше місця у серіалізованій структурі за рахунок використання підтипів та кодування Varint + ZigZag для чисел [14].

MessagePack – механізм серіалізації/десеріалізації об’єктів та формат обміну даними, подібний до BSON та Smile. В MessagePack є своя система типів:

- 1) Цілі числа – Integer.
- 2) NIL – значення відсутнє, відповідає NULL в мовах програмування сімейства C.
- 3) Boolean = true/false
- 4) Float – IEEE 754 (число з плаваючою точкою + спеціальні значення NaN та Infinity)

5) Raw Binary та Raw String – бінарні та текстові дані довільної довжини відповідно.

6) Групи – масиви, об’єкти та словники (пари ключ/значення).

Обмеження:

1) Числові значення обмежуються діапазоном: $[-2^{63}; 2^{64} - 1]$.

2) Максимальна довжина об’єкта Binary: $2^{32} - 1$.

3) Максимальний розмір байта об’єкта String: $2^{32} - 1$.

4) Рядкові об’єкти можуть містити недійсну послідовність байтів, а поведінка десеріалізатора залежить від фактичної реалізації. Десеріалізатори повинні надавати функціональні можливості для отримання вихідного масиву байтів, щоб додатки могли вирішити, як обробляти об’єкт.

5) Максимальна кількість елементів об’єкта Array: $2^{32} - 1$. Максимальна кількість асоціацій ключових значень об’єкта Map: $2^{32} - 1$.

Також в MessagePack присутні оптимізації для складних об’єктів та бінарних/текстових даних довільної довжини. Фактично, кожен тип має декілька підтипів, в залежності від кількості даних. Наприклад, нижче представлені схеми кодування текстових рядків (рис. 4):



Рисунок 4 – Кодування текстових рядків в залежності від їх довжини

Аналогічні оптимізації реалізовані для чисел, масивів та словників.

Приклад, наведений вище, серіалізований за допомогою MessagePack, займає 114 байтів без GZIP та 122 байтів з GZIP.

Вигляд пакета закодованих даних:

```

0x00:  84  a4  66  61  6c  6c  a4  66  65  6c  6c  a4  74  79  70  65
..fall.fell.type
0x10:  a5  70  6f  69  6e  74  ab  63  6f  6f  72  64  69  6e  61  74
.point.coordinat
0x20:  65  73  82  a8  6c  61  74  69  74  75  64  65  cb  40  51  f3
es..latitude.@Q.
0x30:  33  33  33  33  33  a9  6c  6f  6e  67  69  74  69  64  65  cb
33333.longitide.
0x40:  40  40  0c  cc  cc  cc  cc  cd  a4  69  6e  66  6f  83  a4  6d
@@.....info..m
0x50:  ...

```

Розглянемо перші 48 байтів серіалізованої структури більш детально (рис. 5):

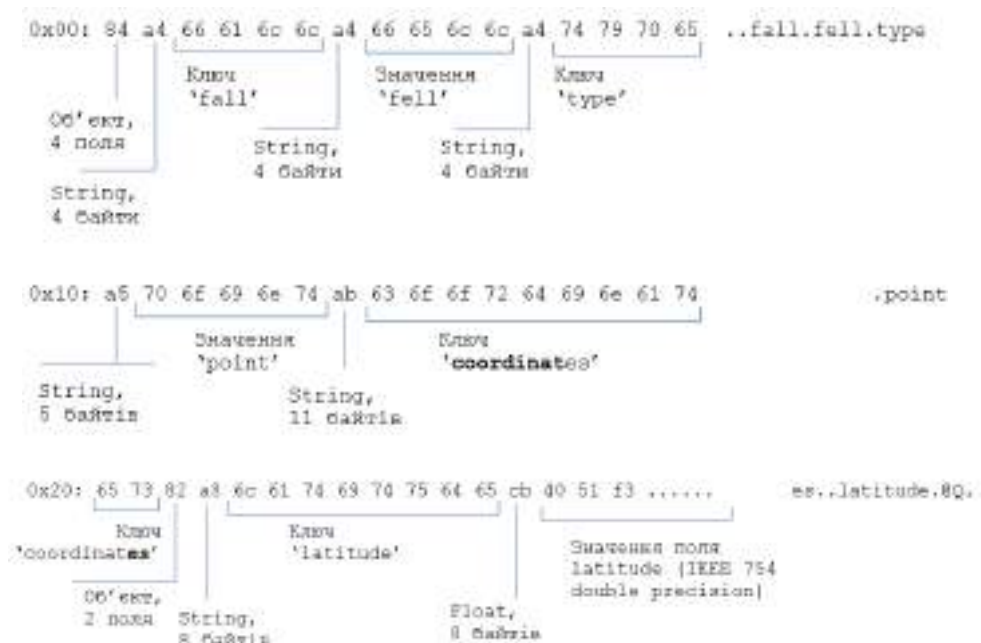


Рисунок 5 – Приклад серіалізації структури в Smile

Як і в Smile, MessagePack також використовує підтипи для більш ефективного кодування. Однак тут також помітна і відмінність від Smile: кодування об'єктів та масивів також використовує систему підтипів в залежності від розміру об'єкта/масиву. Зокрема, метаінформація для більшості простих структур (об'єкти та масиви до 8 елементів наприклад) кодується всього-на-всього одним байтом. Числа з плаваючою точкою, на відміну від Smile, кодуються за стандартною схемою, згідно з IEEE 754 [15]. В таблиці нижче наведено порівняння BSON, Smile та MessagePack для тестового серіалізованого об'єкта.

Таблиця 5 – Розмір серіалізованих повідомлень

	BSON	Smile	MessagePack
Розмір закодованого повідомлення	157 байтів	128 байтів	114 байтів
Розмір закодованого повідомлення + GZIP	151 байтів	137 байтів	122 байтів

Далі розглянемо формати серіалізації даних, які розділяють схему даних від самих даних. Це – найефективніші формати у плані швидкості серіалізації/десеріалізації та результуючого розміру пакетів.

6. Бінарні формати без серіалізації схеми даних

Protocol Buffers – нейтральний та платформи-незалежний спосіб серіалізації та передачі структурованих даних, розроблений Google, подібний до XML, але менший, швидший та простіший. Кожне повідомлення в Protocol Buffers є невеликим логічним записом інформації, що містить серію пар ім'я – значення. Схема даних задається у файлах спеціального формату *.proto. Для кожного типу повідомлення має бути створений відповідний proto-файл. Формат файлу простий – кожен тип повідомлення має один або більше однозначно пронумерованих полів. Кожне поле має ім'я і тип значення, де типами значень можуть бути числа (цілі або з плаваючою точкою), булеві значення, текстові рядки, байти або навіть інші типи повідомлень Protocol Buffers, які дозволяють структурувати дані ієрархічно. Також можна вказати необов'язкові поля. Після створення proto-файлу, необхідно запустити компілятор Protocol Buffers для створення класів доступу до даних. Вони забезпечують прості методи доступу для кожного поля (наприклад, name() і set_name()), а також методи серіалізації/десеріалізації всієї структури.

Protocol Buffers має багато переваг над XML, JSON та іншими форматами для серіалізації структурованих даних. Зокрема, за заявою розробників Protocol Buffers:

- займає до 3–10 разів менше місця;
- працює до 20–100 разів швидше;
- менш двозначний;
- дозволяє створювати класи доступу до даних, простих у використанні програмними засобами.

Тим не менш, робота з Protocol Buffers більш складна, ніж з іншими форматами. По-перше, необхідно створити Proto-файл:

```
syntax = "proto2";

package proto;
option java_package = "com.github.romychab.randomsets.proto";
option java_outer_classname = "ProtoFall";

message Coordinates {
  required double latitude = 1;
  required double longitude = 2;
}

message Info {
  required int32 mass = 1;
  required string name = 2;
  optional string recclass = 3;
}

message Fall {
  enum FallType {
    FELL = 1;
    DESTROYED = 2;
    UNKNOWN = 3;
  }
  required string fall = 1;
  required FallType type = 2;
  optional Coordinates coordinates = 3;
```

```

    required Info info = 4;
  }

message Falls {
    repeated Fall fall = 1;
}

```

Далі необхідно встановити компілятор protoc та підключити платформозалежні бібліотеки. Наприклад, для Java та системи Maven необхідно додати залежність:

```

<dependency>
  <groupId>com.google.protobuf</groupId>
  <artifactId>protobuf-java</artifactId>
  <version>3.6.1</version>
</dependency>

```

Потім необхідно скомпілювати Proto-файл, наприклад наступним чином:

```
$ protoc --java_out=./src/main/java falls.proto
```

В результаті отримаємо Java-клас для серіалізації/десеріалізації даних. Вигляд пакета закодованих даних:

```

0x00: 0a 28 0a 04 66 65 6c 6c 10 01 1a 12 09 33 33 33
(..fell.....333
0x10: 33 33 f3 51 40 11 cd cc cc cc cc 0c 40 40 22 0a
33.Q@.....@@".
0x20: 08 b0 ea 01 12 04 41 67 65 6e                .....Agen

```

Кількість байтів: 42. Кількість байтів з GZIP: 58.

Однак, варто зазначити, що розмір зкомпільованого класу Protocol Buffers для одного типу тестового повідомлення – 156 Кб.

Protocol Buffers використовує подвійне кодування цілих чисел: ZigZag + VarInt. Про ZigZag було вже згадано вище. Загалом схема кодування виглядає наступним чином (рис. 6):



Рисунок 6 – Подвійне кодування цілих знакових чисел

Типів даних в Protocol Buffers небагато. На нижньому рівні існує всього 6 типів Varint (цілі числа), 64-bit та 32-bit (дробові числа), Length-delimited (текстові рядки, масиви байтів), Start Group та End Group (зараз помічені як deprecated, використовувались для позначення груп). При кодуванні повідомлення формується потік даних, що складається з послідовних полів:

Key	Value	Key	Value	
-----	-------	-----	-------	--

Кожен ключ (Key) – це тип Varint, значення якого формується наступним чином:

$$\text{Key} = (F_N \lll 3) | \text{type}$$

Кодування значень (Value) залежить від типу. Наприклад, байтові масиви та текстові рядки кодуються примітивною структурою: довжина (Varint) + дані (Bytes) [16].

Flat Buffers – формат та метод серіалізації даних, подібний до Protocol Buffers, але спеціально розроблений для систем з дійсно високим навантаженням. Його особливість полягає в оптимізованому використанні системних ресурсів – як часу на серіалізацію/десеріалізацію, так і на розмір використовуваної пам'яті.

Flat Buffers надає доступ до даних без процесу серіалізації/десеріалізації. Всі ієрархічні дані відразу представляються в оригінальному бінарному буфері без проміжної трансформації в об'єкти чи платформи-залежні представлення. При цьому також підтримується як міграція структур даних, так і зворотна сумісність.

Наочно різницю між Protocol Buffers та Flat Buffers можна представити у вигляді схем (рис. 7):

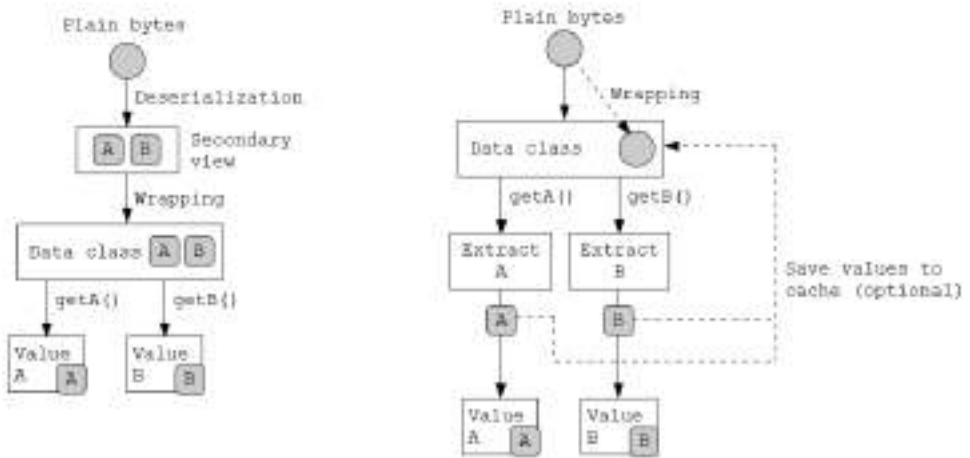


Рисунок 7 – Десеріалізація даних в Protocol Buffers (зліва) та Flat Buffers (справа)

Flat Buffers економніший у плані використання ресурсів процесора та пам'яті. Для своєї роботи Flat Buffers необхідний лише буфер байтів, тобто алокація пам'яті виконується лише один раз.

Не створюються проміжні об'єкти, а самі значення конвертуються у потрібний вигляд лише при безпосередньому запиті самих даних. Це економить процесорний час, оскільки часто користувачеві необхідна лише частина даних з отриманого пакета. Дані, які користувач не використовує, не будуть оброблюватись та декодуватись. Тому Flat Buffers також підходить для використання з технологією mmap та для потокової передачі.

Також Flat Buffers має підтримку необов'язкових полів, що дозволяє модифікувати повідомлення від версії до версії. Це означає, що при деяких змінах у протоколі передачі даних з часом простіше організувати зворотну

сумісність з попередніми версіями. Підтримується міграція як в сторону додавання додаткових структур, так і їх видалення з пакетів протоколу.

Як і у випадку з Protocol Buffers, Flat Buffers використовує кодогенерацію для створення класів доступу до серіалізованих даних.

Бінарні файли компілятора Flat Buffers офіційно поставляються лише для ОС Windows. Для інших платформ необхідно завантажити вихідні тексти, систему cmake та скомпілювати самостійно:

```
$ sudo apt-get install cmake
$ git clone https://github.com/google/flatbuffers.git
$ cd flatbuffers
$ cmake -G «Unix Makefiles» -DCMAKE_BUILD_TYPE=Release
```

Аналогічно до Protocol Buffers, необхідно описати схему повідомлень у спеціальному файлі. Зазвичай йому дають розширення .FBS:

```
namespace com.github.romychab.randomsets.flat;

enum FlatFallType:byte { FELL = 0, DESTROYED = 1, UNKNOWN = 2 }
struct FlatCoordinates { latitude:double; longitude:double; }

table FlatInfo {
  mass:int;
  name:string;
  recclass:string;
}

table FlatFall {
  fall:string;
  type:FlatFallType;
  coordinates:FlatCoordinates;
  info:FlatInfo;
}

table FlatFalls { falls:[FlatFall]; }

root_type FlatFalls;
```

Генерація класів для Java:

```
$ flatc --java flat.fbs
```

Вигляд пакета закодованих даних:

```
0x00000: 08 00 00 00 00 00 00 00 01 00 00 00 10 00 00 00
.....
0x00010: 0c 00 20 00 04 00 00 00 0c 00 08 00 0c 00 00 00 ..
.....
0x00020: 1c 00 00 00 2c 00 00 00 33 33 33 33 33 f3 51 40
.....,...33333.Q@
0x00030: cd cc cc cc cc 0c 40 40 00 00 00 00 04 00 00 00
.....@@.....
0x00040: 66 65 6c 6c 00 00 00 00 08 00 0c 00 04 00 08 00
fell.....
0x00050: 08 00 00 00 30 75 00 00 04 00 00 00 04 00 00 00
....0u.....
0x00060: 41 67 65 6e 00 00 00 00                               Agen....
```

Кількість байтів без GZIP – 104. Кількість байтів з GZIP – 85.

Класи серіалізації/десеріалізації, що генеруються в FlatBuffers, значно менші за розміром на порядок, аніж відповідні класи ProtocolBuffers. Тим не менш, робота з ними є більш складною, оскільки вимагає напряду маніпулювати числовими ідентифікаторами полів та структур [17].

Наочно різницю між формуванням структур у Protocol Buffers та FlatBuffers можна показати за допомогою вихідних текстів (табл. 6).

Таблиця 6 – Порівняння вихідних текстів для формування структур даних в Protocol Buffers та Flat Buffers

Protocol Buffers	Flat Buffers
<pre>Falls toProtocolBuffers() { Info info = Info.newBuilder() .setMass(this.info.mass) .setName(this.info.name) .setRecclass(this.info.recclass) .build(); }</pre>	<pre>Falls toFlatBuffers() { FlatBufferBuilder builder = new FlatBufferBuilder(); int nameOffset = builder.createString(this.info.name); Info.startInfo(builder); Info.addName(builder, nameOffset); Info.addMass(builder, this.info.mass); int flatInfoOffset = Info.endInfo(builder); }</pre>
<pre>Coordinates coordinates = Coordinates.newBuilder() .setLatitude(this.coordinates.lat) .setLongitude(this.coordinates.lon) .build(); Fall fall = Fall.newBuilder() .setType(Fall.FallType.FELL) .setFall(this.fall) .setInfo(info) .setCoordinates(coordinates) .build();</pre>	<pre>int fallOffset = builder.createString(this.fall); Fall.startFall(builder); Fall.addCoordinates(builder, Coordinates.createCoordinates(builder, this.coordinates.lat, this.coordinates.lon)); Fall.addInfo(builder, flatInfoOffset); Fall.addType(builder, FallType.FELL); Fall.addFall(builder, fallOffset); int flatFallOffset = Fall.endFall(builder);</pre>
<pre>return Falls.newBuilder() .addFall(fall) .build(); }</pre>	<pre>int flatFallsOffset = Falls.createFallsVector(builder, new int[] { flatFallOffset}); builder.finish(flatFallsOffset); byte[] data = builder.sizedByteArray(); return Falls.getRootAsFalls(ByteBuffer.wrap(data)); }</pre>

Підведемо основні тези та підсумки на основі розглянутого матеріалу та проведених досліджень (табл. 7).

Таблиця 7 – Порівняльна характеристика розглянутих форматів серіалізації структурованих даних

Результати серіалізації тестової структури даних						
	Тип	Схема	Розмір закодованої структури без GZIP (байт)	Розмір закодованої структури з GZIP (байт)	Розмір проміжних структур (Кб)	Примітки
XML	Текстовий	Нестрога	208 (max)	148 (max)	-	
JSON	Текстовий	Нестрога	143	132	-	
BSON	Бінарний	Нестрога	157	151	-	Структура аналогічна з JSON, але кодується в бінарний формат
Message Pack	Бінарний	Нестрога	114	122	-	
Smile	Бінарний	Нестрога	128	137	-	
Protocol Buffers	Бінарний	Строга	42 (min)	58 (min)	156 (Компілятор protoc)	
Flat Buffers	Бінарний	Строга	104	85	12.9 (flatc)	Швидке кодування даних

Висновки

1) Текстові структури є найбільш неефективними у плані розміру закодованих даних.

2) Найбільш ефективним форматом кодування малих повідомлень є Protocol Buffers, однак платою за це є значне збільшення розміру скомпільованого програмного забезпечення.

3) Якщо необхідно досягти максимальної пропускнуєї здатності каналу передачі даних, то необхідно використовувати бінарні протоколи зі строгою схемою. В цьому випадку коефіцієнт відношення об'єму корисних даних до загального об'єму повідомлення при передачі є найбільш високим.

4) Застосування існуючих бінарних протоколів зі строгою схемою є більш складним, оскільки необхідно підтримувати міграцію структури, зворотну сумісність, а також встановлювати спеціальне програмне

забезпечення для кодогенерації проміжних класів для кожної використовуваної платформи.

5) В той же час, недоліку п.5 позбавлені текстові формати XML та JSON. Однак, вони є найбільш неефективними форматами серіалізації структурованих даних – серіалізовані повідомлення великі за розміром та містять надлишкову інформацію.

6) Бінарні дані з нестрогою схемою можна вважати «компромісним» рішенням між складністю в реалізації та ефективністю.

7) У Smile та MessagePack використовуються механізми підтипів для більш ефективного кодування даних. Як було показано у статті, це ускладнює структуру даних, однак в результаті розмір серіалізованих даних менший, ніж в аналогах без механізму підтипів. Теоретично, можна інтегрувати цей механізм у бінарні протоколи зі строгою схемою, що дозволить формувати структури меншого розміру.

8) Flat Buffers серіалізує/десеріалізує тільки ті структури даних, що безпосередньо використовуються користувачем, що значно прискорює роботу програмного забезпечення. Тим не менш, Flat Buffers є механізмом кодування дуже низького рівня і з ним складно працювати. Пропонується залучити механізм буферизації з Flat Buffers, при цьому залишаючи абстракції формування структур даних Protocol Buffers. Це може знизити швидкість формування даних, але в той же час і значно підвищить швидкість їх серіалізації та передачі по мережевих каналах, що приведе до економії сумарного часу, необхідного на передачу даних між хостами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. L. Roberts. Beyond Moore's law: Internet growth trends / Computer, 2000. – Vol. 33, Iss. 1, P. 117–119.
2. Sahm Kim. Forecasting internet traffic by using seasonal GARCH models / Journal of Communications and Networks, 2011. – Vol. 13, Issue 6, P. 621–624.
3. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology: 2016–2021 / Cisco VNI, 2017.
4. H. Hamidi. The role of the Internet of Things in the improvement and expansion of business / M. Jahanshahifard / Journal of Organizational and End User Computing, 2018. – Vol. 30, Issue 3, P. 22–24.
5. Apache CouchDB Documentation. JSON Structure Reference [Electronic resource]. – Mobile access: <http://docs.couchdb.org/en/stable/json-structure.html>
6. MongoDB for Giant Ideas. Json & BSON [Electronic resource]. – Mobile access: www.mongodb.com/json-and-bson
7. SQLite Consortium. SQLite JSON1 Extension [Electronic resource]. – <https://www.sqlite.org/json1.html>
8. The Json Data Type – MySQL Reference Manual [Electronic resource]. – Mobile access: <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/json.html>
9. User Datagram Protocol: Internet Standard, RFC-768 / ISI, 1980
10. Transmission Control Protocol: Internet Standard, RFC-793 / Information Sciences Institute University of Southern California, 1981
11. ECMA-404 The JSON Data Interchange Standard – Ecma International, 2017 [Electronic resource]. – Mobile access: <http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECMA-404.pdf>
12. Extensible Markup Language – World Wide Web Consortium [Electronic resource]. – Mobile access: <https://www.w3.org/XML/>

13. BSON Spec. BSON (Binary JSON): Specification [Electronic resource]. – Mobile access: <http://bsonspec.org/spec.html>
14. FasterXML. Smile Data Format [Electronic resource]. – Mobile access: <https://github.com/FasterXML/smile-format-specification>
15. Sadayuki Furuhashi. MessagePack [Electronic resource]. – Mobile access: <https://msgpack.org/>
16. Google Developers. Protocol Buffers: Developer Guide [Electronic resource]. – Mobile access: <https://developers.google.com/protocol-buffers/docs/overview>
17. GitHub IO. Flat Buffers Internals [Electronic resource]. – Mobile access: https://google.github.io/flatbuffers/flatbuffers_internals.html
18. Srđan Popić. Performance evaluation of using Protocol Buffers in the Internet of Things communication / Dražen Pezer, Bojan Mrazovac, Nikola Teslić / 2016 International Conference on Smart Systems and Technologies (SST), 2016, P. 261–265.
19. Heejung Kim. The upcoming new standard HTTP/2 and its impact on multi-domain websites / Jongseok Lee, Ikhyun Park, Hyungkyung Kim, Dong-Hoon Yi, Taesung Hur / 2015 17th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS), 2015, P. 530–533.
20. Kazuaki Maeda. Performance evaluation of object serialization libraries in XML, JSON and binary formats / Digital Information and Communication Technology and it's Applications (DICTAP), 2012, P. 177–182.
21. K. Chiu. A binary XML for scientific applications / T. Devadithya, Wei Lu, A. Slominski / First International Conference on e-Science and Grid Computing, 2005, P. 343–350.
22. M. Isenburg. Coding with ASCII: compact, yet text-based 3D content / J. Snoeyink / Proceedings. First International Symposium on 3D Data Processing Visualization and Transmission, 2002, P. 609–616.
23. Maxim Ya. Afanasev. Performance evaluation of the message queue protocols to transfer binary JSON in a distributed CNC system / Yuri V. Fedosov, Anastasiya A. Krylova, Sergey A. Shorokhov / IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 2017, P. 357–362.
24. Jianhua Feng. Google protocol buffers research and application in online game / Jinhong Li. / IEEE Conference Anthology (original: 13Th IEEE Joint International Computer Science and Information Technology Conference), republished in 2013, P. 1–4.
25. World Wide Web Consorciium. Extensible Markup Language [Electronic resource] – Mobile access: <https://www.w3.org/XML>
26. Kazuaki Maeda. Performance evaluation of object serialization libraries in XML, JSON and binary formats / 2012 Second International Conference on Digital Information and Communication Technology and it's Applications (DICTAP), 2012, P. 177.

Стаття надійшла до редакції 07.09.2018.

УДК 625.032

В.Л. СИДОРЕНКО, О.С. ЗАДУНАЙ, С.І. АЗАРОВ

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОГО РИЗИКУ ПРОМИСЛОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

***Анотація.** У статті розглядається методичний підхід до ідентифікації еколого-економічних ризиків, що виникають в ході взаємодії об'єкта промислової діяльності з навколишнім природним середовищем.*

***Ключові слова:** навколишнє природне середовище, еколого-економічні ризики, ризик-утворюючі чинники.*

Вступ

На сьогодні Україна характеризується надзвичайною щільністю розташування екологічно небезпечних промислових об'єктів (ЕНПО), що відносяться до таких галузей, як металургійна, хімічна, вугільна, енергетична, будівельна, машинобудівна, транспортна та ін. Зазначені об'єкти можуть чинити негативний вплив на здоров'я персоналу та населення. Вплив ЕНПО на навколишнє природне середовище (НПС) супроводжується виникненням збитку, зростаючого в міру збільшення антропогенного навантаження на навколишнє середовище. У зв'язку з цим необхідно виділити такий ризик, який виникає в процесі експлуатації ЕНПО і обумовлений дією на них безлічі природних, техногенних і соціальних факторів, що в літературі прийнято позначати як «екологічні».

Слід зазначити, що ризики початково природного походження не можуть розглядатися як об'єкт інтерналізації та супутніх соціально-економічних відносин, тому екологічні ризики, пов'язані із забрудненням НПС, слід відокремлювати від ризиків, викликаних дією природних сил. Різниця заснована на тому, що збитки від реалізації природних ризиків пов'язані з дією природного середовища на ЕНПО, а в разі виникнення екологічних ризиків – з дією ЕНПО на зовнішнє середовище.

У зв'язку з цим все більшої актуальності набуває проблема ідентифікації, контролю, аналізу джерел, обставин і причин, що ведуть до виникнення негативного впливу на довкілля, та практичного впровадження ефективних засобів управління і прийняття оперативних рішень з мінімізації еколого-економічних наслідків.

Постановка проблеми

Багаторічне функціонування на території України ЕНПО призвело до високих рівнів забруднення атмосферного повітря, ґрунтів, поверхневих і підземних вод. Виробнича діяльність ЕНПО супроводжується постійним утворенням та накопиченням значних обсягів відходів. Все це призводить до виснаження та деградації природних ресурсів, забруднення об'єктів довкілля, зростання захворюваності та скорочення тривалості життя населення промислових регіонів [1].

Складна ситуація, що склалася на території техногенно-навантажених регіонів України, потребує удосконалення підходів до визначення рівня екологічної безпеки діяльності ЕНПО [2]. Саме тому постає наукова задача удосконалення методологічного підходу до оцінки рівня екологічної безпеки ЕНПО для розробки та пошуку оптимальних форм екологізації виробництва.

Наразі оцінка еколого-економічного ризику ЕНПО проводиться частково, у вузькій спеціалізації: необхідність виконання кількісної оцінки ризиків законодавчо закріплена тільки для об'єктів підвищеної безпеки 1-го класу. У цьому разі розроблені декларації практично не враховують вплив на НПС у разі виникнення надзвичайних ситуацій (НС), відсутні вимоги аналізу таких впливів і методики оцінки екологічних ризиків.

1. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Підвищення екологічної безпеки у промислових регіонах потребує регулярного оцінювання рівнів екологічної безпеки функціонування ЕНПО. Проте відсутність надійних даних про зміни стану компонентів довкілля на різних етапах функціонування ЕНПО ускладнює оцінку рівня їх екологічної безпеки, без якої неможлива розробка комплексу заходів з покращення екологічного стану промислових регіонів [3].

Отже, для ідентифікації видів і джерел екологічної безпеки та подальшого оцінювання її рівнів необхідне системне обстеження ЕНПО та відповідних чинників їх функціонування, що впливають на основні компоненти НПС, зокрема на атмосферу, гідросферу, літосферу, ґрунти і біоту [4].

Більшість науковців вважає, що рівень впливовості варто оцінювати за результатами аналізу наукових (літературних) джерел щодо стану об'єктів довкілля, візуальних спостережень за ними, вимірів показників, що характеризують їх стан (за допомогою приладів і лабораторних аналізів), досліджень об'єктів на моделях тощо. Саме тому виникає задача узагальнення досвіду виконаного оцінювання та створення методики якісного оцінювання рівня екологічної безпеки функціонування ЕНПО.

Відомо, що сучасний рівень розвитку методології аналізу системних ризиків базується на розгляді ЕНПО і технологічних процесів як статичних систем з незмінними в часі параметрами [5]. Однак ризики виникнення і розвитку аварійних ситуацій на реальних ЕНПО, що безперервно змінюються, обумовлюють значні методичну та інструментальну похибки класифікації (розпізнавання) небезпечних ситуацій і під час ідентифікації передаварійних ситуацій знижують вірогідність і однозначність одержуваної інформації.

Велика частина досліджень у розглянутій предметній галузі присвячена вирішенню проблем, пов'язаних з управлінням техногенною безпекою промислових об'єктів і оптимізацією систем відшкодування збитку від НС [6, 7]. На жаль, більшість відомих до теперішнього часу результатів в цій галузі стосується не екологічних програм.

2. Формулювання цілей статті

Метою даної роботи є вдосконалення методики оцінювання екологічної небезпеки функціонування ЕНПО та практичного впровадження ефективних засобів управління і прийняття оперативних рішень з мінімізації еколого-економічних наслідків.

3. Виклад основного матеріалу

Для досягнення зазначеної мети було поставлено та вирішено задачу з розробки методики оцінювання екологічної небезпеки для основних компонентів НПС та довкілля в цілому від функціонування ЕНПО. Для вирішення поставленої задачі поетапно сформулюємо і охарактеризуємо основні положення запропонованої методики.

Сучасне ЕНПО – це складна система, всі ланки якої тісно пов'язані між собою єдністю виробничого процесу, конкретизованого в плані підприємства, планах його конкретних підрозділів, графіках випуску продукції, технічних і технологічних умовах виробництва тощо. У зв'язку з цим дослідження процесу функціонування підприємства вимагає застосування системного підходу, що фокусує увагу не тільки на самому підприємстві, а й на його довкіллі та його виробництві. В цьому випадку ЕНПО розглядається не як ізольована і незалежна структура, а як відкрита економічна система і як органічна частина суспільства, що віддає в процесі своєї діяльності пріоритет споживачу і постійно знаходиться в динамічному розвитку. Для побудови системної моделі ЕНПО необхідно виділити його небезпечні властивості і стани, в процесі яких можуть виникати якісно нові несприятливі ефекти. Небезпеку ЕНПО визначають такі параметри, як кількість аварійно-небезпечних та токсичних речовин, що зберігаються та переробляються, викидів в навколишнє середовище, відстань до населених пунктів, сусідніх підприємств, об'єктів «турботи» суспільства та ін. так званих «третьох осіб».

Розглядаючи ЕНПО як об'єкт екологічного ризику, слід зазначити, що ризику економічних втрат від негативних змін НПС, пов'язаних з наслідками діяльності третьох осіб, відрізняються високою невизначеністю і можливістю з управління ними обмежені. Якщо ж він виступає в якості суб'єкта ризику, то результати підприємницької діяльності, в основному, залежать не від якості ЕНПО, а від існуючих нормативно-правових обмежень. У цьому випадку екологічна складова в господарському ризику підприємницької діяльності здебільшого буде визначатися законодавчо встановленими обов'язками промислового об'єкта у сфері забезпечення екологічної безпеки.

ЕНПО може стати суб'єктом подібного ризику також під час виникнення відповідальності за порушення природоохоронного законодавства і екологічні наслідки, що виникають в результаті НС. У процесі ідентифікації еколого-економічного ризику промислової діяльності необхідно визначити, на якому з етапів свого виникнення він впливає на підприємницьку систему. Виходячи з цього, визначається позиція, яку займає промисловий об'єкт по відношенню до еколого-економічного ризику, і здійснюється вибір стратегії управління в разі ризикових ситуацій – превентивної, оперативної або компенсаційної.

Зазвичай ЕНПО розглядається як макросередовище виробничої діяльності. Критерієм віднесення того чи іншого фактора до мікросередовища служить наявність безпосередньої взаємодії з ЕНПО і його можливість впливати на характер цієї взаємодії. Якщо виробнича діяльність тісно пов'язана з ЕНПО, то вона також повинна розглядатися як одна зі складових мікросередовища. В даному аспекті природне середовище є сполучною ланкою між джерелами негативного впливу і реципієнтами, у яких виникає збиток від його наслідків. По суті еколого-економічний ризик являє собою сценарій можливого несприятливого розвитку ситуації, в якій проявляється негативний зовнішній ефект.

Ідентифікація еколого-економічного ризику виробничої діяльності встановлює зв'язок між одиничним джерелом ризику і одиничним реципієнтом. Розглянемо сценарний підхід до ідентифікації еколого-економічного ризику, який включає в себе три етапи (рис. 1) [8].

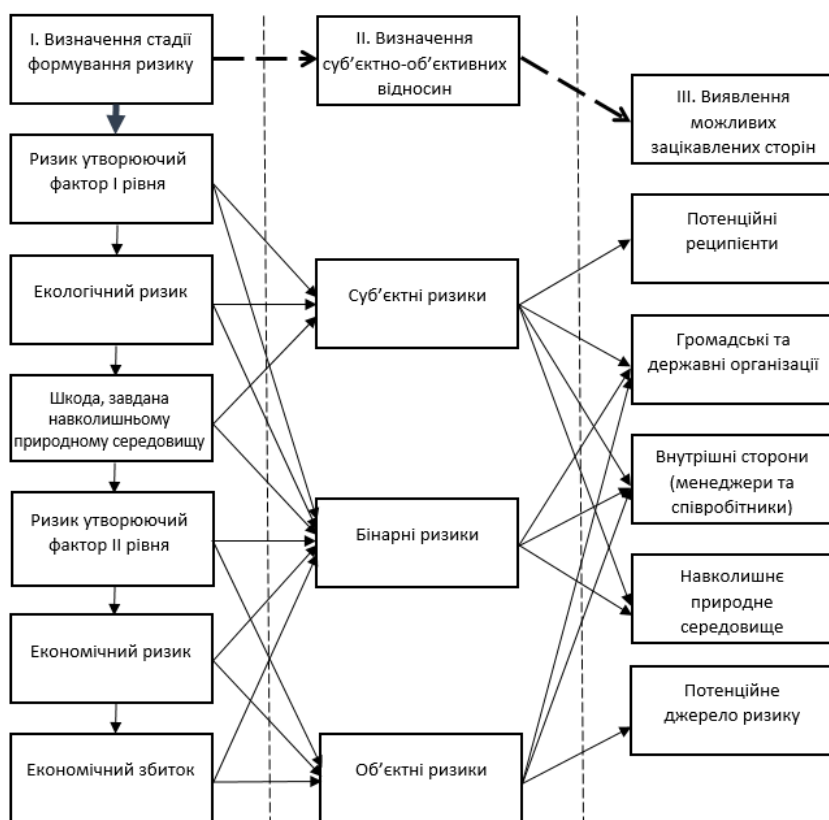


Рисунок 1 – Схема ідентифікації еколого-економічних ризиків

Залежно від ідентифікованих еколого-економічних ризиків здійснюється вибір пріоритетної стратегії управління в разі виникнення ризикових ситуацій (рис. 2) [9].

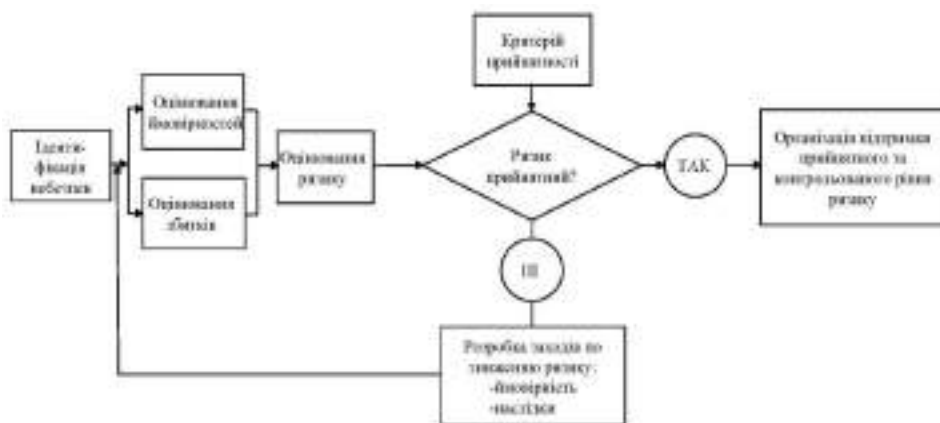


Рисунок 2 – Блок-схема структури аналізу еколого-економічних ризиків

Після ідентифікації небезпек, тобто виявлення принципово можливих еколого-економічних ризиків, необхідно оцінити їх можливість (імовірність), рівень і наслідки. Визначимо типи стратегій в залежності від керованості ризикових процесів:

- превентивні, засновані на зниженні ризику або ухиленні від нього;
- оперативні, реалізуються під час ризикових подій з метою мінімізації збитків;
- компенсаційні, спрямовані на відшкодування збитків та проведення відновлювальних робіт.

Превентивні стратегії будуть використовуватися на стадії ризикотворюючих факторів, оперативні – на стадії реалізації ризику, а компенсаційні – в ситуаціях, коли заподіяно шкоду природному середовищу або збиток реципієнтам. Виділимо три основних види еколого-економічного ризику в залежності від його спрямованості – суб'єктний, інтегральний та об'єктний. Суб'єктний обумовлений власним впливом, що викликає еколого-економічну відповідальність. У цьому разі суб'єктні еколого-економічні ризики формуються у внутрішньому середовищі виробничої системи, а джерелом об'єктних екологічних ризиків служить зовнішнє середовище. Інтегральний ризик визначається тим, що виробнича система може виступати одночасно як в ролі об'єкта екологічної безпеки, так і в ролі джерела негативного впливу на навколишнє середовище. Інтегральний ризик можна представити як комплексний показник потенційної небезпеки виробничої системи, що виражений в єдиному вартісному еквіваленті і дозволяє застосувати механізм обчислення повних втрат, зумовлених екологічними й економічними збитками.

У загальному випадку виникнення інтегрального ризику на ЕНПО можна уявити як

$$R\Sigma(I) = R(Eл) + R(Eн), \quad (1)$$

де $R(Eл)$ та $R(Eн)$ – складові $R\Sigma$ екологічного та економічного збитку.

Об'єктний ризик виникає від негативних впливів інших господарюючих суб'єктів. У цьому разі також виникає екологічна і економічна відповідальність. Подібний інтегральний ризик реалізується після трансформації в НПС у того ж суб'єкта, у якого виник спочатку. Процес виникнення інтегральних еколого-економічних ризиків у процесі експлуатації ЕНПО представлений на рис. 3.



Рисунок 3 – Етапи виникнення інтегрального еколого-економічного ризику

На даній схемі відображені три види інтегральних еколого-економічних ризиків, джерелом яких і кінцевим реципієнтом є один і той же ЕНПО. Вони формуються в міру того, як вплив, що чиниться на НПС, поширюється в ньому, породжуючи відповідні ризики. Таким чином, у складі еколого-економічного ризику можна виділити три складових в залежності від початкового походження екологічного ризику по відношенню до суб'єкта виробничої діяльності – суб'єкту, інтегральну та об'єкту (наведено в табл. 1).

Для детального розгляду екологічних і економічних наслідків в процесі експлуатації ЕНПО будемо використовувати поняття повного, прямого і непрямого збитків [4]. Відзначимо, що показник повного збитку, наприклад, в результаті залпового викиду (скиду) забруднюючих речовин або систематичних викидів в навколишнє середовище, слід розглядати невизначеним, тому що він не дозволяє на заданому часовому інтервалі врахувати і кількісно у віддаленій перспективі оцінити суму всіх втрат, збитків і витрат як потерпілих окремих екосистем, так і всього господарства регіону в цілому.

Таблиця 1 – Еколого-економічні ризики виробничої діяльності

Суб'єктні ризики	Інтегральні ризики	Об'єктні ризики
1. Ризики негативного впливу на НПС	1. Ризики «самозабруднення»	1. Ризики негативних змін НПС, пов'язаних з наслідками діяльності інших господарюючих суб'єктів

Продовження таблиці 1

Суб'єктні ризики	Інтегральні ризики	Об'єктні ризики
2. Ризики поширення негативних змін НПС на природні об'єкти	2. Ризики придбання об'єктів з невстановленим «екологічним боргом»	2. Ризики економічних втрат від негативних змін НПС, пов'язаних з наслідками діяльності інших господарюючих суб'єктів
3. Ризики заподіяння шкоди здоров'ю і збитку в результаті змін НПС	3. Ризики цивільної відповідальності за шкоду, заподіяну НПС	
		4. Ризики цивільної відповідальності перед фізичними та юридичними особами, які зазнали збитків

Вивчення загальної структури екологічного та економічного збитку від експлуатації ЕНПО показує, що детерміністські підходи не завжди дозволяють визначити форми і розміри збитку від різних режимів скидання і викидів в НПС і небезпеку різного виду загроз. Ці підходи передбачають аналіз етапів розвитку передаварійної ситуації, починаючи від вихідної події, через послідовність стадій зносів і накопичення пошкоджень в системі забезпечення екологічної безпеки до настання кінцевого стану, тобто її відмови. У цьому разі екологічні наслідки вивчаються за допомогою математичного моделювання та проведення складних розрахунків. Однак детерміністський метод не враховує випадкові ризик-утворюючі фактори, що визначають ймовірність виникнення відмови основних природно-охоронних елементів системи забезпечення екологічної безпеки і її екологічних наслідків.

Ймовірнісний метод аналізу еколого-економічного ризику базується на стохастичній природі виникнення відмов в системі забезпечення екологічної безпеки та інших небезпек техногенного характеру. У цьому разі оцінка ймовірності виникнення відмов проводиться за відомим алгоритмом від ідентифікації ініціюючих подій до побудови дерев подій і результатів [5]. Математичні моделі представляються більш спрощеними в порівнянні з детерміністськими схемами розрахунку. Основні обмеження застосування ймовірнісного аналізу еколого-економічного ризику пов'язані з недостатністю статистичної інформації щодо відмов обладнання, методичною складністю оцінки соціального (гуманітарного) збитку, викликаного загибеллю людини, і відсутністю функцій розподілу діагностичних параметрів ЕНПО.

При використанні ймовірнісного методу в залежності від ступеня невизначеності вихідних даних можуть бути побудовані такі моделі оцінки еколого-економічного ризику:

- статистичні, ймовірнісні, оцінки яких визначаються за вихідними даними;
- логіко-ймовірнісні, де оцінка екологічних ризиків здійснюється для рідкісних подій, коли статистичні дані практично відсутні;

– евристичні, в основі яких лежать суб'єктивні якісні оцінки експертними системами з використанням апарату нечіткої логіки або байєсовських алгоритмів, за допомогою яких можливо розрахувати еколого-економічні ризики за відсутності або неоднозначності вихідної інформації.

Розглянемо розподіли небезпечного результату виходу з ладу обладнання природно-охоронних елементів в часі, приймаючи гіпотезу про випадкове виникнення цієї події, потік яких розглядається у вигляді рідкісних подій, яким притаманні властивості ординарності (тобто за досить малий проміжок часу Δt відбувається не більше однієї реалізації), відсутність наслідків (після чергової реалізації їх частота не зміниться) і стаціонарності (частота реалізації $\lambda = \text{const}$). Тоді потік реалізацій небезпечної події можна розглядати як найпростіший пуассоновий, для якого випадкове число N реалізацій, що відбуваються протягом часу Δt , підпорядковується дискретному розподілу біномного типу [10]:

$$F(N) = a \cdot N \cdot \exp(-a), \quad N = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

де N – число аварій на промисловому об'єкті протягом часу Δt ; a – параметр розподілу Пуассона – середнє число реалізацій протягом часу Δt .

Для пуассоновського потоку час t між подіями підпорядковується експоненціальному закону. Зі збільшенням Δt зростає і число подій N . У разі $N(\Delta t) \rightarrow \infty$ розподіл Пуассона наближається до нормального. Більш детальна кількісна характеристика еколого-економічного ризику враховує складну структуру негативних впливів від ЕНПО на довкілля і різний характер виникаючих в цьому разі збитків протягом заданого часу, наприклад року:

$$R(t) = \sum_{i,j} P_{ij}^M Y_{ij}^M + \sum_{i,j} P_{ij}^J Y_{ij}^J, \quad (3)$$

де P_{ij}^M – імовірність виникнення протягом року j -го майнового (матеріального) збитку Y_{ij}^M (грн/рік) в результаті впливу i -го фактора, що виникає в результаті аварій; $P_{ij}^J Y_{ij}^J$ – ті ж параметри, але відносно до людини, тобто до втрат здоров'я, включаючи і смертельні випадки.

Якщо існує небезпека настання n несприятливих подій, то розрахунок еколого-економічного ризику пропонується вести за формулою:

$$R = \sum_{i=1}^n P_i V_i, \quad (4)$$

де P_i – імовірність настання i -ої події; V_i – пов'язані з нею економічні збитки.

Формули (3) і (4) прості і зручні для практичного використання, але з формальної теоретико-ймовірнісної точки зору можуть застосовуватися лише у разі несумісних уражаючих факторів або несумісних несприятливих подій.

Таким чином, еколого-економічний ризик можна розглядати як деяку складну структуру, що містить у своєму складі компоненти ймовірності небезпечної події, шкоди та їх невизначеності.

Висновки

У результаті проведених досліджень обґрунтовано уніфіковану методику комплексного оцінювання рівня екологічної небезпеки в процесі експлуатації ЕНПО.

На підставі проведеного аналізу в цілому слід зазначити, що система оцінки еколого-економічних ризиків, також як і оцінка збитку, являє собою складну ієрархічну систему з нестаціонарними процесами, що відбуваються на різних стадіях експлуатації ЕНПО, і дозволяє врахувати зміну в часі умов виникнення і розвитку негативних впливів, а також керувати мінімізацією ризику.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Качинський А.Б. Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення: монографія / А. Б. Качинський. – К.: НІСД, 2001. – 311 с.
2. Руденко Л.Г. Оцінювання й картографування ризиків виникнення надзвичайних ситуацій в Україні – європейський контекст / Л.Г. Руденко, О.Л. Дронова // Укр. геогр. журн. – 2014. – № 1. – С. 53–60.
3. Качинський А.Б. Системний аналіз визначення пріоритетів в екологічній безпеці України / А.Б. Качинський. – Київ, 1995. – 46 с. (Препринт / Національний інститут стратегічних досліджень; № 42).
4. EPA/540/R-92/003. Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS), Volume I: Human Health Evaluation Manual: [Електронний ресурс] – Washington, DC, 1991. – Режим доступу: http://rais.ornl.gov/guidance/epa_hh.html.
5. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки. – К.: Основа, 2003. – 192 с.
6. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру» від 15.02.2002 № 175.
7. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря: МР 2.2.12-142-2007. – [Чинний від 13.04.2007]. – К., 2007. – 40 с.
8. Задунай О.С. Розробка методології аналізу системних ризиків під час експлуатації об'єктів підвищеної екологічної небезпеки / О.С. Задунай, С.І. Азаров // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. – Вип. 1(41). – С. 132–134.
9. Азаров С.І. Аналіз безпеки потенційно небезпечних об'єктів / С.І. Азаров, В.Л. Сидоренко // Техногенно-екологічна безпека. – 2017. – № 1. – С. 3–7.
10. Задунай О.С. Принципи створення системи оперативного моніторингу екологічної безпеки потенційно небезпечних об'єктів на основі мінімізації ризиків / О.С. Задунай, С.І. Азаров // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2016. – Вип. 4(40). – С. 125–130.

Стаття надійшла до редакції 07.08.2018.

УДК 004.047

О.О. КРЯЖИЧ, О.В. КОВАЛЕНКО

ДЕЯКІ УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ ОСНОВ СПОСОБУ ОПИСУ ЗАБРУДНЕНОЇ ТЕРИТОРІЇ

***Анотація.** У статті представлений підхід до побудови ітерацій вищого порядку. Це дозволяє за модифікованим методом отримати ряд розкладення за степенями та одержати базову послідовність ітераційних формул. Наведені математичні основи призначені для побудови модуля прогнозування до раніше створеної авторами програмної розробки «Випадкова точка».*

***Ключові слова:** спосіб, невизначеність, похідна, ітерація, функція.*

Вступ

У статті [1] був представлений спосіб опису забрудненої території, на основі якого розроблена програмна реалізація [2]. У процесі подальшого тестування програмної реалізації та проведення вимірів розповсюдження в навколишньому середовищі небезпечних речовин, здійсненого на основі аналізу розповсюдження радіоізотопу водню – тритію – в біомасі рослин, було виявлено, що для більш точних замірів та побудови карт розповсюдження потрібні ітерації більш високого порядку. Це вимагає створення ряду базових послідовностей ітераційних формул для різних функцій та використання різних методів апроксимацій. Це, у свою чергу, вимагає звернути увагу на алгоритмізацію задачі вирішення різноманітних функцій в процесі реалізації другої версії комп'ютерної програми [2], враховуючи питання генерування алгоритмів, адаптації алгоритмів до конкретних умов застосування і т. ін.

Метою роботи є представлення деяких удосконалень математичних основ способу опису забрудненої території з метою створення нової версії програмного продукту, що дозволяє деталізувати опис та візуальне представлення забруднених поверхонь.

У роботі поставлені та розкриті наступні задачі:

– проаналізувати питання невизначеності інформації при створенні моделей розповсюдження забруднення в навколишньому середовищі та розглянути можливий шлях подолання цього;

– представити підхід до побудови ітерацій вищого порядку для програмної реалізації модуля для вдосконалення програмної реалізації способу опису забрудненої території «Випадкова точка».

1. Невизначеність інформації в моделях розповсюдження забруднення та її подолання

У моделі опису забрудненої території [1, 3] з врахуванням впливів перетворення інформації при її обробці наведені підходи та алгоритми, які дозволяють реалізувати технологію поступового переходу від інформаційної невизначеності до повної визначеності і зворотню переробку інформації від маси неупорядкованих даних моніторингу до повного аналізу стану системи і її можливостей. Апробація програмної реалізації та методу опису забрудненої

території [4] дозволяють стверджувати про необхідність перевірки інформації на різних рівнях її трансформації щодо її несуперечності та повноти, адже неузгодженість вхідних даних до моделі призводить до зростання ентропії інформації, що отримує дослідник при реалізації моделі.

Ентропія інформації описується математичною формулою, яка визначає невизначеність повної групи випадкових подій або випадкових станів [5]:

$$E = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i \quad (1)$$

За змістом ентропія виступає зворотною величиною до кількості інформації. Величина E – міра невизначеності множини, яка складається з n випадкових подій з імовірністю $p_1 \dots p_n$.

Ентропія як міра невизначеності інформації має декілька способів її вимірювання. Міра невизначеності інформації Шенона відноситься до процесів передачі повідомлень. Міра різноманіття інформації Хартлі характеризує лише процеси утримання системи у стабільному стані. До мір Шенона й Хартлі корелює міра складності відновлення двоїстих слів А. Колмогорова. Міра А. Харкевича, яка визначає смислову цінність інформації через критерій досягнення мети, також потребує адаптації для вирішення задач, поставлених в дослідженні. Зокрема, міра невизначеності (E) у досліджуваному ракурсі повинна об'єднувати відсутність, суперечність та несвоєчасність інформації про ряд керуючих впливів на досліджувану систему.

Для її застосування потрібні системні умови до формування бази знань про систему, яка досліджується. Такими умовами є структура записів інформації в базу даних, на основі яких будується модель про стан забруднення системи. Деяка сукупність знань може бути представлена у вигляді суми записів у базі даних про деякі точки вимірів X , реальні показники забруднення в цих точках Y та вплив непереборних факторів на систему (температура, вітер, погодні умови та ін.) Z :

$$X(a, b, c, d) = \sum_{i=1}^n x_i(a, b, c, d), \quad (2)$$

на множині записів про точки вимірів на території, де відбулося забруднення $I = \{ i \mid 1 \leq i \leq n \}$, де a – порядковий номер точки виміру; b – назва точки; c – напрям кроку вимірів; d – довжина кроку вимірів.

$$Y(a, c, d, e) = \sum_{j=1}^m y_j(a, c, d, e), \quad (3)$$

на множині записів про показники забруднення в результаті роботи підприємства $J = \{ j \mid 1 \leq j \leq m \}$, де a – ім'я елементарної операції з проектних технологій функціонування, що призвела до викиду; c – кількість речовини, що потрапляє в навколишнє середовище в результаті виконання елементарної операції при регламентній роботі; d – кількість речовини, що потрапила в навколишнє середовище в результаті виконання елементарної

операції, що призвела до аварії (викиду); e – ознаки операції із забезпечення мінімізації викиду.

$$Z(a, c, d, e) = \sum_{q=1}^l z_q(a, c, d, e), \quad (4)$$

на множині записів про непереборні фактори, що мають вплив на досліджувану систему $Q = \{q \mid 1 \leq q \leq l\}$, де a – температура повітря; c – напрям вітру; d – сила вітру; e – вологість.

Звичайно, що до моделі ми не зможемо ввести різновимірні показники. У зв'язку з цим, пропонується на фізико-хімічних особливостях поведінки конкретної забруднюючої речовини і виходити з перерахунку потрапляння відповідної облікової кількості речовини-забруднювача (тонни, кілограму, кубічного метру, 1 – 1000 літрів) в навколишнє середовище при фактичних погодних умовах на момент аварії.

Виходячи з (2)–(4), мірою невизначеності інформації E може бути показник відношення загальної суми неповних записів у базі даних про точки вимірів, забруднення та погодні умови до ідеально повної бази даних:

$$E(x, y, z) = \left(\sum_{i=1}^n x'_i + \sum_{j=1}^m y'_j + \sum_{q=1}^l z'_q \right) / \left(\sum_{i=1}^n x_i + \sum_{j=1}^m y_j + \sum_{q=1}^l z_q \right), \quad (5)$$

де підсумовується кількість записів у базі даних автоматизованої системи. Якщо $E(x, y, z) \rightarrow 0$, невизначеність знань про об'єкт зростає, якщо $E(x, y, z) \rightarrow 1$, невизначеність зникає і зростає визначеність $E(x, y, z) = 1$, що відображає повний обсяг знань про територію та її забруднення.

2. Побудова ітерацій вищого порядку

У процесі досліджень для багатьох точок виміру визначатимуться різні показники забруднення, які відповідають окремо визначеній точці на місцевості при незмінних (або малозмінних) кліматичних показниках на конкретний момент дослідження. Тому оперувати в процесі побудови моделей, особливо моделей прогнозування розповсюдження забруднення, доведеться здебільшого показниками x та y . При цьому x виступатиме аргументом, а y – функцією, яку вишукують. Як зазначалося в [1], модель та програмна реалізація використовують метод Чебишова – одним зі способів знаходження базових послідовностей ітераційних формул є модифікація метода Чебишова побудови ітерацій вищих порядків на випадок, якщо задано рівняння виду

$$F(x, y) = 0. \quad (6)$$

П. Чебишов будував ітераційні формули вищого порядку для відшукування коренів рівняння, що дорівнює 0. Для отримання модифікованого методу побудови ітерації вищого порядку для заданого рівня (6) приймемо, що в оточенні простого кореня зазначеного рівняння можна записати наступне:

$$Z = F(x, y). \tag{7}$$

Нехай тепер

$$y = \Phi(x, z), \tag{8}$$

відповідно,

$$y \equiv \Phi[x, F(x, y)], \tag{9}$$

де функція y задана на сегменті $[a, b]$ (4):

$$Z \equiv F[x, \Phi(x, z)]. \tag{10}$$

Тоді функція неперевірних факторів Z може бути представлена на сегменті $[c, d]$ і корінь рівняння (6) матиме вигляд:

$$\alpha = \Phi[x, 0]. \tag{11}$$

Відносно функції $F[x, 0]$ передбачено, що вона безперервна на сегменті $[c, d]$, має безперервні часткові похідні за y достатньо високого порядку та $F'y(x, y) \neq 0$. Розкладаючи функцію (8) за степенями, приймаючи, що $Z - z$, та вважаючи, що точки виміру на території x (2) та результати вимірів за визначеними показниками погодних умов для конкретної речовини z (4) є фіксованими, отримаємо:

$$y = \Phi(x, z) + \frac{1}{1!} \frac{\partial \Phi(x, z)}{\partial z} (Z - z) + \frac{1}{2!} \frac{\partial^2 \Phi(x, z)}{\partial z^2} (Z - z)^2 + \dots \tag{12}$$

Приймаючи $Z = 0$ та враховуючи (11), отримаємо:

$$\alpha \equiv \Phi(x, z) - \frac{1}{1!} \frac{\partial \Phi(x, z)}{\partial z} z + \frac{1}{2!} \frac{\partial^2 \Phi(x, z)}{\partial z^2} z^2 + \dots \tag{13}$$

Враховуючи (5), отримаємо

$$\alpha = y + \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k \frac{1}{k!} \Phi_y^{(k)}[x, F(x, y)] z^k. \tag{14}$$

У даному випадку обмежимося кінцевим числом членів розкладення. Тоді опис можна представити наступним чином:

$$\alpha = y + \sum_{k=1}^m (-1)^k \frac{1}{k!} \Phi_y^{(k)}[x, F(x, y)] z^k + R_{m+1},$$

де R_{m+1} – залишковий член.

Позначимо через $\Psi_m(x, y)$ вираз (14), підставляючи z^2 :

$$\Psi_m(x, y) = y + \sum_{k=1}^m (-1)^k \frac{1}{k!} \Phi_y^{(k)}[x, F(x, y)] (F(x, y))^k.$$

Рівняння

$$y = \Psi_m(x, y),$$

при заданому x має корінь $y = \alpha$, а з врахуванням

$$\Psi_m(x, \alpha) = \alpha + \sum_{k=1}^m (-1)^k \frac{1}{k!} \Phi_y^{(k)}[x, F(x, \alpha)] (F(x, \alpha))^k = \alpha,$$

через те, що $F(x, \alpha) = 0$.

У разі прийняття, що

$$y_{i+1} = \Psi_m(x, y_i), \text{ для } i = 1, 2, 3, \dots$$

отримаємо ітераційний метод $(m+1)$ -го порядку, бо

$$\left. \frac{\partial \Psi_m(x, y)}{\partial y} \right|_{y=\alpha} = \left. \frac{\partial^2 \Psi_m(x, y)}{\partial y^2} \right|_{y=\alpha} = \dots = \left. \frac{\partial^m \Psi_m(x, y)}{\partial y^m} \right|_{y=\alpha} = 0.$$

Для забезпечення збіжності послідовності $y_{i+1} = \Psi_m(x, y_i)$ при $i = 1, 2, 3, \dots$ до пошукованого кореня α необхідно вимагати, щоб перше наближення до пошукованого кореня y_0 належало оточенню кореня α , в якому

$$|\Psi'_y(x, y)| \leq q < 1.$$

Зв'язок між $\Phi_z^{(k)}(x, y)$ та $\Phi_y^{(k)}[x, F(x, y)]$ може бути визначений за правилами заміни в диференційних виразах.

Враховуючи (9), а також

$$\Phi_y^{(k)}[x, F(x, y)] = \begin{cases} 1, & \text{при } k = 1 \\ 0 & \text{при } k > 1 \end{cases} \quad (15)$$

отримаємо

$$\Phi_z^{(1)} = \frac{1}{F_y^{(1)}(x, y)}, \quad \Phi_z^{(2)} = \frac{F_y^{(2)}(x, y)}{[F_y^{(1)}(x, y)]^3}, \dots \quad (16)$$

Таким чином, $\Phi_z^{(k)}$ буде зворотною похідною функції, яка вишукується. Підставимо вираз (9) в (14), отримаємо ряд, що вишукується.

Прийнявши в (14) $\alpha \equiv y$, а y в правій частині рівняння початкове наближення $y \approx \alpha$, можна записати:

$$y = y_0 - \frac{1}{1!Z_y^{(1)}(x, y_0)} Z_0 - \frac{Z_y^{(2)}(x, y_0)}{2![Z_y^{(1)}(x, y_0)]^3} Z_0^2 - \frac{3[Z_y^{(2)}(x, y_0)]^2 - Z_y^{(1)}(x, y_0)Z_y^{(3)}(x, y_0)}{3![Z_y^{(1)}(x, y_0)]^5} Z_0^3 - \dots$$

де

$$Z_0 = F(x, y_0). \quad (17)$$

З розкладення вище видно, що функція розкладається за степенями Z_0 , а не за степенями x , що є характерним для розкладення в ряд Тейлора, тобто отримали базову послідовність ітераційних формул. Цей ряд можна перетворити в ітераційну формулу, якщо обмежитися кінцевим числом членів і зробити заміну

$$y = y_{i+1}, \quad y_0 = y_i, \quad Z_0 = Z_i,$$

враховуючи, що при $i = 0$, $y_0 \equiv y_0$.

У підсумку можна отримати

$$y_{i+1} = y_i - \frac{1}{1!Z_y^{(1)}(x, y_i)} Z_i - \frac{Z_y^{(2)}(x, y_i)}{2![Z_y^{(1)}(x, y_i)]^3} Z_i^2 - \frac{3[Z_y^{(2)}(x, y_i)]^2 - Z_y^{(1)}(x, y_i)Z_y^{(3)}(x, y_i)}{3![Z_y^{(1)}(x, y_i)]^5} Z_i^3 - \dots \quad (18)$$

Наприклад, якщо $y = \sqrt[n]{x}$ и $Z(x, y_i) = y^n/x - 1$, тоді

$$y_{i+1} = \frac{1}{n} [(n-1)y_i + x/y_i^{n-1}] - \frac{n-1}{2!n^2} (y_i^n - x)^2 / y_i^{2n-1} - (n-1)(2n-1)(y_i^n - x)^3 / 3!n^3 y_i^{3n-1} - \dots$$

Відносні погрішності ітераційних формул другого, третього і четвертого порядку можуть бути представлені виразами

$$\begin{aligned} \delta_{i+1} &= \frac{n-1}{2!} \delta_i^2 - \frac{(n-1)(n+1)}{3!} \delta_i^3 + \frac{(n-1)(n+1)(n+2)}{4!} \delta_i^4 - \dots, \\ \delta_{i+1} &\approx \frac{(n-1)(2n-1)}{3!} \delta_i^3 - \frac{(n-1)(2n^2+n-1)}{4!} \delta_i^4 \\ \delta_{i+1} &\approx \frac{(n-1)(2n-1)(3n-1)}{4!} \delta_i^4 \end{aligned}$$

Ці формули отримуються за методом розкладення функцій за рядом нев'язок [6], де нев'язка має вигляд $Z_0 = x/y_0^n - 1$.

Висновки

За запропонованими удосконаленнями способу опису забрудненої території [1] виникла можливість подальшого створення модуля прогнозування забруднення до програмної реалізації цього способу «Комп'ютерна програма з реалізації способу опису забрудненої території «Випадкова точка» («Випадкова точка (Random point)» [2], для якого зараз розробляється технічне завдання.

Побудова ітерацій вищого порядку дозволяє за модифікованим методом отримати ряд розкладення за степенями x та отримати базову послідовність ітераційних формул. Тобто, в програмній реалізації це дозволить нам отримати точки прогнозованого забруднення та визначити вірогідний вміст небезпечних речовин, що потрапили в навколишнє середовище, обмежене визначеними точками.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кряжич О.О., Коваленко О.В., Іванченко В.В. Спосіб опису забрудненої території: програмна реалізація / О.О. Кряжич, О.В. Коваленко, В.В. Іванченко // Математичне моделювання в економіці. – 2016. – №2. – С. 22–35.
2. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 67750 «Комп'ютерна програма з реалізації способу опису забрудненої території «Випадкова точка» («Випадкова точка (Random point)»)). Автори: Кряжич Ольга Олександрівна, Коваленко Олександр Васильович. Дата заявки: 12.07.2016. Дата реєстрації: 12.09.2016.
3. Трофимчук О.М., Кряжич О.О. Апроксимація функцій для створення алгоритму опису пересіченої місцевості / Олександр Миколайович Трофимчук, Ольга Олександрівна Кряжич // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2016. – № 1. – С. 134–141.
4. Коваленко О.В., Кряжич О.О. Математичні залежності процесу міграції тритію / Олександр Васильович Коваленко, Ольга Олександрівна Кряжич // Математичне та імітаційне моделювання систем – МОДС 2016: тези доповідей Одинадцятої міжнародної науково-практичної конференції (Жукин, 27 червня – 1 липня 2016 р.). – М-во осв. і наук. України, Нац. акад. наук України, Академія технологічних наук України, Інженерна академія України та ін. – Чернігів: ЧНТУ, 2015. – С. 51–55.
5. Згуровський М.З. Системний аналіз. Проблеми, методологія застосування / М.З. Згуровський, Н.Д. Панкратова. – К.: «Наукова думка», 2011. – 728 с.
6. Теслер Г.С., Гелемб'юк Р.В. Розв'язування жорстких диференціальних рівнянь з використанням методу розвинення функцій в ряди нев'язок / Г.С. Теслер, Р.В. Гелемб'юк // Мат. машини і системи. – 2006. – № 4. – С. 90–98.

Стаття надійшла до редакції 29.08.2018.

УДК 004.5:004.6:004.89:007.51:528.933

О.Є. СТРИЖАК, В.В. ПРИХОДНЮК, С.І. ГАЙКО, В.Б. ШАПОВАЛОВ

ВІДОБРАЖЕННЯ МЕРЕЖЕВОЇ ІНФОРМАЦІЇ У ВИГЛЯДІ ІНТЕРАКТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ. ТРАНСДИСЦИПЛІНАРНИЙ ПІДХІД

***Анотація.** Розглядається технологічна проблема інтерактивної взаємодії з великими обсягами мережових інформаційних ресурсів (проблема Big Data). Визначаються інструменти структуризації мережових документів, формування таксономічних відображень структури мережових документів та їх контекстної зв'язності між усіма концептами-поняттями, які формують термінополе користувача, на засадах рекурсивної редукції. Представлено онтологічну модель мережевого документу.*

***Ключові слова:** термінополе, трансдисциплінарність, онтологія, рекурсія, редукція, предикат, контекст, таксономія, інтерактивний документ.*

Вступ

Вирішення складних прикладних задач, що мають певну практичну значимість, багато в чому залежить від об'єктивності та достовірності інформації, яка використовується протягом всього процесу їх розв'язання. При цьому необхідно враховувати, що об'єкти (концепти), властивості яких визначають умови та етапи розв'язання більшості прикладних задач, можуть належати до різних за тематикою предметних областей (ПрО). Практично завжди у фахівця, який вирішує задачу, виникає необхідність в інтерактивному відображенні контекстів мережевої інтегрованої інформації, яка використовується, і даних, які її характеризують, на основі тематичних властивостей інформаційних одиниць, що визначають обрану стратегію її використання у процесі розв'язування прикладної задачі.

Розв'язання цих проблем лежить у напрямках, пов'язаних зі створенням та використанням різноманітних засобів обробки інформації, як пасивної системи мережових знань, які здатні обробляти розподілені політематичні великі масиви даних і тим самим надавати певну допомогу фахівцю у виборі та прийнятті конкретного рішення за заданою проблематикою.

Виділення набору дій на основі системи знань, описаної і представленої в інтегрованому мережевому інформаційному ресурсі, можливо на основі застосування до її природно-мовного тексту процедури структуризації. Для цього реалізуються процедури перетворення книжкового тексту, представивши його не в звичному вигляді послідовного і за стилем узгодженого викладу інформації, а відобразивши його в сукупності конкретних висловлювань і тверджень. Конкретні предметні висловлювання/твердження, що мають тематичну спрямованість, можуть формувати пасивну базу знань, яка складається з контекстів тематики взаємодії.

Трансдисциплінарність інформаційного середовища представима через прояв рекурсивних та рефлексивних властивостей множин таксономічних і операціональних особливостей онтологій предметних областей. Рекурсивність, як функціональна властивість таксономії, дозволяє визначити множинну часткову упорядкованість множин таксономічних і операціональних властивостей онтологічних моделей предметних областей, що відображають всі процеси і об'єкти документів, які представлено у мережевому середовищі [1–3].

Застосування таких трансдисциплінарних процедур орієнтоване на вирішення наступних задач:

- забезпечення можливості оперативної організації доступу до інформаційних джерел формування знань, що стосуються політематичних описів предметних областей або об'єднаних схожими інтересами сфер діяльності;

- підтримка взаємодії всіх учасників процесу в рамках упорядкованих множин предметних областей з можливістю їх розширення;

- забезпечення можливості розширення списку джерел і споживачів різнорідних політематичних інформаційних джерел формування знань в рамках певної предметної області або сфери інтересів;

- обмеження доступу до інформаційних ресурсів рамками конкретної предметної області або сфери інтересів у зв'язку з можливістю вирішення попередньої задачі;

- забезпечення можливості для кожного суб'єкта використання інформаційних ресурсів кількох предметних областей;

- забезпечення можливості оперативного пошуку джерела необхідних інформаційних ресурсів, що стосується контекстів предметних областей.

Таким чином, головними принципами використання категорії трансдисциплінарності у процесі інтеграції інформаційних ресурсів є :

- множинна упорядкованість інформаційного середовища;
- орієнтація на використання властивостей об'єктів ПрО в процесі розв'язання складних політематичних прикладних задач;

- забезпечення можливості використання суперечливої інформації;

- орієнтація на використання контекстів інформаційних ресурсів;

- забезпечення виявлення новітніх властивостей у систем, які отримані на основі інтеграції їх складників;

- формування, за рахунок множинної упорядкованості, ієрархій контекстів тематики взаємодії.

1. Основна частина

Для забезпечення трансдисциплінарності представлення усієї сукупності документів використовуються онтологічні моделі. При цьому усю цю сукупність документів слід розглядати на основі типізацій взаємодії мережевих інформаційних систем. І в цій взаємодії можна виділити певні онтологічні аспекти, якщо її розглядати у вигляді класу натуральних систем – SN , які первинно задаються упорядкованими множинами пар виду: $\{<дія \rightarrow \text{результати}>\}$ і які можуть бути представлені за умови існування непорожньої множини можливих наборів дій – F , де F розглядається в якості кінцевої

множини функцій інтерпретації, яка задана на певній предметній області (ПрО) [4]. Кожну ПрО безпосередньо складають певні концепти, які складають множину $X = \{X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n\}$, та множину їх властивостей R , яка утворюється множиною декартових добутків множини X самої на себе – $R = \prod_i^n X_i$. Множина дій F може бути утворена декартовим добутком множин X і R – $F = X \times R$.

Твердження 1: завжди існує певний набір дій $F_k \subset F$ таких, що завжди існує хоча б одне непусте $f^i \in F_k$ таке, що існує також набір концептів X_j , для яких $f^i(x_1, x_2, \dots, x_n) \in F_k$. У зв'язку з цим, для елементів множини концептів X завжди знайдеться відповідний непустий набір дій з множини F . Таким чином, для кожної множини властивостей R у натуральній системі можливе визначення нового концепту x_{n+1} для множини X такого, що існує додаткова властивість r' , яка забезпечує виконання правила $f^i(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}) \in F_k$. Такий набір дій визначається як узгоджений.

Конструктивність твердження 1 дозволяє визначити відношення натуральної системи SN з онтологічною системою O , яка відображає різні онтології O_n , починаючи від простого словника і таксономії до формальної структури концептуальної бази знань для високоінтелектуальних знання-орієнтованих систем, в основі яких знаходиться аксіоматизована теорія, і яка має вигляд впорядкованої четвірки виду

$$O = \langle X, R, F, A, (D, R_s) \rangle, \quad (1)$$

де X – множина концептів;

$X = \{X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n\}, i = \overline{1, n}, n = \overline{Card(X)}$ – кінцева множина концептів;

$R = \{R_1, R_2, \dots, R_k, \dots, R_m\}, R \subseteq X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n, k = \overline{1, m}, m = \overline{Card(R)}$ – кінцева множина семантично значущих відношень між концептами ПрО, які визначають тип взаємодії між поняттями;

$F: X \times R$ – кінцева множина функцій інтерпретації, заданих на концептах та/або відношеннях. Кожна X_i в загальному випадку включає підмножину понять $\{x_{i-1}\}$, через які відношення, що зв'язує X_i з $\{x_{i-1}\}$, і множину атрибутів (ознак), властивих X_i ;

A – скінченна множина аксіом, які використовуються для запису завжди істинних висловлювань в термінах тематики ПрО;

D – множина додаткових визначень понять в термінах тематики ПрО;

R_s – множина обмежень, що визначають область дії понятійних структур визначеної тематики ПрО.

Онтологія як складова інформаційної системи (ІС) є формальним представленням концептуальних знань про предметну область. Процес

побудови такої складової ІС можна представити композицією певних висловлювань, суджень, тверджень, термінів-понять і відношеннями між ними, а його результат – основою для побудови складової частини аксіоматизованої теорії – онтологічної бази знань у заданій предметній області, описаній в декларативній формі.

Твердження 2. Онтології, які можуть бути утворені на основі концептів натуральної системи, можуть бути представлені наступними шістьма типами: неструктурований текст; глосарій; таксономія; тезаурус; проста онтологія; активна онтологія.

Особливу роль у формуванні та використанні онтологій грає категорія таксономії, як операціональна платформа онтологічної системи, яка може бути визначена для будь-якого складного концепту і утворюється класом класифікаційних відношень, на множині яких задається множинне бінарне відношення упорядкованості типу «група об'єктів – група об'єктів».

Категорію «таксономія» доповнено категорією «термінополе», під якою розуміється множина взаємопов'язаних дефініцій термінів, що визначають імена концептів ПрО.

Твердження 3. Кожне термінополе може бути представлено певною множиною таксономій.

Твердження 1, 2 і 3 характеризують конструктивізм визначень термінополя, натуральної системи і таксономії, що дає можливість встановити відповідність між категоріями натуральна система і онтологія.

Твердження 4. Завжди можна виділити непорожній набір умов, заданих підмножиною відношень \tilde{R} концептів термінополя $\tilde{R} \subset R | R = X \times X$, за умови, що застосовність множини правил-інтерпретацій F_k , що формують операційне середовище натуральної системи SN , буде задано над концептами X термінополя, представленого множиною таксономій \tilde{T} . Тоді натуральна система може бути представлена онтологією виду

$$O = \langle X, \tilde{R}, F_k \rangle. \quad (2)$$

Таку властивість натуральних систем будемо називати пластичним перетворенням.

Твердження 5. Якщо непорожні декартові добутки множин X (концепти) і R (відношення) можуть утворювати певну підмножину функцій $F_i \subset F$, які є певними діями в термінах множини концептів, то на множині дій F можливо задати деяку непорожню множину істинних висловлювань типу {дія \Rightarrow результат}, яка також утворює натуральну систему SN . Тоді, справедливо наступне: будь-яка онтологія O_n , яку утворює натуральна система SN , може бути утворена на основі певної системи висловлювань, утворених множиною дій F над концептами X , і будь-яка натуральна система SN може бути утворена на основі певної системи висловлювань з концептів онтології O_n . Таку взаємодію між натуральними системами і онтологіями будемо називати двоїстою.

Твердження 6. Якщо певна онтологія O_n визначена у вигляді натуральної системи SN , то завжди є певна не порожня множина істинних висловлювань, яка утворюється концептами цієї онтології за умови, що ці концепти упорядковані між собою бінарними відношеннями виду:

$$r^m(x_i^j, x_l^k | x_i^j \in X_i; x_l^k \in X_l; r^m \in R \neq \emptyset), \quad (3)$$

які мають властивості: ациклічності – γ ; часткової впорядкованості – \tilde{p} ; лінійної упорядкованості – p :

$$x_i^j \gamma x_l^k \xrightarrow{\alpha} x_i^j p x_l^k \quad (4)$$

$$x_i^j \tilde{p} x_l^k \xrightarrow{\alpha} x_i^j p x_l^k . \quad (5)$$

Для множини таксономій \tilde{T} завжди можна знайти не порожню множину відображень \tilde{G} , що здійснює опис натуральної системи SN в онтологію O_n . Також завжди при заданих умовах формування множини таксономій \tilde{T}' можна знайти множину зворотних відображень \tilde{G}^{-1} , що переводять опис онтології O_n в опис натуральної системи SN

$$\tilde{G}: SN \Rightarrow O_n \quad (6)$$

$$\tilde{G}^{-1}: O_n \Rightarrow SN . \quad (7)$$

На основі універсальності певних властивостей онтологій можна зробити наступний висновок: всі семантичні утворення сформованого типу онтологічної моделі можна представити у вигляді множини істинних висловлювань та/або тверджень, що зв'язують концепти онтології. При цьому всі ці твердження можуть мати тривіальний вид, тобто бути представленими тільки двома пов'язаними концептами.

Концепти таксономії T можуть бути представлені у вигляді наборів послідовностей різної довжини, що становлять послідовність 2^X . Тоді в множині функціоналів F можна завжди визначити як мінімум одну впорядковану функцію F_p на послідовності 2^X . Функція F_p має властивість адитивності, порядкоадитивності і монотонності. Справедливим буде твердження, що серед концептів множини завжди можна знайти концепт $x \in X$, такий що:

$$F_p(X) = \max F_p(T). \quad (8)$$

Визначається не порожня, кінцева множина впливів Q , така, що її елементи $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ визначають, при використанні концептів таксономії T , множину наслідків ψ , яка дозволяє визначити множину причинно-наслідкових відношень $-A$, між множинами X , R и F , і які представлені відображенням виду:

$$Q \times X \Rightarrow \psi \times T \Rightarrow A. \quad (9)$$

На основі множинних відношень між концептами таксономій визначається область застосування інваріантних дій при формуванні станів взаємодії онтологічної системи. Особливу роль тут грає дія вибору. Цей онтологічний інваріант визначається функцією вибору $-F_{sel}(X)$, що задана над концептами, між якими визначено множинне бінарне відношення часткової впорядкованості $R_p \subseteq R$:

$$Q \times R_p = F_{sel}(X) \Rightarrow \psi \times T. \quad (10)$$

Функція вибору виду (10) детермінована і забезпечує формування таксономій, на основі використання відношення множинної впорядкованості і причинно-наслідкових зв'язків $-A$. Сам вибір може бути представлений наступними методами: скалярно-оптимізаційний, векторно-оптимізаційний, графо-домінантний.

Відношення між таксономічними категоріями мають властивості гіпервідношення Gr виду $-YGrx$, де Y – множина всіх можливих множин концептів X таксономічної категорії \tilde{T} , а x – один з концептів цієї множини.

Відношення упорядкованості на множині всіх концептів і їх можливих множин в структурі таксономічних категорій \tilde{T} онтологічної системи O_n може бути представлено уже описаними типами бінарних відношень типу (4)–(5), які можуть бути задані над множиною всіх концептів X . Така бінарна гіпервпорядкованість може бути визначена у вигляді множин бінарних упорядкованостей P і представлена у вигляді наступного виразу – $P = \{p_n\} n \in N$:

$$xy \Leftrightarrow \forall n \in N : xp_n y. \quad (11)$$

Множинне гіпервідношення, Gr , має наступні властивості, що характеризують його як бінарне:

– агіперциклічність – якщо для Gr не існує гіперциклічної множини $X \subseteq U$ такої, коли:

$$\forall x \in X \exists Y \subseteq X : YGrx; \quad (12)$$

– іррефлексивність:

$$YGrx \Rightarrow (Y / \{x\})Grx; \quad (13)$$

– гіпертранзитивність:

$$YGrx, x \in X, XGrz \Rightarrow ((Y \cup X) / \{x\})Grz; \quad (14)$$

– регулярність:

$$YGrx, Y' \supseteq Y \Rightarrow Y'Grx. \quad (15)$$

Властивості гіпервідношення Gr та множина причинно-наслідкових відношень \mathcal{A} – (9)–(10) забезпечують формування процедури виділення з множини концептів X не порожньої підмножини концептів $\{x\}$, що має властивість бінарного відношення часткової впорядкованості \tilde{p} , яке і пов'язує їх між собою.

$$YGrx \Rightarrow \exists y \in Y : y\tilde{p}x. \quad (16)$$

При цьому часткова впорядкованість є елементом множини бінарних впорядкованостей – P , яку може бути розширено до гіпервідношення Gr і тим самим визначено множинну упорядкованість над підмножинами концептів $\{x\}$ у вигляді множинного відношення «група об'єктів – група об'єктів», що має властивості (11)–(16):

$$YGrx \Leftrightarrow n \in N \exists y \in Y : y p_n x : p_n \in P \subseteq Gr. \quad (17)$$

Предикативні вирази, що формулюються на основі концептів таксономічної категорії із заданим множинним відношенням упорядкованості виду (6)–(7) і (9)–(11), приймають лише значення істинності. Це дозволяє формувати, на основі термінів-концептів онтології, лінгвістичні вирази, що осмислено відображають стани кожної онтологічної системи O_n .

Гіпервідношення Gr , задане над множинними бінарними відношеннями упорядкованості, що визначають таксономію, дозволяє представити предикативні вирази, що формулюються на основі її концептів із заданим множинним відношенням упорядкованості виду (11)–(17) у вигляді рекурсивного предиката:

$$Pr(x_1, \dots, x_n) = \begin{cases} 1, \neg Pr(YGrx_i) \wedge Pr(x_1, \dots, x_n) \\ 0, Pr(YGrx_i) \end{cases}, \quad (18)$$

де $x_i \in X; 1 \leq i \leq n$, наявність семантичної властивості задається умовою:

$$\Pr(x_1, \dots, x_n) = 0 \Rightarrow \exists T \subseteq \tilde{T} : \forall x \in X \exists Y \subseteq X : T = YGrx, \quad (19)$$

а існування визначається умовами (8)–(11).

Врахування властивостей множини причинно-наслідкових відношень – A (9)–(10), спільно з властивістю індуктивності рекурсивного предикату виду (18) і умов існування таксономії (3)–(5) і (9)–(10) дозволяє визначити умови стійкості онтологічної системи O_n . Ці умови визначаються типом відношень бінарної упорядкованості (11)–(17) і забезпечують незалежність значень характеристичної функції рекурсивного предиката (18) від послідовності контекстів індуктивного вибору. В складних системах, якими є онтології, виділяють наступні умови стійкості:

Умова спадкування:

$$\exists T' \subseteq T \Rightarrow \exists f(T') \supseteq f(T) \cap T', \quad (20)$$

Умова незалежності:

$$\exists f(T') \subseteq T' \subseteq T \Rightarrow f(T') = f(T)', \quad (21)$$

Умова згоди:

$$\bigcap_n f(T_n) \subseteq f(\bigcup_n T_n). \quad (22)$$

Таким чином, при використанні певних концептів онтології можливо виконувати підстановку множин висловлювань, які задаються на множині концептів онтології на підставі їх тематичних властивостей і бінарних відношень упорядкованості виду (16)–(17) і (19)–(22). При цьому всі зазначені концепти мають бути представлені у вигляді предикативного виразу (18).

Твердження 7. Якщо певна онтологія O_n формується на основі таксономії \tilde{T} , то завжди є певна не порожня множина істинних висловлювань $\{Pr(x_1, \dots, x_n)\}$, яка утворюється концептами x цієї онтології, за умови, що ці концепти пов'язані між собою бінарними відношеннями виду (3)–(5).

Побудова висловлювань з концептів реалізується на підставі кінцевих наборів правил з множин Rul , які визначають порядок застосування множинного відношення часткової впорядкованості \tilde{p} як над концептами з множини X , так і над семантичними відношеннями з множини R_{sem} . Також відношення \tilde{p} дозволяє нам формувати з концептів термінополя певні таксономії T , над концептами якої задається множинне бінарне відношення часткової впорядкованості, яке, по суті, повністю еквівалентне відношенню \tilde{p} .

Трансдисциплінарне представлення множин онтологій базується на перетворенні між двома гіпермножинами:

$$f^{ct} : R \rightarrow F, \quad (23)$$

де R, F – множини зв'язків і функцій інтерпретації певної онтології O .
Для множини онтологій можна побудувати гіпермножини:

$$\mathfrak{R} = \bigcup_i R_i, F = \bigcup_i F_i, \quad (24)$$

де i – індекс, що визначає певну онтологію $O_i = \langle X_i, R_i, F_i \rangle$.

На цих гіпермножинах можна побудувати зворотне до f^{ct} перетворення:

$$f'' : F \rightarrow \mathfrak{R}. \quad (25)$$

Тобто певний зв'язок між об'єктами різних за тематикою онтологій може бути представлений не пустою множиною інтерпретуючих функцій з даних онтологій.

Дане перетворення можна розширити і на множину неструктурованих текстів, застосувавши до кожного з текстів оператор редуції (26), який являє собою комбінацію чотирьох операторів, при цьому три оператори виконують кроки перетворення, а один виконує допоміжну функцію.

$$F_{rd} = F_{l*} \circ F_x \circ F_{smr} \circ F_{ct}, \quad (26)$$

де F_{l*} – оператор агрегації, що виконує допоміжну функцію, перетворюючи множину лексем L в множину конструктів L^* . Конструкти є особливою формою лексем і об'єднують в собі послідовності слів або символів, зокрема, словосполучення. Особливістю конструктів є те, що з точки зору подальшої обробки вони можуть розглядатись як лексеми (тобто як одне слово чи символ). Таким чином, множина $L \cup L^*$ може використовуватись у тих же випадках.

Розглянемо процедуру трансдисциплінарного представлення певної множини онтологій засобами інтерактивних документів. Дане представлення базується на функції (27).

З врахуванням даних особливостей функція контекстної зв'язки матиме вигляд:

$$Q_c(x) = \bigcup_{l \in L_x} Q_S(Q_l(C), l), \quad (27)$$

де C – множина документів, що представляє інформаційне середовище, в рамках якого здійснюється зв'язка;

x – об'єкт, з яким здійснюється зв'язка;

L_x – текстове представлення контексту x ;

l – певна лексема.

Основним недоліком функції (27) є те, що в її результаті формується неупорядкована множина документів, яка може бути достатньо великою за розміром і тому незручною для обробки експертом. Вирішити цю проблему можна двома способами:

1) Задати на множині результатів відношення порядку, в якості якого може виступити відношення релевантності R_{rel} :

$$T_1 R_{rel} T_2 \Rightarrow card(L_{T_1} \cap L_x) > card(L_{T_2} \cap L_x), \quad (28)$$

де L_{T_1}, L_{T_2} – текстові представлення документів T_1, T_2 ;

L_x – контекст об'єкта x , з яким була здійснена контекстна зв'язка.

2) Виключити з результату документи, що мають недостатню релевантність, за допомогою застосування у функції (27) операції перетину замість операції об'єднання.

Для його здійснення необхідно виконати трансдисциплінарне перетворення за допомогою функції:

$$Q_{\Pi}(C) = \bigcup_{x \in X_C} \{Q_C(x)\}, \quad (29)$$

де C – множина онтологій;

X_C – множина об'єктів, що належать об'єднанню онтологій $\bigcup_{O \in C} O$.

Застосування функції $Q_C(x)$ формує множину об'єктів з різних онтологій, що представляє певне гіпервідношення між відповідними об'єктами. За допомогою сформованих таким чином гіпервідношень можна побудувати трансдисциплінарне представлення O' множини онтологій $C = \{< X_i, R_i, F_i >\}$:

$$C \xrightarrow{Q_{\Pi}} < \bigcup_i X_i, \bigcup_i R_i \cup Q_{\Pi}(C), \bigcup_i F_i >. \quad (30)$$

Перетворення (30) задає найбільш повне представлення наявної в C інформації, що не завжди зручно. Часто необхідно виконати представлення однієї вибраної онтології O . В такому випадку (29) необхідно змінити:

$$Q_{TO}(O, C) = \bigcup_{x \in X_O} \{Q_C(x)\}, \quad (31)$$

де C – множина онтологій;

X_O – множина об'єктів, що належать онтології O .

Для побудови систем, що використовують трансдисциплінарне представлення інформації, важливими є такі твердження:

Твердження 8. На основі однієї онтології O , що належить множині документів C , можна сформувати довільну кількість НС.

Твердження 9. Комбінація незалежних натуральних систем SN_i , що приймають на вхід один і той же набір «дій», є натуральною системою.

Усі трансдисциплінарні перетворення являють собою композицію операторів. Кожен з них виконує один крок перетворення. Повний цикл даного перетворення структурує частину інформації, що міститься у вхідному тексті, після чого перетворення рекурсивно викликається заново, доки не буде виділена вся інформація. Однак кожна зі складових оператора редукції також може бути розбита на складові.

У загальному випадку оператор виконання перетворення F задається базою правил G_R виконання даного перетворення. Правило $g \in G_R$ має уніфіковану для всіх етапів структуру:

$$g = \langle f_{ap}^g, f_{ir}^g \rangle, \tag{32}$$

де f_{ap}^g – функція застосовності, що визначає, чи може правило бути застосоване до певного набору вхідної інформації;

f_{ir}^g – функція перетворення, що задає перетворення вхідної інформації.

Задане правилом g перетворення $F_g : X \rightarrow Y$ має вигляд (33).

$$F_g(x) = \begin{cases} f_{ir}^g(x), f_{ap}^g(x) \\ x, \neg f_{ap}^g(x). \end{cases} \tag{33}$$

Кожна функція застосовності являє собою лямбда-терм виду [5–7]:

$$f_{ap} = (\lambda x_1, x_2 \dots x_{n_g}. t_{ap}(x)) a_1, a_2 \dots a_{n_g} = t_{ap}(a_1, a_2 \dots a_{n_g}), \tag{34}$$

де запис λx вказує, що дана конструкція являється λ -термом;

x_i – змінна, що приймає значення на множині $L \cup L^*$;

a_i – аргумент функції, що задає значення x_i ;

n_g – кількість аргументів, що повинні бути подані на вхід функції перетворення;

t_{ap} – умова застосовності, вираз, що містить n_g змінних.

В загальному випадку умова застосовності t_{ap} означає існування гомеоморфізму між орієнтованим графом, утвореним вхідною послідовністю лексем (а також синтаксичними зв'язками між ними), і певним еталонним орієнтованим графом G_{ap} , що являє собою вибраний користувачем підграф первинного представлення T_{sn}^e певного тексту. В якості T_{sn}^e може виступати первинне представлення як поточного тексту T_{sn} , так і будь-якого іншого тексту (наприклад, тезауруса ПдО). Умова має структуру (35) і складається з *предикатів ідентифікації* [8–10]. Такі предикати дозволяють ідентифікувати

контексти певної лексеми і на основі цього робити висновок про необхідність або відсутність необхідності виконання перетворення. Кожен з предикатів задає певну умову, і умовою застосовності правила є виконання всіх умов, заданих кожним з предикатів. Кількість предикатів у виразі задає число n_g .

$$t_{ap} = c_{p_1}(x_1) \& \dots c_{p_n}(x_{n_g}) \& r_{k_{11}}(x_1, x_1) \& \dots r_{k_{n_g n_g}}(x_{n_g}, x_{n_g}). \quad (35)$$

Одномісні предикати, присутні у виразі – це предикати ідентифікації лексем. Такий предикат задає умову, якій повинна відповідати певна лексема (або конструкт) з вхідної множини. Предикат має структуру (36).

$$c_p(l) = \begin{cases} 1, p = 0 \vee p = l^T \vee p \in P_l \\ 0, p \neq 0 \wedge p \neq l^T \wedge p \notin P_l \end{cases} \quad (36)$$

Робота такого предикату залежить від *шаблонного параметра* p . У залежності від типу даного параметра предикат може бути:

1) Стандартним предикатом ідентифікації. У такого предиката p – це морфологічна характеристика лексеми. Такий предикат визначає, чи має вхідна лексема задану характеристику ($p \in P_l$).

2) Предикатом ідентифікації ключових слів. У таких предикатів p – це текстове представлення необхідної лексеми, і це значення порівнюється зі значенням вхідної ($p = l^T$). Даний предикат завжди має значення 0 для конструктів.

3) Нульовий предикат ($p = 0$). Такий предикат завжди має значення 1, незалежно від поданої на вхід лексеми.

Двомісний предикат – це предикат ідентифікації зв'язків. Такий предикат визначає, чи міститься між двома заданими лексемами зв'язок заданого типу. Предикат має вигляд (37).

$$r_k(l_1, l_2) = \begin{cases} 1, k = 0 \vee \langle l_1, l_2, k \rangle \in R_{sn} \\ 0, k \neq 0 \wedge \langle l_1, l_2, k \rangle \notin R_{sn} \end{cases} \quad (37)$$

Як і предикат ідентифікації лексем, даний предикат має нульову модифікацію, яка має значення незалежно від вхідних даних. При цьому для коректного використання умови (35) повинна виконуватись задана структурою лексичного аналізатора умова:

$$k_{ij} = 0, i = j \quad (38)$$

База правил задає перетворення F , що має вигляд:

$$F_G(L) = \bigcup_{\tilde{L} \in P(L)} \bigcup_{g \in G} F_g^*(\tilde{L}), \quad (39)$$

де $P(L)$ – множина всіх підмножин L ;

F_g^* – модифікована функція (33), доповнена додатковими умовами.

Додаткових умов накладається дві:

Умова порядку означає, що всі елементи вхідної підмножини повинні бути лінійно впорядковані певним відношенням строгого порядку G , і має вигляд:

$$f_{ord}(x) = \begin{cases} 1, \forall x_1, x_2 \in x, x_1 \prec x_2 \vee x_2 \prec x_1 \\ 0, \exists x_1, x_2 \in x, x_1 \in x_2 \wedge x_2 \in x_1. \end{cases} \quad (40)$$

Відношення порядку, що можуть використовуватись в якості G :

- 1) Відношення слідування \prec ;
- 2) Транзитивне замикання відношення R ;
- 3) Транзитивне замикання відношення, заданого зв'язками R_{sem} .

Умова узгодженості f_{ap+}^g визначає, чи є даний елемент $\tilde{L} \in P(L)$ придатним для обробки правилом g :

$$f_{ap+}^g(x) = \begin{cases} 1, card(x) = n_g \\ 0, card(x) \neq n_g. \end{cases} \quad (41)$$

З урахуванням даних умов перетворення (33) перетворюється на F_g^* :

$$F_g^*(x) = \begin{cases} f_{tr}^g(x) & , f_{ord}(x) \wedge f_{ap+}^g(x) \wedge f_{ap}^g(x) \\ x & , \neg f_{ord}(x) \vee \neg f_{ap+}^g(x) \vee \neg f_{ap}^g(x). \end{cases} \quad (42)$$

Вказані представлення перетворення текстів є зручнішими для користувача, оскільки їх легше представляти в текстовій формі. Вирази (23)–(42) фактично накладають певні умови на топологію графової структури, сформованої вхідною множиною і зв'язками між її елементами кожного текстового документу. Оскільки як конструкти, так і концепти в рамках виконуваних над ними операцій можуть розглядатись як аналог лексем, то і сформована ними графова структура може розглядатись як аналог структури, сформованої лексемами, а саме – первинної структури тексту. Важливим наслідком даного факту є те, що користувачу легко розробити процедуру автоматизованого створення, оскільки така процедура зводиться до простої в реалізації функції вибору довільного контексту. Важливо зазначити, що може використовуватись і первинна структура тексту, що обробляється – тобто формування інтерактивного документу може виступати в ролі додаткового кроку після синтаксичного аналізу і перед агрегацією довільної текстової структури.

Іншим важливим наслідком існування гомоморфізму між первинною структурою тексту і структурою інформації, що з нього виділяється, є можливість побудови спеціалізованої НС NS' , призначеної для роботи не з об'єктами онтології, а лексемами первинної структури [10]. Побудований на її основі інтерактивний документ $\langle T_{sn}, NS' \rangle$ може використовуватися для формування довільної мережевої інформаційної системи.

Висновок

Таким чином, трансдисциплінарна структуризація мережевої інформації створює технологічні умови щодо реалізації контекстної зв'язності між усіма концептами-поняттями, які формують термінополе користувача та визначають кожен мережевий інформаційний документ. І вже вузли онтографу, що представляють цю зв'язність, відображають усі стани інтерактивної взаємодії з множиною мережевих документів, які використовуються у процесі розв'язання конкретної задачі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Стрижак О. Є. Трансдисциплінарна інтеграція інформаційних ресурсів: дис. д-ра техн. наук. К., 2014. 470 с.
2. Стрижак А. Е. Инвариантные задачи онтологических систем. *INFORMATION TECHNOLOGIES & KNOWLEDGE*, 2014. №. 8. С. 356–360.
3. Трансдисциплінарне представлення інформації за допомогою інтерактивних документів / О.П. Мінцер, В.В. Приходнюк, О.Є. Стрижак О.М. Шевцова // Медична інформатика та інженерія, Випуск 1 (41), 2018 – С. 47–52.
4. Малишевский А. В. Качественные модели в теории сложных систем. – М.: Наука. Физматлит. 1998. – 528 с.
5. Величко В. Ю., Приходнюк В. В. Деякі способи виділення відношень між термінами в природномовному тексті. *Системний аналіз та інформаційні технології*: зб. наук. праць за матеріалами XV конференції (м. Київ, 27–31 травня 2013 р.). К. : НТУУ «КПІ», 2013. С. 406.
6. Величко В. Ю., Сирота С. В., Приходнюк В. В. Інструментарій автоматизованого виділення відношень з текстів технічної тематики. *Системний аналіз та інформаційні технології*: зб. наук. праць за матеріалами XVI конференції (м. Київ, 26–30 травня 2014 р.). К. : НТУУ «КПІ», 2014.
7. Приходнюк В. В. Автоматизоване формування електронних шарів геоінформаційних систем на основі структурованої і неструктурованої інформації. *Геоінформаційні технології в територіальному управлінні*: зб. наук. праць за матеріалами XIII міжнар. наук.-практ. конф. (м. Одеса, 17–18 вересня 2015 р.). Одеса : Одеський регіональний інститут державного управління [та ін.], 2015. С. 73–76.
8. Величко В. Ю., Приходнюк В. В. Спосіб автоматизованого виділення відношень між термінами з природномовних текстів технічної тематики. *Knowledge – Dialogue – Solution* : Збірник праць XX міжнародної конференції. К. : ІТНЕА, 2014. С. 27–28.
9. Приходнюк В. Таксономизация естественно-языковых текстов. *Information Models and Analyses*, 2016. №. 5. С. 270–284.
10. Приходнюк В. В., Стрижак О. Є. Онтологічна ГІС, як засіб впорядкування геопросторової інформації. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, 2017. №. 2(27). С. 167–174.

Стаття надійшла до редакції 22.08.18.

АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 004.942 ; 626/627 ; 504.05

Д.В. СТЕФАНИШИН

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ГІДРОАКУМУЛЯЦІЇ В КОНТЕКСТІ РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

***Анотація.** Проаналізовано сучасний стан, проблеми та перспективи гідроаккумуляції у світовій та вітчизняній електроенергетиці. Відмічено особливості розвитку відновлюваної електроенергетики, що використовує альтернативні джерела енергії (сонячної, вітрової), та традиційної гідроенергетики в країні за рахунок будівництва нових гідроелектростанцій. Обґрунтовано роль гідроаккумуляції як одного зі стратегічних напрямків розвитку вітчизняної електроенергетики, зокрема, гідроенергетики, в контексті її екологізації та раціонального природокористування.*

***Ключові слова:** відновлювана електроенергетика, гідроаккумуляція, гідроаккумуляюча електростанція, гідроелектростанція, гідроенергетика, довкілля, екологізація, раціональне природокористування.*

Вступ

У схваленій Урядом в 2016 р. «Програмі розвитку гідроенергетики на період до 2026 року» [1] відмічається, що на сьогодні в об'єднаній енергетичній системі (ОЕС) України реально існує лише дефіцит резервів потужності автоматичного вторинного регулювання. При цьому вказується, що ефективним способом забезпечити наявність швидкозастартуючого резерву потужності у вітчизняній ОЕС є перепрофілювання гідроенергетики з добового регулювання на вторинне регулювання частоти/потужності, для чого перспективним є будівництво гідроаккумуляючих електростанцій (ГАЕС). Останні, як відомо [2–4], забезпечують значно більші можливості регулювання графіка навантаження в ОЕС, у більш широкому діапазоні, ніж, наприклад, традиційні гідроелектростанції (ГЕС) (табл. 1).

© Д.В. Стефанишин, 2018

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика маневрених якостей основних типів електростанцій [2]

Тип електростанцій	Технічний мінімум навантаження, у %	Діапазон регулювання, у %	Час набору повної потужності, хв	
			Після зупинки	З «гарячого» стану
Атомні	85-90	10-15	390-660	60
Теплові (вугілля, мазут)	70-80	20-30	90-180	20-50
Газотурбінні	0	100	15-30	0,5
ГЕС	0	100	1-2	0,25-0,5
ГАЕС	0	200	1-2	0,25-0,5

Зокрема, ГАЕС здатні здійснювати відбір надлишкової потужності з ОЕС та ефективну акумуляцію енергії (табл. 2) у великих об'ємах (на ГАЕС нині припадає майже 99% від ємності акумуляторів всіх типів), забезпечуючи таким чином подвійне регулювання потужності в ОЕС (табл. 1).

Таблиця 2 – Коефіцієнт корисної дії (ККД) різних технологій акумуляції електроенергії [3]

Технологія акумуляції електроенергії	ККД, %
Літій-іонні акумулятори	90-95
Свинцево-кислотні акумулятори	80-90
Гідроакумуляція (ГАЕС)	75-80
Ванадієві відновно-окислювальні акумулятори	~ 75
Нікель-кадмієві, нікелеві метало-гідридні акумулятори	70
Повітряно-компресорні акумулятори адіабатичної дії	< 70
Повітряно-компресорні акумулятори	42-54
Водневі акумулятори	< 40

Зважаючи на переважаючу долю в балансі ОЕС країни атомної та теплової енергетики, яка на разі сягає 90% і більше (близько 50% – атомна енергетика, до 40% – тепла електрогенерація), та прискорений розвиток в країні альтернативних видів відновлюваної електроенергетики – насамперед сонячної та вітрової [5], з їх обмеженими можливостями щодо регулювання, перед гідроакумуляцією відкриваються нові перспективи, зокрема і в контексті усталеного розвитку вітчизняної гідроенергетики [6].

1. Історія розвитку та сучасний стан гідроакумуляції у світі та в Україні

Гідроакумуляція не є новітньою технологією накопичення і збереження електроенергії. Перші ГАЕС (в Італії і Швейцарії) з'явилися ще в кінці позаминулого століття. Однак широке будівництво ГАЕС почалося лише в другій половині ХХ ст., коли стали вводиться в експлуатацію потужні теплові та атомні електростанції з великими агрегатами [2]. І якщо на початку ХХ ст. в світі працювало лише чотири ГАЕС, то на початку 60-х років їх налічувалося вже 72, а до 2010 р. їх кількість досягла 460 [4]. У 1970 р. сумарна потужність ГАЕС складала 16 млн кВт, у 1985 р. – вже більш 40 млн кВт,

а у 2000 р. у світі експлуатувалося більше 350 ГАЕС сумарною потужністю близько 125 млн кВт [2]. На 2011 р. загальна потужність ГАЕС у світі досягла 127 ГВт [7].

На кінець 2010-х рр. найбільша доля встановленої потужності ГАЕС була в країнах Європейського Союзу, де їх потужність на 2009 р. склала 38,3 ГВт (36,8% від світової) при 140 ГВт загальної потужності від гідрогенерації і майже 5% від потужності всіх електростанцій Союзу [8]. Серед світових лідерів за потужністю ГАЕС слід відзначити також Японію і США [8].

На разі у світі налічується 63 ГАЕС встановленою потужністю від 1000 МВт. Серед них 14 мають потужність від 1500 МВт (табл. 3). Дев'ять ГАЕС добудовуються (табл. 4), серед яких і вітчизняна Дністровська ГАЕС, яка має стати шостою за потужністю ГАЕС в світі.

Таблиця 3 – Перелік ГАЕС, встановлена потужність яких складає 1500 МВт і більше [9]

ГАЕС	Країна	Потужність, МВт	Рік введення в експлуатацію
Bath County	США	3003	1985
Huizhou	Китай	2448	2011
Guangdong	Китай	2400	2000
Okutataragi	Японія	1932	1974
Ludington	США	1872	1973
Tianhuangping	Китай	1836	2000
Grand Maison	Франція	1800	1985
La Muela II	Іспанія	1772	
Dinorwig	Велика Британія	1728	1984
Raccoon Mountain	США	1652	1978
Mingtai	Тайвань	1602	1994
Okukiyotsu	Японія	1600	1996
Castaic	США	1566	1973
Tumut-3	США	1500	1973

Таблиця 4 – Перелік ГАЕС, що добудовуються, потужність яких складатиме 1000 МВт і більше [9]

ГАЕС	Країна	Потужність, МВт	Рік завершення будівництва
Fengning	Китай	3600	2019
Kannagawa	Японія	2820	2020
Дністровська	Україна	2268	2026
Jixi	Китай	1800	2018
Liyang	Китай	1500	2016
Huanggou	Китай	1200	2019
Upper Cisokan	Індонезія	1040	2018
Linth-Limmern	Швейцарія	1000	2015
Tehri	Індія	1000	2016

Слід відзначити високу зацікавленість більшості країн світу в прискореному будівництві ГАЕС – в тому числі зумовлену бурхливим розвитком альтернативної відновлюваної електроенергетики, насамперед, – сонячної і вітрової. Будівництво нових ГАЕС ведеться не лише в країнах, де рівень освоєння економічно ефективного гідроенергетичного потенціалу (ЕЕГЕП) вже давно вичерпаний або перевищив 80% (Франція, США, Іспанія, Німеччина, Японія, Італія, Швейцарія) і де практично відсутні прийнятні створи для розміщення нових ГЕС, а й в країнах, де ЕЕГЕП є ще далеким від вичерпання (Росія, Китай, Норвегія, Канада та ін.) і де існує багато привабливих створів для будівництва нових потужних ГЕС [10, 11].

В Україні натеper працює три великі ГАЕС: Київська ГАЕС – перша в Україні і на території країн колишнього СРСР, яку було введено в експлуатацію в 1972 р. [12]; експлуатуються і будуються Дністровська і Ташлицька ГАЕС [1]. Основні водноенергетичні характеристики Київської, Дністровської та Ташлицької ГАЕС наведено нижче в табл. 5. Основними функціями вітчизняних ГАЕС є регулювання частоти і графіка навантажень в ОЕС країни та формування надійного аварійного резерву електроенергії.

Таблиця 5 – Основні проектні та експлуатаційні водноенергетичні характеристики діючих ГАЕС України

Характеристики	Од. вимір.	Київська ГАЕС	Дністровська ГАЕС *	Ташлицька ГАЕС **
1	2	3	4	5
Максимальний напір	м	74,0	154,9	85,5 (88,5)
Встановлена потужність:				
а) у генераторному режимі	МВт	234,5	972 (2268)	302 (906)
б) у насосному режимі		120	1263 (2947)	633 (1266)
Річний виробіток електроенергії	млн кВт-г	200	1165,5 (2720)	370 (873)
Річні витрати електроенергії на заряд (акумуляцію)	млн кВт-г	290	1546,5 (3609)	510 (1178)
Тривалість роботи:				
а) в турбінному режимі	годин	3	4	
б) в насосному режимі		7	4,4	
Кількість агрегатів	шт	6	3 (7)	2 (6)
Склад основного устаткування:				
а) насос-турбіна	шт	3	3 (7)	2 (6)
б) турбіна		3	-	-
Об'єм верхньої водойми:				
а) повний	млн м ³	4,79	38,8	19,34 (24,42)
б) корисний		3,79	32,7	9,3 (14,4)
Площа дзеркала верхньої водойми:				
а) при НПП	га	72	273	1,37 (1,54)
б) при РМО		57	250	
Об'єм нижньої водойми:				
а) повний	млн м ³	3730	70,1	62,03 (72,43)
б) корисний		1170	60,0	20,8 (26,10)

Продовження табл. 5

1	2	3	4	5
Рівні води у верхній водоймі:				
а) НІПР	М	174,0	229,5	99,5 (103,0)
б) РМО		168,0	215,5	92,0 (92,0)
Рівні води у нижній водоймі:				
а) НІПР	М	103,0	77,1	16,0 (16,9)
б) РМО		101,5	67,6	14,0 (14,5)

В дужках вказано:

* характеристики Дністровської ГАЕС після введення ГАЕС на повну потужність;

** характеристики Ташлицької ГАЕС після розконсервації агрегатів 4-6 та введення ГАЕС на повну потужність.

Сумарна встановлена потужність діючих ГАЕС в Україні наразі становить: в генераторному режимі – 1508,5 МВт; насосному (на акумуляцію) – 2016 МВт. Для порівняння, лише одна ГАЕС Віанден у Люксембурзі [9] має встановлену потужність в генераторному режимі 1296 МВт та 1040 – в насосному режимі. Будівництво цієї ГАЕС розпочалося ще в 1963 р., проводилось кількома чергами, з модернізацією напірних гідроспоруд верхового басейну в 2010 р., і закінчилось лише в 2014 р. У Франції, де ЕЕГЕП вичерпано майже на 100% [6, 10, 11], нові гідрогенеруючі потужності складає гідроакумуляція на базі діючих високонапірних дериваційних ГЕС, які модернізуються в ГЕС-ГАЕС. При цьому реконструюються об'єкти різної потужності. Серед них, наприклад. ГЕС-ГАЕС Гранд-Мезон (потужність в генераторному режимі – 1800 МВт, в насосному – 1200 МВт); Пуже (377 МВт – турбінний режим, 35 МВт – насос-турбіна); Валорсін (189 МВт – турбінний режим, 40 МВт – насосний режим); Вуглан (76 МВт – турбінний режим, 64 МВт – насосний режим); Сент Хелен (75 МВт – турбінний, 80 МВт – насосний режими); Віє Пре (8,6 МВт – турбінний режим, 11,8 МВт – насосний режим). З європейських країн модернізовані ГЕС-ГАЕС експлуатуються у Австрії (18 подібних об'єктів), Німеччині (8 об'єктів), Швейцарії (15 об'єктів), Італії (19 об'єктів), Іспанії (14 об'єктів), Португалії (9 об'єктів), а також в Норвегії, Чехії, Румунії, Швеції, Польщі (3 об'єкти), Великій Британії.

У найближчих планах розвитку гідроенергетики в Україні, згідно з Програмою [1], розглядається добудова Дністровської і Ташликської ГАЕС (табл. 5), а також будівництво Канівської ГАЕС встановленою потужністю 1000 МВт. Доцільність переорієнтації вітчизняної гідроенергетики на гідроакумуляцію було підтверджено і результатами проведених нами досліджень перспектив розвитку Дніпровського каскаду з врахуванням ризику невикористаних можливостей, виконаних в 2010 р. [13], де, зокрема, показано вигідність першочергового будівництва Канівської ГАЕС в порівнянні з будівництвом Каховської ГЕС-2 на базі вже існуючих гідроспоруд Каховського гідровузла. Наступні дослідження показали [14], що найбільш доцільним сценарієм уведення нових потужностей гідрогенерації на ГАЕС в Україні при реалізації Програми [1], який дозволяє мінімізувати сукупний ризик включно з ризиком невикористаних можливостей, є сценарій,

за яким на першому етапі рекомендується зосередити зусилля на введенні четвертого агрегату на Дністровській ГАЕС, на другому – на будівництві Канівської ГАЕС, що також підтверджує перспективність першочергового розвитку гідроакумуляції в країні в порівнянні з будівництвом найбільш перспективної з нових ГЕС – Каховської ГЕС-2.

2. Аналіз проблем вітчизняної гідроенергетики в контексті раціонального природокористування та екологізації електроенергетики

Як відомо, згідно із прийнятою Урядом Енергетичною стратегією України до 2035 р. «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», від 2017 р. [15], основні положення якої було сформульовано ще в 2006 р. та уточнено в 2013 р., серед основних умов сталого розвитку електроенергетики країни та успішної інтеграції її ОЕС з ОЕС Європейського Союзу розглядається прискорений розвиток відновлюваної енергетики. Серед основних цілей цієї стратегії виділяється екологізація електроенергетики, що планується досягти за рахунок зменшення викидів парникових газів [5, 15].

При цьому гідроенергетиці в структурі вітчизняної відновлюваної електроенергетики виділено одну з ключових ролей [15-17]. Зокрема, в Програмі [1], окрім введення нових потужностей на Дністровській, Ташлицькій ГАЕС, будівництва Канівської ГАЕС, передбачено будівництво Каховської ГЕС-2 (встановленою потужністю 250 МВт), каскаду з шести нових ГЕС на Дністрі (так званого Верхньодністровського каскаду ГЕС, сумарною потужністю 390 МВт) та розвиток малої гідроенергетики.

Однак, як показує світова практика, традиційна гідроенергетика та пов'язане з нею гідротехнічне будівництво здійснюють суттєвий вплив на навколишнє середовище [18, 19]. Зокрема, це визнається в Директивах Євросоюзу [17], де підкреслюється, що хоча гідроенергетика і використовує відновлюваний енергоресурс та сприяє енергозбереженню, вона може мати значний негативний вплив на довкілля, водні екосистеми та екопослуги, як на локальному, так і на басейновому рівні. При цьому різного роду компенсаційні заходи – екологічного та соціального спрямування, що мають впроваджуватися в обов'язковому порядку, не завжди, як показує практика, виявляються ефективними. В значній мірі це стосується і вітчизняної гідроенергетики – як великої, так і малої [6, 18-24].

Серед ключових проблем, що не сприяють сталому розвитку вітчизняної гідроенергетики в контексті раціонального природокористування та екологізації електроенергетики, слід виділити наступні [6, 20-24].

1. Порівняно невеликі запаси гідроенергоресурсів, як в абсолютних, так і відносних показниках. Сумарний ЕЕГЕП річок України, на який орієнтуються вітчизняні гідроенергетики у своїх планах, порівняно з іншими країнами, де він активно освоювався і освоюється, є одним з найнижчих у світі [6, 21]. Наша країна не лише обділена ресурсами гідрогенерації; їх освоєння, через відносно малу «щільність» ресурсу (до площі території), потенційно може пов'язуватися з більшими негативними наслідками.

Так, наприклад, значення питомого ЕЕГЕП річок Закарпатської області, що є найбільшим в країні, по відношенню до площі території області, складає, за даними [25], близько 0,11 млрд кВт-годин/км². Це менше ніж для всієї території Франції – 0,13 млрд кВт-годин/км², майже вдвічі менше ніж

для всієї території Швеції – 0,2 млрд кВт·годин/км², і не йде в ніяке порівняння з показниками Норвегії, Австрії, Швейцарії – 0,47 млрд кВт· годин/км², 0,64 та 0,86 млрд кВт·годин/км², відповідно.

Реальна оцінка ЕЕГЕП, яким володіють вітчизняні річки, можливо, є й гіршою, якщо адекватно врахувати всі соціальні, економічні та екологічні втрати та шкоду від будівництва ГЕС, які, через переважно рівнинний характер, порівняно невеликі перепади висот та відносно малу водність річок, що протікають територією країни, як великі, так і малі, мають у своєму складі водосховища зі значною площею водної поверхні [23]. При цьому саме з водосховищами та регулюванням стоку річок пов'язується більшість негативних впливів гідроенергетики на довкілля [18, 19, 26-28].

2. Висока ресурсоемність вітчизняних ГЕС. За такими показниками, як відношення площі водосховища до встановленої потужності, виробітку електроенергії, напору на ГЕС, які опосередковано можуть вказувати на рівень використання природних (в першу чергу територіальних) ресурсів, більшість вітчизняних ГЕС жодним чином не здатні конкурувати, наприклад, з ГЕС Австрії, Франції, Фінляндії. Так, на 1 МВт встановленої потужності на Каховській ГЕС припадає більше 6 км² площі водосховища [21]. Єдиною ГЕС в країні, яка за цими показниками наближається до аналогічних ГЕС Фінляндії, Австрії і Франції, є лише Дністровська ГЕС-2 (0,15 МВт/км²).

На рис. 1, 2 показано, що існує тісний регресійний зв'язок між встановленою потужністю і виробітком електроенергії і площею водосховищ на вітчизняних ГЕС, на відміну від ГЕС Австрії, Франції, Фінляндії. При цьому, якщо більшість ГЕС Австрії і Франції розташовуються в гірській місцевості, то ГЕС Фінляндії, як і вітчизняні, – на рівнинних ріках.

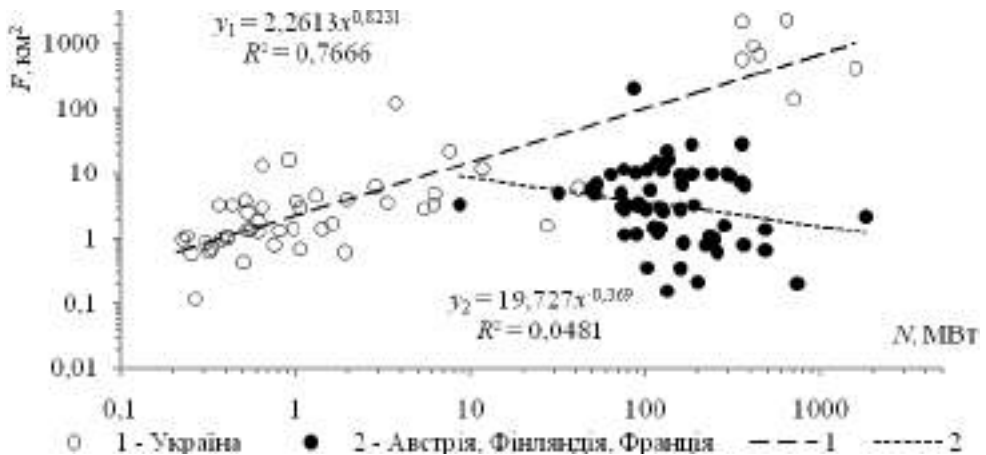


Рисунок 1 – Зв'язок між площею F , км², водосховищ та встановленою потужністю N , МВт, ГЕС (побудовано за даними [23])

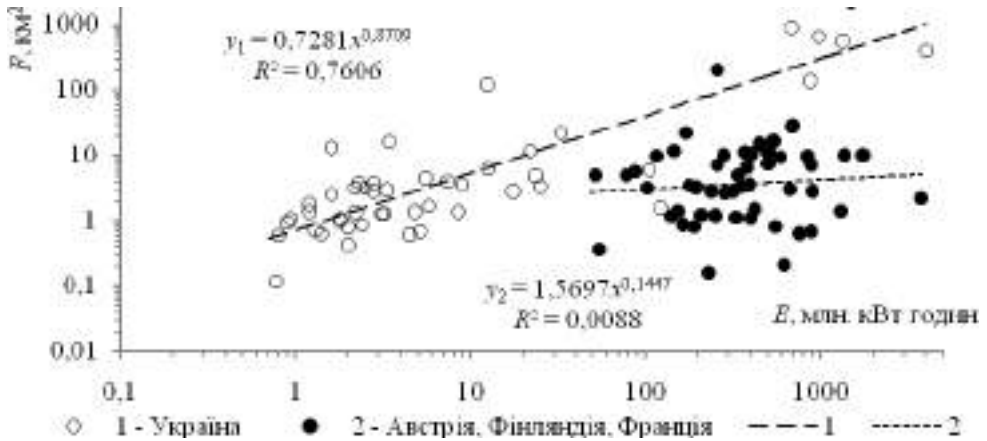


Рисунок 2 – Зв’язок між площею F , км^2 , водосховищ та виробітком електроенергії E , млн кВт-годин, на ГЕС (побудовано за даними [23])

Таким чином, якщо зв’язку між встановленою потужністю ГЕС Австрії, Франції, Фінляндії і виробітком електроенергії на них та площею водосховищ не існує, то для вітчизняних ГЕС він є досить суттєвим. Опосередковано це може свідчити про відносно більший в порівнянні з цими країнами негативний вплив вітчизняної гідроенергетики на річки і довкілля.

3. Кількість годин використання встановлених потужностей T гідрогенерації в Україні, за даними на 2000 р. [6, 10, 13, 21], була однією з найнижчих в світі і складала всього 2072 годин/рік. В 2015 р. вона навіть знизилася до 1814 годин/рік [1]. Це означає, що вітчизняні ГЕС працюють, переважно, в піковому і напівпіковому режимах і виконують функцію регулятора в ОЕС, тобто ту функцію, яку краще мали б виконувати ГАЕС. У випадку руслових ГЕС, до яких відносяться практично всі вітчизняні станції, такі режими є найбільш шкідливими для природних екосистем річок.

На рис. 3, для ілюстрації проблеми, показано зв’язок між T (годин/рік) та долею гідроенергетики в енергобалансі для різних країн світу. Можна зауважити, що зі збільшенням долі гідроенергетики в енергобалансі існує помітна тенденція до зростання кількості годин використання встановлених потужностей гідрогенерації. Сподіватися на відчутне збільшення в найближчі роки долі гідроенергетики в ОЕС України (до 15%, заявлених в Програмі [1], в 2026 р.) дуже важко, однак, якщо воно все-таки відбудеться, то Україна або має кардинально змінити режими роботи вже діючих ГЕС, збільшивши кількість годин використання їх встановленої потужності та виробіток, або взагалі випаде зі загальносвітової тенденції раціонально (більш інтенсивно) використовувати встановлені потужності гідрогенерації.

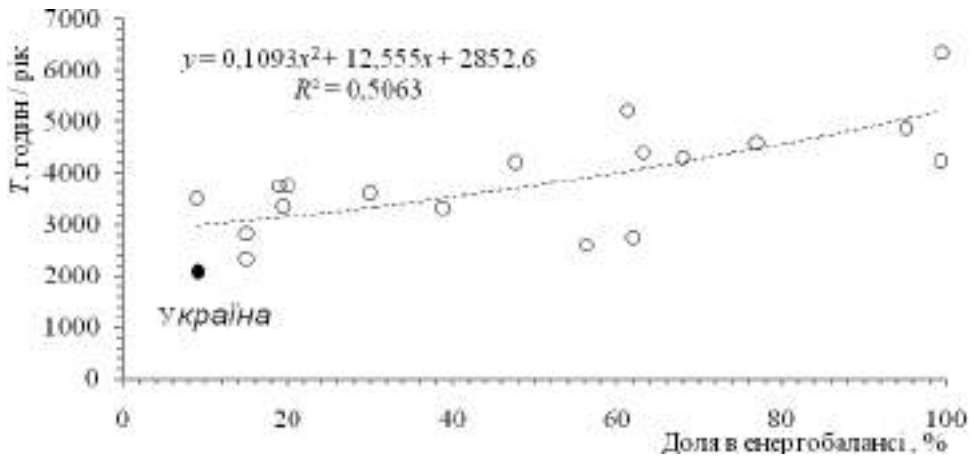


Рисунок 3 – Зв’язок між кількістю годин T використання встановленої потужності гідроенергетики, годин/рік, та долею гідроенергетики в енергобалансі різних країн світу, % (побудовано за даними [21])

Реальні плани вітчизняних гідроенергетиків поки що свідчать про зворотне. Так, згідно із заявленими в Програмі [1] планами будівництва та експлуатації Каховської ГЕС-2 та Верхньодністровського каскаду ГЕС очікується, що кількість годин використання встановлених потужностей в країні на 2026 р. в середньому складатиме біля 1965-1975 годин/рік. Це означає, що про можливі зміни у вітчизняній гідроенергетиці в контексті раціонального природокористування та його екологізації говорити зарано.

Про негативні тенденції у вітчизняній гідроенергетиці може свідчити ще один важливий факт, пов’язаний з використанням встановлених потужностей на ГЕС різного типу – руслових і дериваційних. Більшість малих ГЕС, які в останні роки було побудовано і будуються, особливо в Карпатському регіоні, – дериваційні. При цьому фактична чи планована кількість годин використання встановленої потужності на них нерідко перевищує 4000-5000 годин/рік. Якщо у випадку руслової ГЕС велика кількість годин використання встановленої потужності протягом року може, в цілому, розглядатися як позитивний для довкілля фактор, то у випадку дериваційної ГЕС, тим більше на гірській річці – навпаки, як негативний. Відбір води в деривацію, чи то в тунель, чи в «трубу», чи в канал – це завжди забір води з живого русла в мертво русло.

Дуже показовими в цьому відношенні можуть бути дані, які наведено на рис. 4. Якщо для ГЕС Австрії, Фінляндії та Франції, незалежно від типу, існує помітний регресійний зв’язок між кількістю годин T , годин/рік, використання встановленої потужності та напором H , м (за одних і тих же умов дериваційні ГЕС, зазвичай, мають більший розрахунковий напір, ніж руслові), то для вітчизняних ГЕС він повністю відсутній.

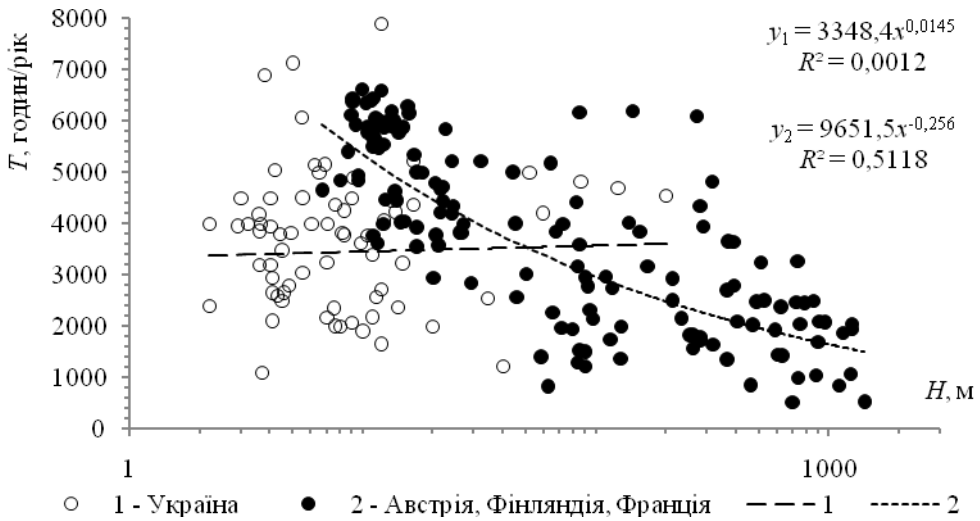


Рисунок 4 – Зв'язок між кількістю годин T використання встановленої потужності ГЕС, годин/рік, та розрахунковим напором H , м (побудовано за даними [8, 10, 11, 23, 29])

Можна зробити висновок, що для вітчизняних руслових ГЕС, потужність і виробіток електроенергії на яких в значній мірі залежать від витрат води, основні соціально-екологічні проблеми можуть пов'язуватися з регулюванням стоку і його надмірним затримуванням водосховищами. Відповідно, негативні наслідки впливу на довкілля, зокрема на нижні б'єфи ГЕС руслового типу, можуть суттєво зменшитися при збільшенні кількості годин використання встановленої потужності, відповідно, – за рахунок більш інтенсивного водообміну між верхніми і нижніми б'єфами й забезпечення більш рівномірних витрат води в нижніх б'єфах при попусках з водосховищ.

Для дериваційних ГЕС, потужність і виробіток електроенергії на яких в значній мірі залежить від напору, який створюється деривацією, основні соціально-екологічні проблеми можуть пов'язуватися з надмірним відбором водного ресурсу з певної ділянки русла ріки й перекиданням його на іншу ділянку. Тому збільшення кількості годин використання встановленої потужності для ГЕС дериваційного типу, на відміну від руслових, вже може свідчити про зворотне – про збільшення негативного соціально-екологічного впливу ГЕС на довкілля. Щоб його зменшити, слід, відповідно, зменшити кількість годин використання встановленої потужності ГЕС, тобто – об'єми відбору води з річкового русла в деривацію.

Висновки

Єдиним реальним шляхом зменшення негативного впливу вітчизняних ГЕС на довкілля, як великих, так і малих, більшість з яких розміщуються у складі гідровузлів з великими водосховищами на рівнинних ріках, є поступове зниження їх ролі в регулюванні потужності у складі ОЕС країни. Безперечно, що будівництво ГАЕС сприятиме цьому. Наявність достатньої потужності ГАЕС в ОЕС сприятиме і подальшому розвитку альтернативних видів

відновлюваної енергетики (вітрової, сонячної) в країні, що уможливить здорову конкуренцію в галузі електроенергетики в цілому.

Окремо слід зазначити, що порівняно низькі запаси природного ББГЕП в країні не є перешкодою для розвитку гідроакумуляції. Гідропотенціал для гідроакумуляції може бути створений і штучно. Так, серед шляхів подальшого розвитку гідроакумуляції, окрім традиційних схем використання ГАЕС у складі ОЕС та звичних для нашої країни ГАЕС великої потужності при водосховищах, можуть розглядатися схеми гідроакумуляції енергії морських вод, використання в якості низових басейнів ГАЕС виведених з експлуатації шахт і кар'єрів, схеми спільної роботи малопотужних (малих) ГАЕС з вітровими і сонячними електростанціями в децентралізованих енергосистемах, в тому числі міні і мікро ГАЕС в системах водопостачання, іригації тощо [3, 7, 30]. На вартість основних гідроспруд ГАЕС та їх енергетичні характеристики в меншій мірі, ніж на вартість гідроспруд та енергетичні характеристики ГЕС, можуть впливати природні умови, зокрема гідрологічні. Гідроакумуляція забезпечує значно більшу незалежність роботи електростанції від відновлюваного енергоресурсу в порівнянні з ГЕС. При будівництві ГАЕС, на відміну від ГЕС, не потребується створення великих водосховищ для регулювання стоку із затопленням значних територій цінних земельних угідь, перенесенням великої кількості населених пунктів тощо. Характерно, що й питома вартість одиниці встановленої потужності на ГАЕС зазвичай виявляється меншою, ніж на ГЕС тієї ж потужності [14]. Єдине, що реально стримує розвиток гідроакумуляції в країні – це не ринкові, занижені ціни на електроенергію, яку виробляють регулятори в ОЕС [6].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Програма розвитку гідроенергетики на період до 2026 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 13 липня 2016 р. № 552-р. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/552-2016-%D1%80#n7>.
2. Розвиток теплоенергетики та гідроенергетики. Є.Т. Базеев, Б.Д. Білека, Є.П. Васильєв та ін.; Наук. ред.. В.М. Клименко, Ю.О. Ландау, І.Я. Сігал. 2013. – 399 с. URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-3/part-2/section-2/2-8>.
3. Vennerman P., Gruber K.H., Naaheim J.U. and al. Pumped storage plants – Status and perspectives. VGB Power Tech. 2011. No.4. P. 32-38.
4. Родионов В.Г. Оптимизация структуры генерирующих мощностей. Аккумуляторы – накопители энергии. *Энергетика: проблемы настоящего и возможности будущего*. Москва: ЭНАС. 2010. С. 68-69.
5. Кудря С.О. Відновлювана енергетика: енергоефективність, економіка, екологія. Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті. Матеріали XIX міжнародної науково-практичної конференції. Київ, 26-28 вересня 2018. С. 19-24.
6. Стефанишин Д.В. Деякі критичні зауваження та пропозиції щодо підтримки сталого розвитку гідроенергетики в Україні. *Гідроенергетика України*. 2018. №1-2. С. 6-12.
7. Rastler et al. Electric Energy Storage Technology Options: A White Paper Primer on Applications, Costs, and Benefits. EPRI, Palo Alto, CA, 2010. Accessed: 30 Sept. 2011. URL: <http://www.epri.com/abstracts/Pages/ProductAbstract.aspx?ProductId=00000000001020676>.
8. International Energy Statistics. URL: <http://www.eia.gov>.

9. List of pumped-storage hydroelectric power stations. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_pumped-storage_hydroelectric_power_stations.
10. Bartle A. Hydropower potential and development activities. *Energy Policy*. 2002. Vol. 30. Issue 14. P.P. 1231-1239.
11. *Hydropower and Dams. 2001. World Atlas and Industry Guide*. Aqua-Media Int., UK.
12. Поташник С.И. Каскад Среднеднепровских ГЭС: Опыт освоения и эксплуатации. Москва : Энергоатомиздат, 1986. 144 с.
13. Стефанишин Д.В. Про перспективи гідроенергетики в Україні та вибір варіанту розвитку Дніпровського каскаду з врахуванням ризику. *Гідроенергетика України*. 2010. №3. С. 5-11.
14. Стефанишин Д.В. Врахування ризику невикористаних можливостей при обґрунтуванні оптимального сценарію введення нових агрегатів на гідроакмулюючих електростанціях в Україні. Системні дослідження та інформаційні технології. 2017. №4. С. 7-19.
15. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Розпорядження КМУ від 18 серпня 2017 р. № 605-р. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80%paran2#n2>.
16. Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку гідроелектроенергетики України. Аналітична доповідь. За ред. О.М. Суходолі. Київ : Національний інститут стратегічних досліджень при Президентові України. 2014 р. 54 с. URL: <http://www.niss.gov.ua/content/articles/files/GES-993ae.pdf>.
17. До 2020 року в Україні 11% енергії вироблятиметься з відновлюваних джерел. URL: <http://ecotown.com.ua/news/Do-2020-roku-v-Ukrayini-11-enerhiyi-vyroblyatymetsya-z-vidnovlyuvanykh-dzherel/>.
18. Векслер А.Б., Ивашинцов Д.А., Стефанишин Д.В. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений. Санкт-Петербург : ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2002. 591 с.
19. Гидроэнергетика и окружающая среда / Под общ. ред. Ю. Ландау и Л.А. Сиренко. Киев: Либра, 2004. 484 с.
20. Стефанишин Д.В. Про перспективи розвитку вітчизняної гідроенергетики в контексті планів будівництва каскаду гідроелектростанцій у Дністровському каньйоні. *Екологічна безпека та природокористування*. Зб. наук. праць. Вип. 23 (№ 1-2). Київ : ІТГП НАНУ, КНУБА. 2017. С. 5-19.
21. Stefanyshyn D. On peculiarities of hydropower development in the world and in Ukraine. *Екологічна безпека та природокористування*. Зб. наук. праць. Вип. 25 (№ 1). Київ : КНУБА, ІТГП НАНУ. 2018. С. 12-23.
22. Власюк Ю.С., Стефанишин Д.В. Про проблеми та перспективи малої гідроенергетики в Україні. Математичне моделювання в економіці. 2018. №1 (10). С. 126-138.
23. Стефанишин Д.В., Власюк Ю.С. До питання порівняльного аналізу водноенергетичних характеристик малих і великих гідроелектростанцій України у складі гідровузлів з водосховищами. *Математичне моделювання в економіці*. 2018. №2 (11). С. 71-83.
24. Стефанишин Д.В. Проблеми і перспективи розвитку гідроенергетики в Україні. Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті. Матеріали XIX міжнародної науково-практичної конференції. Київ, 26-28 вересня 2018. С. 479-482.
25. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії. НАН України, Інститут електродинаміки. Державний комітет України з енергозбереження. Київ : 2001. URL: http://www.intelcenter.com.ua/rus/library/atlas_alten_UA.htm.
26. Васильев Ю.С. Влияние плотин и водохранилищ на окружающую среду. Под ред. А.А. Борового. Москва : Энергоиздат, 1982. 345 с.

27. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водохранилища. Москва : Мысль, 1987. 325 с.
28. Environmental experience gained from reservoirs in operation. Trans. of the 18-th Int. Congress on Large Dams. Vol. 2. Q.69. Durban – South Africa, November, 1994. 780 p.
29. Група енергетичних компаній «RENER». URL: <http://rener.com.ua>.
30. Бріль А.О., Васько П.Ф., Мороз А.В., Пазич С.Т. Передумови створення морської гідроаккумуляційної електростанції для відновлюваних джерел енергії на Азово-Чорноморському узбережжі України. Відновлювана енергетика та енергоефективність у ХХІ столітті. Матеріали ХІХ міжнародної науково-практичної конференції. Київ, 26-28 вересня 2018. С. 491-494.

Стаття надійшла до редакції 18.08.2018.

УДК 330.4:519.86

Ю.М. ЛИСЕЦЬКИЙ

ТЕХНОЛОГІЇ АНАЛІЗУ ДАНИХ ПРИ ПОБУДОВІ МОДЕЛЕЙ ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

***Анотація.** Розглянуто проведення аналізу даних з використанням OLAP-технологій, Data Mining, апарату теорії нечітких множин та експертних технологій при побудові моделей економічних систем для підвищення ступеня їх адекватності.*

***Ключові слова:** модель, економічна система, технологія, OLAP, Data Mining, Fuzzy sets, експертні оцінки.*

Вступ

Моделювання – один з основних інструментів досліджень у різних галузях економіки, за допомогою якого можна оцінити характеристики економічних систем для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Перед тим як розпочати побудову моделі будь-якої економічної системи, необхідно провести аналіз первинних даних, які можуть бути статистичною інформацією про аналогічні системи, ретроспективними даними або оцінками експертів.

Метою цієї статті є розглядання сучасних технологій аналізу даних у контексті рішення завдання побудови моделей економічних систем заради підвищення ступеня їх адекватності.

1. Технології аналізу даних

Для проведення якісного аналізу даних пропонується використовувати OLAP-технології, Data Mining, апарат теорії нечітких множин та експертні технології.

OLAP (англ. online analytical processing – аналітична обробка у реальному часі) – технологія обробки інформації, яка дозволяє швидко отримати відповіді на багатомірні аналітичні запити. OLAP-технологія бере свій початок з 1993 року, коли засновник реляційного підходу до побудови баз даних Едгар Кодд опублікував статтю «Забезпечення OLAP для користувачів-аналітиків». У цій статті він сформулював 12 особливостей технології OLAP, які з часом було доповнено ще шістьма, і ці положення стали основним змістом нової та перспективної технології [1]. На сьогодні «OLAP» – це не тільки багатовимірний погляд на дані з точки зору кінцевого користувача, але й багатовимірне відображення їх у цільовій базі даних. Саме це привело до появи таких термінів, як ROLAP (Реляційний OLAP) і MOLAP (Багатовимірний OLAP). ROLAP-куб та система відповідних математичних алгоритмів статистичної обробки дозволяють аналізувати дані будь-якої складності на будь-яких часових інтервалах [2].

Маючи у розпорядженні гнучкі механізми маніпулювання даними та візуального відображення, дослідник спочатку розглядає з різних боків дані, що або пов'язані, або не пов'язані із проблемою, яку вирішують. Далі зіставляють різні показники між собою та намагаються виявити приховані взаємозв'язки. Після цього, за допомогою модуля статистичного оцінювання та імітаційного моделювання, будують кілька варіантів розвитку подій та обирають найбільш прийнятний варіант [1]. OLAP можна застосовувати всюди, де є завдання аналізу багатofакторних даних. Після налаштування на дані користувач має можливість швидко отримувати відповіді на ключові питання шляхом простих маніпуляцій мишею над OLAP-таблицею та відповідними меню. При цьому будуть доступні певні стандартні методи аналізу, котрі логічно випливають з природи OLAP-технології: факторний (структурний) аналіз, аналіз динаміки (регресійний аналіз – знаходження трендів), аналіз залежностей (кореляційний аналіз), порівняльний аналіз, дисперсійний аналіз (дослідження розподілення ймовірностей та довірчих інтервалів показників, що розглядаються). Цими видами аналізу можливості OLAP не вичерпуються. Наприклад, якщо використати як алгоритм обчислення проміжних та кінцевих підсумків функції статистичного аналізу дисперсію, середнє відхилення, моди більш високих порядків, можна отримати більш детальні види аналітичних звітів [2].

Таким чином, OLAP-технологія є інструментом для аналізу великих обсягів даних у режимі реального часу. За допомогою OLAP дослідник може здійснити гнучкий перегляд інформації, отримати довільні зрізи даних та виконати аналітичні операції деталізації, згортки, наскрізного розподілення, одночасні порівняння у часі за багатьма параметрами. Програмні засоби OLAP – це інструмент оперативного аналізу даних, головна особливість яких – це орієнтація на використання не IT-фахівцем, не експертом-статистиком, а професіоналом у прикладній галузі. Вся робота з OLAP відбувається у термінах предметної галузі та дозволяє будувати статистично обґрунтовані моделі [2].

Data Mining (видобування даних, інтелектуальний аналіз даних, глибинний аналіз даних) – це збиральна назва, яку використовують для позначення сукупності методів, що дозволяють виявляти знання у раніше відомих базах даних. Термін було введено Г. П'ятецьким-Шапіро у 1989 р. Він є поєднанням широкого математичного інструментарію та останніх досягнень у сфері інформаційних технологій [3]. У технології об'єднані строго формалізовані методи та методи неформального аналізу даних. Основу методів Data Mining складають методи класифікації, моделювання та прогнозування. Одне з найважливіших призначень методів Data Mining полягає у наочному поданні результатів обчислень, що дозволяє використовувати інструментарій Data Mining особам, які не мають спеціальної математичної підготовки. Знання, що здобувають методами Data Mining, зазвичай подають у вигляді моделей (рис. 1).

1. Асоціативні правила

2. Дерева рішень

3. Кластери

4. Математичні функції

Рисунок 1 – Моделі подання знань Data Mining

Методи та алгоритми побудови таких моделей, зазвичай, відносять до галузі штучного інтелекту, так як більшість з них було розроблено у межах теорії штучного інтелекту.

Таким чином, до методів та алгоритмів Data Mining відносяться [3]: штучні нейронні мережі; дерева рішень, символні правила; методи найближчого сусіда та k-ближчого сусіда; методи опорних векторів; байєсівські мережі; лінійна регресія; кореляційно-регресійний аналіз; ієрархічні методи кластерного аналізу, у тому числі алгоритми k-середніх та k-медіани; методи пошуку асоціативних правил, у тому числі алгоритм Аргіоті; метод обмеженого перебору; еволюційне програмування та генетичні алгоритми; різноманітні методи візуалізації даних та багато інших методів. Більшість аналітичних методів, що використовують у технології Data Mining – це відомі математичні алгоритми та методи. Новою у їх застосуванні є можливість використати їх під час рішення тих чи інших конкретних проблем, що обумовлена виниклими можливостями технічних та програмних засобів.

Fuzzy sets – побудова математичної моделі за результатами спостереження або завдання ідентифікації систем [4]. Використовується у тих випадках, коли моделі, що синтезують, базуються на експертних лінгвістичних висловлюваннях. Одним з найбільш розроблених в інженерному відношенні інструментів обліку лінгвістичної інформації є теорія нечітких множин та нечітка логіка, яка бере свій початок з 1965 р., коли професор Лотфі Заде з Каліфорнійського університету Берклі опублікував основоположну статтю «Fuzzy Sets» у журналі «Information and Control» [5].

Практично завжди побудова аналітичної системи аналізу даних – це завдання побудови єдиної інтегрованої інформаційної системи, на основі неоднорідних програмних засобів, що функціонує узгоджено [2] (рис. 2).

Якщо у якості даних використовують експертні оцінки, необхідно провести аналіз узгодженості суджень експертів для перевірки вірогідності експертних оцінок та виявлення причин їх неоднорідності [6]. Це можна зробити за допомогою статистичної обробки інформації, отриманої від експертів [7]. У цьому випадку отримані від експертів оцінки можна розглядати як випадкові змінні і тому для аналізу розкиду узгодженості оцінок використовують наступні статистичні характеристики [8]:

- середнє значення оцінок (точкова оцінка для даної групи експертів), яке характеризує узагальнене судження експертів щодо альтернатив;
- середнє квадратичне відхилення, що характеризує розкид суджень окремих експертів відносно середнього значення;

– коефіцієнт варіації, що характеризує варіабельність, яку розраховують у вигляді відношення середнього квадратичного відхилення оцінки до середньої арифметичної.

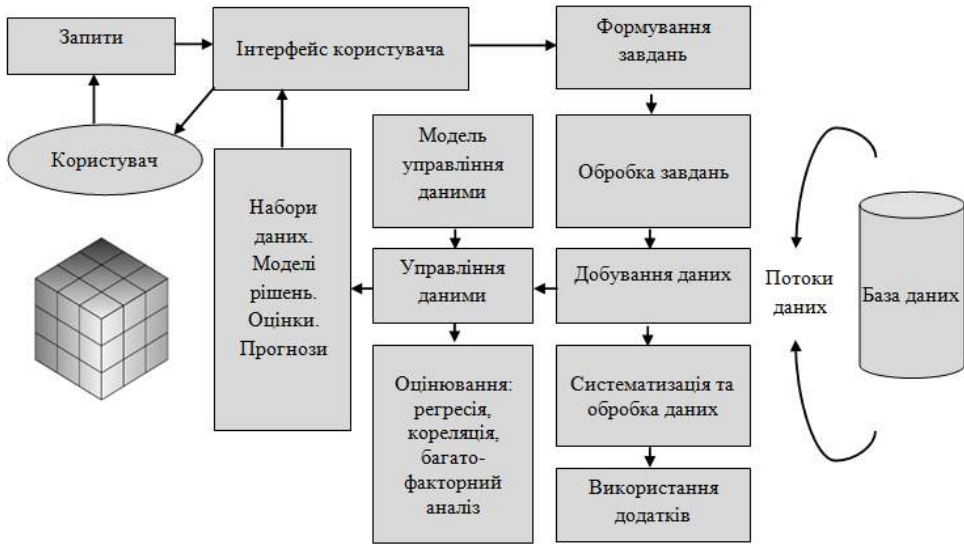


Рисунок 2 – Інформаційно-аналітична система вилучення, отримання і обробки даних

З точки зору математичної статистики, оцінки, що суттєво відрізняються від середнього значення, можна вважати випадковими. Тому було введено поняття суперечливості судження експерта k узагальненому судженню всіх експертів. Воно базується на припущенні, що судження y_k експерта k є крайнім серед суджень m експертів. Аналіз суперечливості судження експерта k проводять з використанням оцінки аномальності результатів при невідомій генеральній дисперсії [6].

Для оцінки ступеня подібності суджень експертів використовують коефіцієнти асоціації (за Устюжаніновим), за допомогою яких враховують лише кількість відповідей, що співпадають або не співпадають, та не враховують їх послідовність [8].

Для більш точної оцінки узгодженості суджень експертів використовують методи рангової кореляції:

1. Коефіцієнт рангової кореляції Кендала як одну з вибірових мір залежності двох випадкових величин (ознак) X та Y , що заснована на ранжуванні елементів вибірки $(X_1, Y_1), \dots, (X_n, Y_n)$. Коефіцієнт рангової кореляції Кендала відноситься до рангових статистик, та як будь-яку рангову статистику його можна використовувати для знаходження залежності двох якісних ознак, тільки якщо елементи вибірки можна упорядкувати відносно цих ознак [6].

2. Коефіцієнт рангової кореляції Спірмена, який теж є мірою залежності двох випадкових величин, засновано на ранжуванні незалежних результатів спостережень, за допомогою яких коефіцієнт можна обчислити простіше та швидше [6].

Під час аналізу оцінок, отриманих від експертів, часто виникає необхідність виявити узгодженість їх суджень щодо декількох альтернатив, що впливає на один кінцевий результат. У цьому випадку узгодженість суджень експертів можна оцінити за допомогою коефіцієнта конкордації – загального коефіцієнта рангової кореляції для групи, що складається з m експертів [6].

Для того щоб оцінити значущість коефіцієнта конкордації, використовують критерій χ^2 . Знайдене значення повинно бути більше табличного значення χ^2 , що визначається кількістю ступенів його свободи та рівнем довірчої вірогідності. Це підтверджує значущість коефіцієнта конкордації.

Для прискорення визначення узгодженості та вірогідності експертних оцінок розроблено технологію аналізу експертних суджень шляхом використання послідовності методів знаходження їх неоднорідності. Сутність технології полягає у наступному [6].

У першу чергу необхідно оцінити узгодженість суджень експертів за допомогою коефіцієнта конкордації. Якщо коефіцієнт конкордації є значущим, то судження групи експертів узгоджені та подальший аналіз можна не проводити.

Якщо судження експертів виявляються неузгодженими, то для оцінки ступеня подібності суджень кожної пари експертів треба розрахувати коефіцієнти асоціації за Устюжаніновим.

Для більш точної перевірки узгодженості суджень експертів необхідно використовувати метод рангової кореляції Спірмена, за допомогою якого коефіцієнт можна обчислити легше та швидше, ніж коефіцієнт рангової кореляції Кендала.

При наявності неузгодженості суджень експертів необхідно продовжити аналіз для знаходження причин їх неузгодженості та провести перевірку на суперечливість суджень, у ході якої знаходять експертів, чії судження істотно відрізняються від узагальненого судження групи.

Запропонована технологія аналізу експертних висновків шляхом застосування послідовності методів знаходження неоднорідності суджень експертів може бути алгоритмізована, та алгоритм містить наступні кроки:

- Крок 1. Обчислення коефіцієнта конкордації.
- Крок 2. Оцінка значущості коефіцієнта конкордації.
- Крок 3. Обчислення коефіцієнтів асоціації.
- Крок 4. Оцінка мір подібності суджень пар експертів.
- Крок 5. Обчислення коефіцієнтів рангової кореляції.
- Крок 6. Оцінка узгодженості суджень експертів.
- Крок 7. Обчислення узагальненого судження групи експертів.

Крок 8. Перевірка судження експерта на суперечливість узагальненому судженню групи.

Цей алгоритм програмно реалізовано на мові C++, та за допомогою програмної реалізації було проведено практичні дослідження, котрі експериментально підтвердили ефективність запропонованої технології.

Висновки

Таким чином, з урахуванням викладеного вище очевидно, що відповідальним етапом побудови моделей економічних систем, що підвищує ступінь їх адекватності, є аналіз вихідних даних, який передбачає перевірку даних, забезпечення їх порівнянності, узгодженості та вірогідності. Незважаючи на те, що аналіз даних є достатньо трудомістким процесом, його якісне проведення можливе з використанням розглянутих технологій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Технологія OLAP [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studopedia.org/8-3296.html>
2. OLAP-технології [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://oplib.ru/random/view/317374>
3. Методи Data Mining [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uadoc.zavantag.com/text/26515/index-1.html>
4. Zadeh L. A. Fuzzy Sets, Information and Control / L. A. Zadeh // Fuzzy sets and systems / J. Fox Ed. – 1965. – N 8. – P. 338–353.
5. Історія виникнення теорії нечітких множин [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://um.co.ua/3/3-6/3-62583.html>
6. Лисецький Ю.М. Інформаційні технології підтримки прийняття рішень при побудові корпоративних інтегрованих інформаційних систем: автореф. дис. док. техн. наук: спец. 05.13.06 «Інформаційні технології» / Ю.М. Лисецький. – К., 2017. – 39 с.
7. Литвак Б. Г. Экспертная информация: Методы получения и анализа / Литвак Б. Г. – М.: Радио и связь, 1984. – С. 118.
8. Бешелев С. Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.

Стаття надійшла до редакції 08.07.2018.

РЕФЕРАТИ / ABSTRACTS

ДО 100-РІЧЧЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ FOR THE 100th ANNIVERSARY OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE

УДК 504, 528

Современные диссертационные исследования Института телекоммуникаций и глобального информационного пространства: экологическая безопасность / Трофимчук А.Н., Миронцов Н.Л. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – №3. – С. 7–25.

Представлены основные теоретические и практические результаты, вошедшие в диссертационные исследования, которые были успешно защищены сотрудниками (или под их руководством) Института телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины. Материал представлен в виде аннотационного обобщения основных опубликованных работ в периодических международных и отечественных специализированных изданиях, монографиях, материалах научных конференций и авторских свидетельств.

UDC 504, 528

Modern dissertation researches of the Institute of Telecommunications and Global Information Space: Environmental safety / Trofymchuk O.M., Myrontsov M.L. // Mathematical modeling in economy. – 2018. – №3. – P. 7–25.

The main theoretical and practical results, included in the dissertation research, were successfully defended by the employees (or under their direction) of the Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine. The material is presented in the form of an abstract generalization of the main published works in international and domestic periodic specialized publications, monographs, materials of scientific conferences and patents.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ INFORMATION TECHNOLOGY IN ECONOMY

УДК 550.8

Вектор современных исследований электрометрии нефтегазовых скважин / Миронцов Н.Л. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – №3. – С. 26–36.

Приведены основные теоретические и практические результаты математического моделирования, разработки новых и совершенствования существующих методов электрометрии нефтегазовых скважин за последние десять лет. Материал представлен в виде аннотационного обобщения основных опубликованных автором трудов.

UDC 550.8

Vector of modern studies of electrometry of oil and gas wells / Myrontsov M.L. // *Mathematical modeling in economy.* – 2018. – №3. – P. 26–36.

The main theoretical and practical results of mathematical modeling, development of new and improved existing methods of electrometry of oil and gas wells for the last ten years are given. The material is presented in the form of a summary generalization of the main printed works by the author.

УДК 004:005.591.6

Информационные технологии для инновационного инжиниринга / Краскевич В.Е., Селиванова А.В. // *Математическое моделирование в экономике.* – 2018. – №3. – С. 37–40.

Проанализировано информационные инструменты для поддержки инновационной деятельности. Раскрыто понятия и особенности краудфандинговых платформ. Проанализировано перспективы развития краудфандинговых платформ в Украине.

UDC 004:005.591.6

Information Technologies for Innovative Engineering / Kraskevich V., Selivanova A. // *Mathematical modeling in economics.* – 2018. – №3. – P. 37–40.

The aim of article to analyze the advanced world experience with crowdfunding platform for startups and prospects of innovation activity in Ukraine.

Crowdfunding is an effective means of raising funds for the implementation of various projects. It can be both cultural and social projects and technical. As an information tool for fundraising crowdfunding platform is a specialized site for placement of innovative ideas. The platform provides financial and legal aspects of interaction and helps participants.

There are several crowdfunding schemes – without feedback from previous equivalent product sales and distribution. Accordingly, people or bring its share to seed capital without any impact or are joint owners of the future product or service. Crowdfunding is a new approach for businesses and creative projects. The special attention deserves crowdfunding as a tool for the analysis of demand for the product or service created.

УДК 004.7

Анализ систем автоматического запроса на повторную передачу / Трофимчук А.Н., Василенко В.М., Зайцев С.В. // *Математическое моделирование в экономике.* – 2018. – №3. – С. 41–51.

В работе рассматриваются основные типы систем автоматического запроса на повторную передачу и систем гибридного автоматического запроса на повторную передачу, их структура, особенности, параметры. Проведен сравнительный анализ приведенных систем для определения основных преимуществ и недостатков. Показана зависимость гибкости и накладных расходов для различных систем гибридного автоматического запроса на повторную передачу.

UDC 004.7

Analysis of automatic request transfer systems / Trofymchuk O.M., Vasylenko V.M., Zaitsev S.V. // *Mathematical modeling in economics.* – 2018. – №3. – P. 41–51.

The paper discusses the main types of systems for automatic request for retransmission and systems of hybrid automatic request for retransmission, their structure, features, parameters. A comparative analysis of the above systems to determine the main advantages and disadvantages. The dependence of flexibility and overhead for various systems of hybrid automatic request for retransmission is shown.

МАТЕМАТИЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ В ЕКОНОМІЦІ MATHEMATICAL AND INFORMATIONAL MODELS IN ECONOMY

УДК 004.7

Анализ методов сериализации структурированных данных для передачи протоколом прикладного уровня модели OSI / Андрущенко Р.Б., Зайцев С.В., Солдатов А.Ю. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – №3. – С. 52–70.

Сетевое программное обеспечение является неотъемлемой частью почти любой информационной системы – от обычных веб-сайтов до больших энтерпрайз-систем банков, финансовых организаций, распределенных вычислительных систем, кластеров и датацентров. Для того, чтобы структурные единицы информационной системы могли общаться между собой и понимать друг друга, необходимо заранее определить «язык» (то есть, «протокол»), с помощью которого они будут общаться. Большинство современного программного обеспечения использует структурированные текстовые или бинарные форматы данных и протоколы, построенные на базе UDP, TCP и HTTP. В данной работе проведен анализ существующих форматов сериализации структурированных данных в компьютерных сетях, рассмотрено их внутреннее строение, выявлены их особенности и предложены возможные способы совершенствования.

UDC 004.7

Analysis of structured data serialization methods for transfer by the application layer protocol of the OSI model / Andruschenko R.B., Zaitsev S.V., Soldatov A.Yu. // Mathematical modeling in economics. – 2018. – №3. – P. 52–70.

Network software is an integral part of almost any information system – from regular websites to large enterprise systems of banks, financial organizations, distributed computing systems, clusters and data centers. In order for the structural units of an information system to communicate with each other and understand each other, it is necessary to determine in advance the “language” (that is, the “protocol”) with which they will communicate. Most modern software uses structured text or binary data formats and protocols based on UDP, TCP and HTTP. In this paper, we analyzed the existing formats for the serialization of structured data in computer networks, examined their internal structure, revealed their features, and suggested possible ways of improvement.

УДК 625.032

Методический подход к идентификации эколого-экономического риска промышленной деятельности / Сидоренко В.Л., Задунай А.С., Азаров С.И. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – № 3. – С. 71–79.

В статье рассматривается методический подход к идентификации эколого-экономических рисков, возникающих в ходе взаимодействия объекта промышленной деятельности с окружающей средой.

UDC 625.032

Approach for identification of environmental risk / Sydorenko V.L., Zadunaj O.S., Azarov S.I. // Mathematical modeling in economy. – 2018. – № 3. – P. 71–79.

The article deals with the methodical approach to identifying risks arising from the interaction of business and the environment.

УДК 004.047

Некоторые усовершенствования математических основ способа описания загрязненной территории / Кряжич О.А., Коваленко А.В. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – № 3. – С. 80–86.

В статье представлен подход к построению итераций высшего порядка. Это позволяет по модифицированному методу получить ряд разложений по степеням и базовую последовательность итерационных формул. Представленные математические основы предназначены для построения модуля прогнозирования в ранее созданной авторами программной разработке «Случайная точка».

UDC 004.047

Some improvements in the mathematical foundations of the description of polluted areas / Kryazhych O.O., Kovalenko O.V. // Mathematical modeling in economy. – 2018. – № 3. – P. 80–86.

The article considers an approach to the construction of higher-order iterations. This allows the modified method to obtain a series of expansions in powers and to obtain the basic sequence of iterative formulas. The presented mathematical foundations are intended for building the prediction module in the Random Point software program previously created by the authors.

УДК 004.5:004.6:004.89:007.51:528.933

Отображение сетевой информации в виде интерактивных документов. Трансдисциплинарный подход / Стрижак А.Е., Приходнюк В.В., Гайко С.И., Шаповалов В.Б. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – № 3. – С. 87–100.

Рассматривается технологическая проблема интерактивного взаимодействия с большими объемами сетевых информационных ресурсов (проблема Big Data). Определяются инструменты структурирования сетевых документов, формирования таксономических отражений структуры сетевых документов и их контекстной связности между всеми концептами-понятиями, которые формируют терминополь пользователя, на основе рекурсивной редукции. Представлена онтологическая модель сетевого документа.

UDC 004.5:004.6:004.89:007.51:528.933

Network information display in the form of interactive documents. Transdisciplinarity approach / Stryzhak O., Prychodniuk V., Gaiko S., Shapovalov V. // Mathematical modeling in economy. – 2018. – № 3. – P. 87–100.

The technological problem of interactive interaction with large volumes of network information resources (the problem of Big Data) is considered. The tools for structuring network documents, forming taxonomic display of the structure of network documents and their contextual connectivity between all the concepts that form the user's termfields on the basis of recursive reduction are determined. An ontological model of a network document is presented.

АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ ANALYSIS, EVALUATION AND FORECASTING IN ECONOMY

УДК 004.942 ; 626/627 ; 504.05

Проблемы и перспективы гидроаккумуляции в контексте рационального природопользования и экологизации гидроэнергетики в Украине / Стефанишин Д.В. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – №3. – С. 101–113.

Проанализировано текущее состояние, проблемы и перспективы гидроаккумуляции в мировой и отечественной электроэнергетике. Отмечено особенности развития возобновляемой электроэнергетики, использующей альтернативные источники энергии (солнечной, ветровой), и традиционной гидроэнергетики в стране за счет строительства новых гидроэлектростанций. Обосновано роль гидроаккумуляции как одного из стратегических направлений развития отечественной электроэнергетики, в частности гидроэнергетики, в контексте ее экологизации и рационального природопользования.

UDC 004.942 ; 626/627 ; 504.05

Problems and prospects of hydro-accumulation in the context of rational nature management and ecologization of hydropower in Ukraine / Stefanyshyn D.V. // Mathematical modeling in economy. – 2018. – №3. – P. 101–113.

The present state, problems and prospects of hydro-accumulation in the world and domestic electric power industry are analyzed. The peculiarities of the development of renewable energy that uses alternative energy sources (solar, wind) and traditional hydropower due to the construction of new hydropower plants in the country are noted. The role of hydro-accumulation as one of the strategic directions of development of domestic electric power industry, in particular, hydropower, in the context of its ecologization and rational nature management is substantiated.

УДК 330.4:519.86

Технологии анализа данных при построении моделей экономических систем / Лисецкий Ю.М. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – № 3. – С. 114–119.

Рассмотрено проведение анализа данных с использованием OLAP-технологий, Data Mining, аппарата теории нечетких множеств и экспертных технологий при построении моделей экономических систем для повышения степени их адекватности.

UDC 330.4:519.86

Data Analysis Technologies for Building Economic Systems Models / Lisetskyi Yu.M. // Mathematical modeling in economy. – 2018. – № 3. – P. 114–119.

The paper considers data analysis with the aid of OLAP technologies, data mining, fuzzy sets theory critical apparatus and expert technologies during building economic systems models with the aim of improving their adequacy.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Азаров Сергій Іванович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Інституту ядерних досліджень НАН України (Україна, м. Київ).

Андрущенко Роман Борисович – аспірант Чернігівського національного технологічного університету (Україна, м. Чернігів).

Василенко Владислав Михайлович – аспірант Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Гайко Світлана Іванівна – аспірант Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Задунай Олексій Сергійович – начальник центру Державного НДІ спецзв'язку та захисту інформації (Україна, м. Київ).

Зайцев Сергій Васильович – доктор технічних наук, доцент Чернігівського національного технологічного університету (Україна, м. Чернігів).

Коваленко Олександр Васильович – кандидат технічних наук, завідувач лабораторією ФТПДЯВ Інституту ядерних досліджень НАН України (Україна, м. Київ).

Краскевич Валерій Євгенович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій Київського національного торговельно-економічного університету (Україна, м. Київ).

Кряжич Ольга Олександрівна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Лисецький Юрій Михайлович – доктор технічних наук, генеральний директор ДП «ЕС ЕНД ТІ УКРАЇНА» (Україна, м. Київ).

Миронцов Микита Леонідович – доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Приходнюк Віталій Валерійович – кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Селіванова Анна Віталіївна – старший викладач кафедри інформаційних технологій Київського національного торговельно-економічного університету (Україна, м. Київ).

Солдатов Артем Юрійович – аспірант Чернігівського національного технологічного університету (Україна, м. Чернігів).

Сидоренко Володимир Леонідович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри профілактики пожеж та безпеки життєдіяльності населення Інституту державного управління у сфері цивільного захисту (Україна, м. Київ).

Стефанишин Дмитро Володимирович – доктор технічних наук, провідний науковий співробітник, професор кафедри гідротехнічних споруд Національного

університету водного господарства та природокористування (НУВГП) (Україна, м. Рівне).

Стрижак Олександр Євгенійович – доктор технічних наук, головний науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Трофимчук Олександр Миколайович – член-кореспондент НАН України, професор, доктор технічних наук, директор Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Шаповалов Віктор Борисович – магістр, аспірант Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

© Авторські і суміжні права належать авторам окремих публікацій, Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Інституту економіки і прогнозування НАН України.

© Авторские и смежные права принадлежат авторам отдельных публикаций, Институту телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины, Институту кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, Институту экономики и прогнозирования НАН Украины.

Copying © authors of publications, Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine, Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine, Institute for Economics and Forecasting of NAS of Ukraine. All rights reserved.

ДО УВАГИ АВТОРІВ ЖУРНАЛУ

Зміст матеріалів, що направляються до редакції, повинен відповідати профілю та науково-технічному рівню журналу. Тематика журналу стосується математичного моделювання у всіх сферах господарської діяльності, тобто, економіки в її широкому розумінні.

Кожна наукова стаття повинна мати вступ, розділи основної частини та висновки, а також анотацію і ключові слова трьома мовами (українською, російською та англійською). Також трьома мовами подаються реферати до статті, які будуть розміщені в електронному варіанті журналу «Математичне моделювання в економіці» на сайті журналу.

Усі представлені в редакцію рукописи проходять ретельне багатоланкове рецензування відповідними фахівцями за профілем статті. Якщо сумарна оцінка рецензентів менша за встановлений поріг, рукописи відхиляються. Автору надсилається відповідне повідомлення. Матеріали, отримані від автора, редакцією не повертаються. Після доопрацювання автор може подати матеріал повторно, з виконанням усіх процедур подачі матеріалу.

Статті, що були представлені в редакцію і прийняті після рецензування, але не попали в поточний номер журналу, будуть надруковані в наступних номерах журналу.

Зміст статті та якість написання або перекладу (українською або англійською мовами) переглядаються коректорами журналу, проте відповідальність за зміст та якість статті несуть автори матеріалу. До статті можуть бути внесені зміни редакційного характеру без згоди автора.

Розділ журналу, до якого буде віднесена стаття, визначається редакцією, узгоджується – головним редактором або його заступником.

Остаточний висновок щодо публікації матеріалів схвалює редакційна колегія журналу.

Електронна версія журналу, правила оформлення та вимоги до статей, зміни і доповнення до тематичних розділів будуть оперативно подаватися в Інтернеті на сайті журналу «Математичне моделювання в економіці» www.mmejournal.in.ua

Журнал також представлений на сайті Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України <http://itgip.org/> у розділі «Видавнича діяльність».

Виконавчий редактор – О.О. Кряжич, канд. техн. наук.

Надруковано:

Видавничий дім «Юстон»
01034, м. Київ, вул. О. Гончара, 36.
Тел.: (044) 360-22-66
Реєстраційне свідоцтво НБ № 153324 від 05.11.2012 р.

Підписано і здано до друку 10.10.2018. Формат 70X108/16. Папір офсетний.
Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 11.3
Обл.-вид. арк. 12.1 Тираж 300 примірників Замовлення №

КИЇВ 2018