

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

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ

№ 4 (13), жовтень-грудень 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

Є.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 № 12 від 12.12.2018 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 та
англійською мовами

ЗМІСТ

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

- Кодрик А.І., Яковлєв Є.О., Чумаченко С.М., Парталян А.С.**
Методичні підходи до геоінформаційного аналізу еколого-техногенних загроз для вуглепромислових районів Донбасу (на прикладі ПАО «Лисичанськвугілля» та ДП «Первомайськвугілля»)..... 5
- Подліпаєв В.О., Шумейко В.О., Атрасевич О.В.**
Атрибутивний пошук геопросторових даних та інформації про геопросторові об'єкти у трансдисциплінарному інформаційному середовищі..... 21

МАТЕМАТИЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ В ЕКОНОМІЦІ

- Гребень О.С., Трофимчук О.М.**
Оцінка впливу твердого стоку із сільськогосподарських ділянок на екологічні показники прилеглих водоймищ..... 27
- Миронцов М.Л.**
Похибка та еквівалентні розв'язки оберненої задачі електрометрії свердловин..... 35
- Горборуков В.В., Стрижак О.Є., Франчук О.В., Шаповалов В.Б.**
Онтологічне представлення задачі ранжування альтернатив..... 49

АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ

- Корбутяк В.М., Стефанишин Д.В.**
Трансформації мінімального стоку р. Случ та їх вплив на Новоград-Волинське водосховище як об'єкт місцевої критичної інфраструктури..... 70
- Мельников С.В.**
Просторові стратегії фірм в умовах конкуренції Штакельберга 82
- РЕФЕРАТИ**..... 94
- ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ**..... 98

CONTENTS

INFORMATION TECHNOLOGY IN ECONOMY

- Kodryk A., Yakovliev Y., Chumachenko S., Partalyan A.**
Methodologic approaches for geoinformative analyses of ecological-technogenic hazards within coal mine districts of Donbass (on base of private enterprise “Lysychanskcoal” and state enterprise “Pervomayskcoal”) has been elaborated and proposed..... 5
- Podlipaiev V.O., Shumeiko V.O., Atrasevych O.V.**
Attributive search of geospatial data and information about geospatial objects in the transdisciplinary informational environment..... 21

MATHEMATICAL AND INFORMATIONAL MODELS IN ECONOMY

- Greben A., Trofymchuk O.**
Evaluation of the influence of solid runoff from agricultural plots on the environmental performance of adjacent water bodies 27
- Myrontsov M.L.**
Operational margin and equivalent solutions of the wells electrometry inverse problem 35
- Gorborukov V., Stryzhak O., Franchuk O., Shapovalov V.**
Ontological representation of the ranking alternatives task..... 49

ANALYSIS, EVALUATION AND FORECASTING IN ECONOMY

- Korbutiak V.M., Stefanyshyn D.V.**
Transformations the minimum runoff of the Sluch River and their influence on Novohrad-Volynskyi reservoir as an object of local critical infrastructure..... 70
- Melnikov S.**
Spatial strategies of firms under Stackelberg competention..... 82
- ABSTRACTS**..... 94
- INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**..... 98

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 622.83

А.І. КОДРИК, Є.О. ЯКОВЛЄВ, С.М. ЧУМАЧЕНКО, А.С. ПАРТАЛЯН

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ ЕКОЛОГО-ТЕХНОГЕННИХ ЗАГРОЗ ДЛЯ ВУГЛЕПРОМИСЛОВИХ РАЙОНІВ ДОНБАСУ (НА ПРИКЛАДІ ПАО «ЛИСИЧАНСЬКВУГІЛЛЯ» ТА ДП «ПЕРВОМАЙСЬКВУГІЛЛЯ»)

***Анотація.** Запропоновано метод геоінформаційного аналізу техногенних загроз для вуглепромислових районів Донбасу (на прикладі природно-техногенних геосистем (ПТГС) «вуглепромислова агломерація – навколишнє природне середовище» ПАО «Лисичанськвугілля» та ГП «Первомайськвугілля»).*

***Ключові слова:** геологічне середовище, поверхнева і підземна гідросфера, повітряний басейн, загрози, ризики, фактори, геоінформаційна система.*

Вступ

Аналіз значимих факторів, що істотним чином впливають на територіальну організацію соціально-економічних процесів і ефективність виробництва, дозволяє виділити екологічну обстановку як ключовий елемент безпеки життєдіяльності населення в промислово розвинутому регіоні Сходу України. В останні чотири роки на Донбасі вона суттєво погіршилася, що пов'язане головним чином із впливом воєнно-техногенних чинників проведення антитерористичної операції та операції Об'єднаних сил і її численними вторинними наслідками для вугільної галузі.

На наш погляд, однією із основних фактороформуючих умов, що вплинули на екологічну обстановку, є стагнація гірничо-добувної, хімічної та переробної промисловості при вкрай застарілих технологіях і пов'язана з цим надмірна урбанізація багатьох районів Донбасу.

З огляду на промислово-економічну характеристику, Донбас – це великий промисловий регіон України, в якому налічується кілька тисяч великих промислових підприємств, виробничо-промислових об'єднань і підприємств паливно-енергетичного комплексу, гірничодобувної, металургійної, хімічної промисловості, важкого машинобудування, будівельної галузі, а також агропромислового комплексу. На довоєнний період Донбас забезпечував більшу частину промислового виробництва України, причому в найбільш екологічно небезпечних галузях національної економіки.

Висока концентрація промислового і сільськогосподарського виробництва, транспортної інфраструктури, у поєднанні з високою щільністю населення, створили надзвичайно катастрофічний рівень антропогенного навантаження на біосферу – найвищий в Україні та Європі.

На сьогоднішній день, у зв'язку із негативними процесами зупинки цілого ряду підприємств вуглепромислового комплексу через вплив чинників збройного конфлікту, особливу актуальність набувають питання аналізу еколого-техногенних загроз та оцінки потенційних ризиків і можливих сценаріїв виникнення надзвичайних ситуацій із застосуванням сучасних підходів.

У цілому ряді як вітчизняних, так і закордонних наукових публікацій питанням обґрунтування наукових основ реструктуризації вугільної галузі приділяється значна увага [1–5]. Однак на сьогодні методичні підходи саме до аналізу еколого-техногенних загроз при реструктуризації вугільної галузі розвинуті ще недостатньо.

Тому метою цієї статті є обґрунтування і розроблення методичних основ геоінформаційного аналізу при реструктуризації вуглепромислових районів Донбасу на прикладі ПАО «Лисичанськвугілля» та ДП «Первомайськвугілля».

1. Загальна постановка задач досліджень

За оцінками експертів [12, 13], в умовах ведення бойових дій найбільшу загрозу для безпеки життєдіяльності населення і можливості відновлення виробництва формує небезпека втрати водовідливу і вентиляції шахт Донбасу. Нині зі 150 вугільних шахт 115 перебувають на окупованих територіях; повністю зруйновано 7 вугледобувних шахт Донбасу, ще 63 працюють у режимі відкачування води. Працюючими є лише 24 шахти.

З 90 шахт, підпорядкованих Міністерству енергетики та вугільної промисловості України, лише 35 знаходяться на контрольованій Україною території, тоді як інші 55 (у тому числі шахти, що видобувають вугілля антрацитової групи) перебувають на території Донецької та Луганської областей. Із 35 контрольованих Україною шахт близько 10 працюють у режимі підтримання життєдіяльності.

Більшість шахт в цьому регіоні є гідравлічно зв'язаними, і затоплення однієї шахти може призвести до каскадного ефекту затоплення інших шахт, що розташовані поруч (рис. 1).

Наслідком некерованого затоплення шахт буде підтоплення і затоплення великих площ прилеглих міст та селищ, забруднення підземних і поверхневих водозаборів мінералізованими шахтними водами, додаткові просідання і зрушення (деформації) денної поверхні, руйнування об'єктів критичної інфраструктури (нафтогазопроводів, магістральних та місцевих ліній електропередач та ін.).

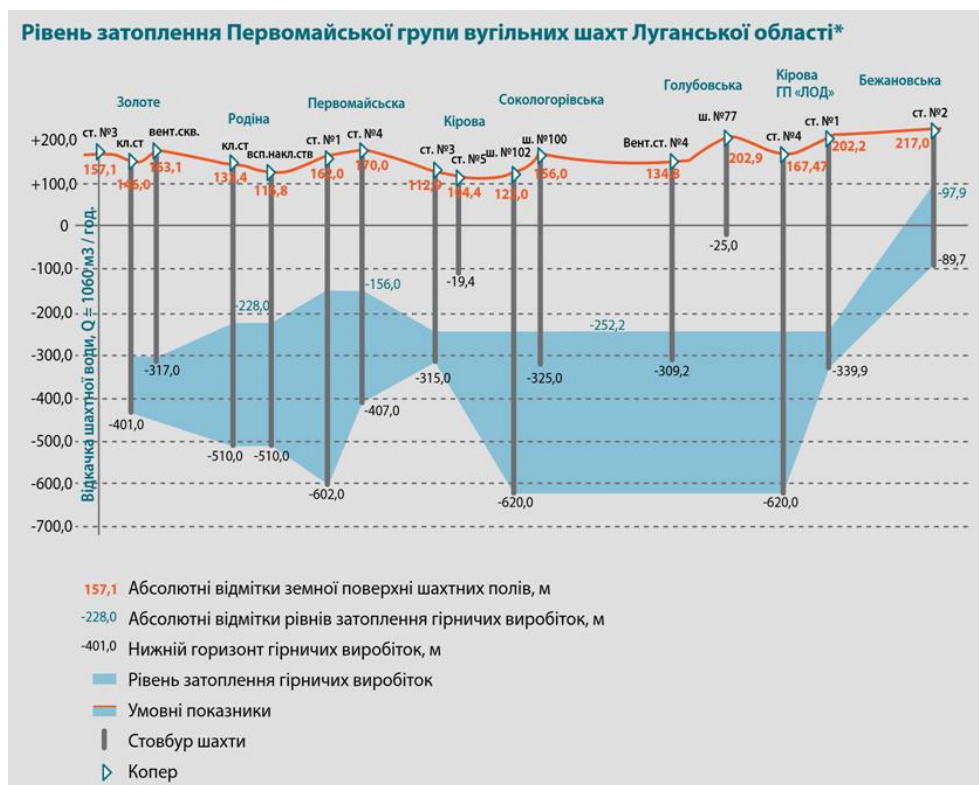


Рисунок 1 – Підтоплення та рівні затоплення шахт ДП «Первомайськвугілля» в зоні проведення ООС [17]

На екологічну ситуацію у Лисичанському ГПР головним чином впливають чотири діючі та чотири закриті шахти ПАТ «Лисичанськвугілля». Основними проявами негативного впливу на навколишнє середовище для них є (рис. 2):

- 1) забруднення та порушення гідрологічного режиму підземних та поверхневих вод;
- 2) забруднення повітряного басейну твердими та газоподібними речовинами в процесах добування, транспортування, збагачування та переробки вугілля;
- 3) забруднення земної поверхні відходами добування і збагачення вугілля;
- 4) вилучення із землекористування та порушення земної поверхні;
- 5) шумове забруднення та вібрація ґрунтів.

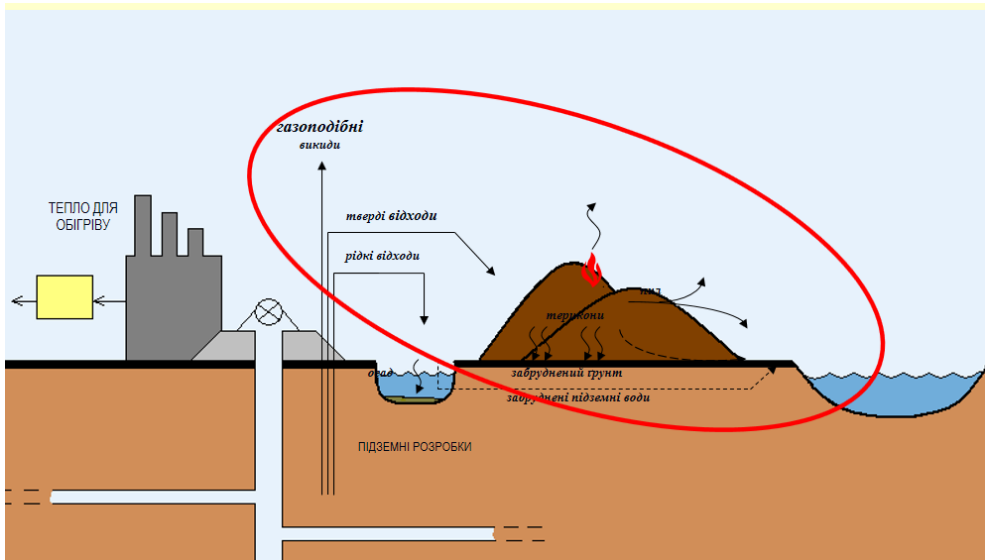


Рисунок 2 – Схема діяльності шахти та основні техногенні чинники її впливу на довкілля

Основні чинники негативного впливу вугільних шахт України на довкілля наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні чинники негативного техногенного впливу вугільних шахт ПАТ «Лисичанськвугілля» на довкілля

Виробниче об'єднання	Вугільна шахта	Фактори екологічної небезпеки
«Лисичанськвугілля»	«Новодружеська»	1) Забруднення та порушення гідрологічного режиму підземних та поверхневих вод; 2) забруднення повітряного басейну твердими та газоподібними речовинами в процесах добування, транспортування, збагачування та переробки вугілля; 3) забруднення земної поверхні відходами добування і збагачення вугілля; 4) вилучення із землекористування та порушення земної поверхні; 5) шумове забруднення та вібрація ґрунтів.
	«Капустіна»	
	«Привольнянська»	
	«Мельникова»	
«Укршахтгідрозахист»	«Чорноморка»	Відкачування та утилізація шахтної води

2. Деякі принципи визначення та твердження

Для оцінки можливих загроз і ризиків виникнення надзвичайних ситуацій (НС) на шахтах ПАТ «Лисичанськвугілля» та ДП «Первомайськвугілля» існує ряд підходів. У країнах Євросоюзу активно впроваджується системний підхід [2, 3, 4], що спирається на оцінювання загроз і ризиків виникнення НС з використанням декількох критеріїв.

За числового визначення ризику техногенної аварії чи надзвичайної ситуації, пов'язаної з людськими жертвами і збитками, завданими навколишньому середовищу, прогностичні експертні оцінки відбивають індивідуальне судження фахівців про перспективи розвитку аварії. Методи експертних оцінок засновані на мобілізації професійного досвіду та інтуїції фахівців-експертів. Такі методи оцінювання ризику використовують формальну теорію ухвалення рішень в умовах невизначеності.

У разі природних, техногенних і соціальних НС центральною фігурою і суб'єктом ухвалення рішення виступає особа, що приймає рішення (ОПР). Це може бути одна особа – індивідуальна ОПР або кілька осіб, які виробляють колективне рішення – групова ОПР. Слід зауважити, що індивідуальна ОПР – це не завжди одна фізична особа, оскільки часто роль індивідуальної ОПР може відігравати й колектив, який обстоює певні спільні інтереси, або юридична особа. Груповою ОПР, у свою чергу, може бути кілька груп осіб, якщо кожна з груп має ті чи інші власні інтереси та переваги.

Вважають, що ОПР – це керівник або керівний орган, що формулює проблему, відіграє вирішальну роль у виборі розв'язку і несе відповідальність за обране рішення. Для допомоги у пошуку рішення ОПР залучає експертів і консультантів, які є фахівцями певних предметних галузей, у тому числі з питань технології й організації процесів прийняття і впровадження рішень. Експерти й консультанти відповідають за обґрунтованість рекомендацій, які вони готують для ОПР, проте вони не підміняють ОПР у виборі рішення. Остаточне рішення завжди обирає ОПР відповідно до власної системи переваг (пріоритетів). ОПР несе повну відповідальність за свій вибір та його наслідки.

Твердження 1. ПТГС «вуглепромислова агломерація – навколишнє природне середовище» є провідним чинником формування еколого-техногенних загроз безпеці у регіоні Донбасу за умови мирного стану та збройного конфлікту.

Тому, використовуючи європейські підходи до оцінювання загроз і ризиків виникнення НС на потенційно небезпечних об'єктах, було запропоновано адитивну згортку зважених критеріїв, що спирається на використання методів підтримки прийняття рішень [5]. Серед цих методів було обрано метод аналізу ієрархій, який призначений для розв'язання багатокритеріальних задач з ієрархічними структурами, що включають як помітні, так і непомітні чинники. Він був розроблений американським математиком Томасом Сааті на початку 1990-х років.

Метод ґрунтується на попарних порівняннях критеріїв, чинників та ознак. До того ж, його застосування дає змогу включати в ієрархію усі наявні в дослідника проблеми знання та факти. Експерт у процесі попарних порівнянь не тільки вибирає у кожній парі більш небезпечний об'єкт чи

територію, але й вказує, у скільки разів один елемент переважає другий за ознакою, що розглядається.

Алгоритм цього методу складається з таких етапів.

1. Визначення цілі (фокусу) проблеми оцінювання загрози виникнення НС на шахтах ПАТ «Лисичанськвугілля» і ДП «Первомайськвугілля».

2. Системний аналіз та структуризація проблеми у вигляді ієрархічної логіко-інформаційної моделі.

3. Формування бази даних характеристик критеріїв, чинників та загроз.

5. Заповнення матриць попарних порівнянь елементів кожного рівня групою експертів, до складу якої входить системний аналітик.

6. Визначення власних векторів матриць попарних порівнянь та їх нормування.

7. Оцінка узгодженості суджень експертів на основі відношення узгодженості.

8. Перевірка узгодженості матриць порівнянь. Якщо матриці узгоджені, то виконують п. 9, якщо ні – то переходять до п. 5.

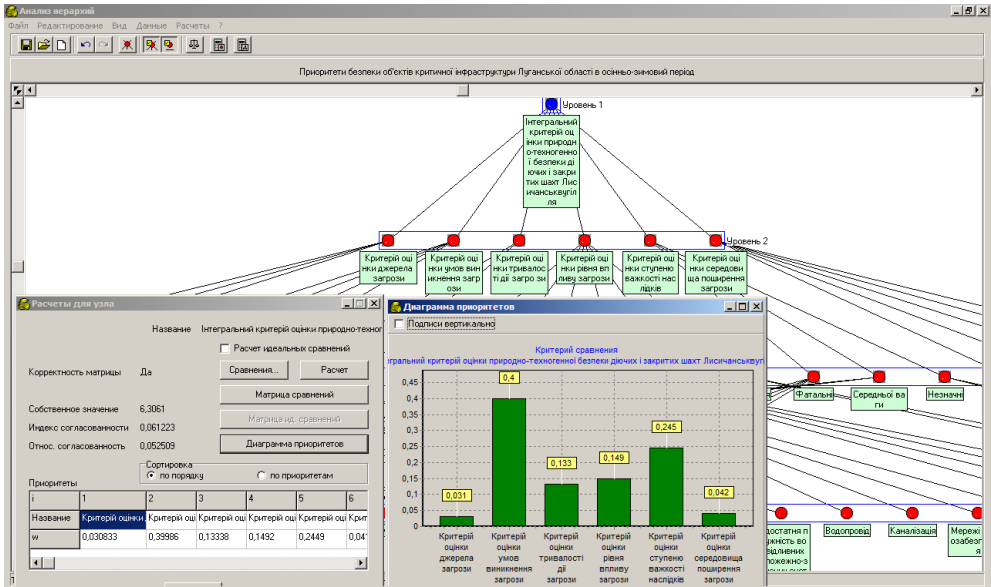
9. Визначення локальних і глобальних пріоритетів (вагових коефіцієнтів) кожного з елементів ієрархії.

10. Визначення пріоритетних загроз та їх ранжування.

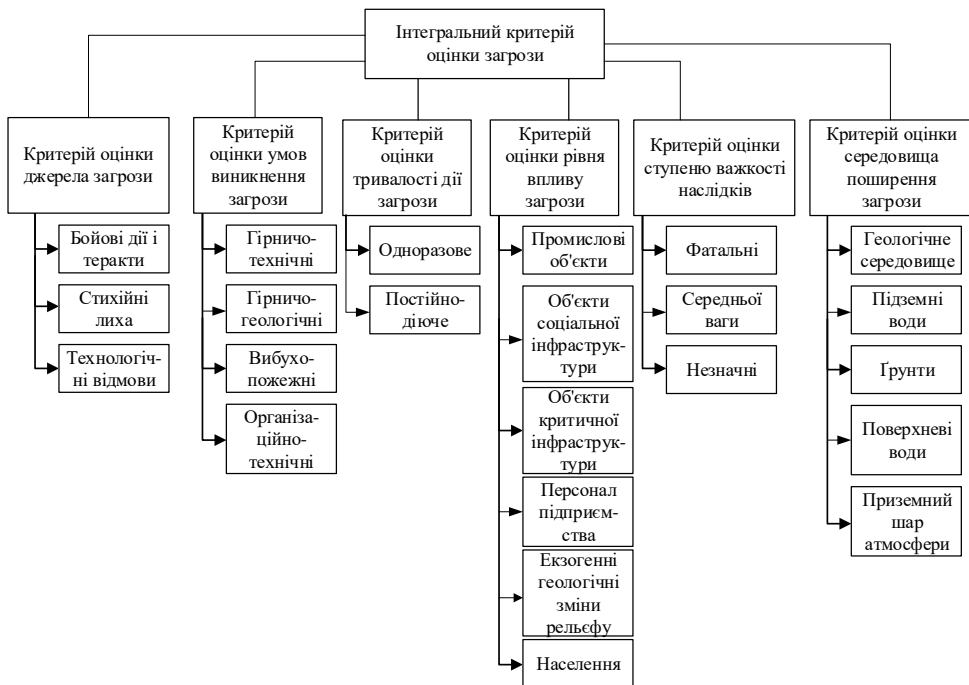
Твердження 2. Регіональний підйом рівнів підземних вод після затоплення вугільних шахт (“мокра консервація”) до ретроісторичних відміток обумовлює нерівноважний стан геологічного середовища як головного “депо” більшості техногенних небезпечних змін навколишнього природного середовища та виникнення НС різного рівня (територіально-об’єктового та регіонального).

Твердження 3. Створення ГІС з оцінки та прогнозування режиму рівнів та хімічного складу підземних вод є головним науково-технологічним заходом щодо обґрунтування заходів сталого формування пост-майнінгового режиму регіону Донбасу.

Для проведення оцінювання загроз виникнення НС було розроблено інформаційно-аналітичну систему та спільно з представниками ПАТ «Лисичанськвугілля» і ДП «Первомайськвугілля» проведено експертну оцінку за наступним ієрархічним деревом, що наведені на рис. 3 (а, б).



а) Інформаційно-аналітична система для оцінки природно-техногенних загроз для вугільних шахт



б) Ієрархічна підпорядкованість критеріїв та факторів оцінювання

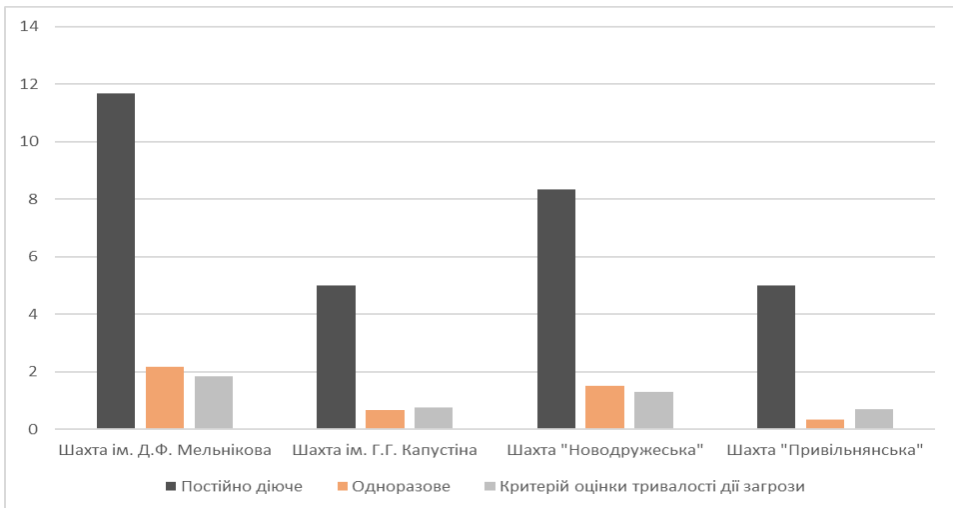
Рисунок 3 – Система критеріїв та факторів оцінювання

Для проведення оцінювання загроз методом парних порівнянь використовувалась інтервальна шкала Сааті, що наведена у таблиці 2.

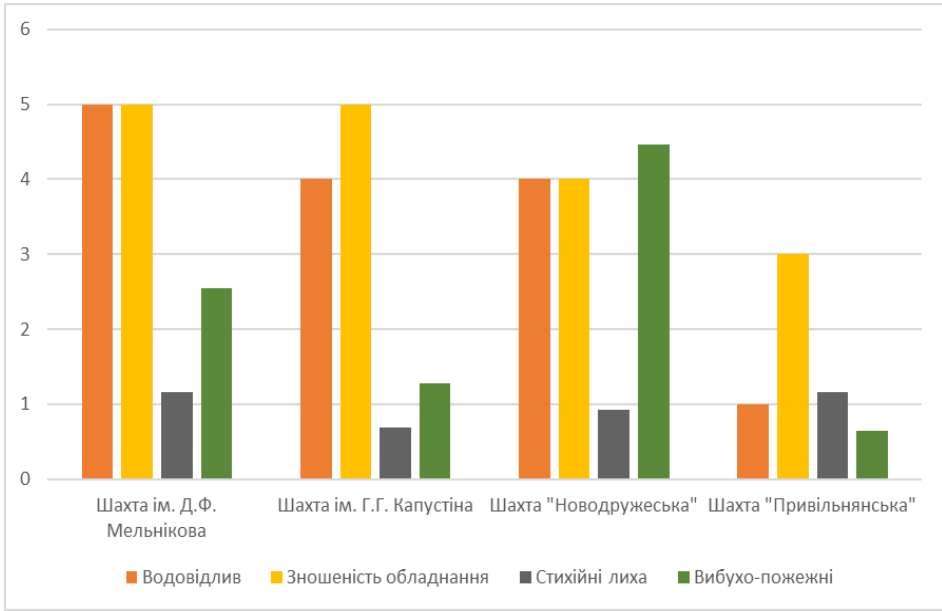
Таблиця 2 – Шкала відносної важливості елементів

Ступінь важливості	Визначення	Пояснення і рекомендації щодо використання
1	Об'єкти рівноцінні	Обидва об'єкти рівноцінні між собою
3	Один об'єкт дещо переважає інший	Є певні підстави вважати перший об'єкт дещо кращим за інший
5	Один об'єкт значно кращий за інший	Є підстави вважати один об'єкт значно кращим за інший
7	Один об'єкт набагато кращий за інший	Є вагомні підстави вважати перший об'єкт набагато кращим за інший
9	Дуже велика перевага одного об'єкта над іншим	Перевага одного об'єкта порівняно з іншим дуже велика
2, 4, 6, 8	Значення, що відбивають проміжні судження	Використовують у випадках, коли вибір між двома сусідніми непарними числами спричинює ускладнення

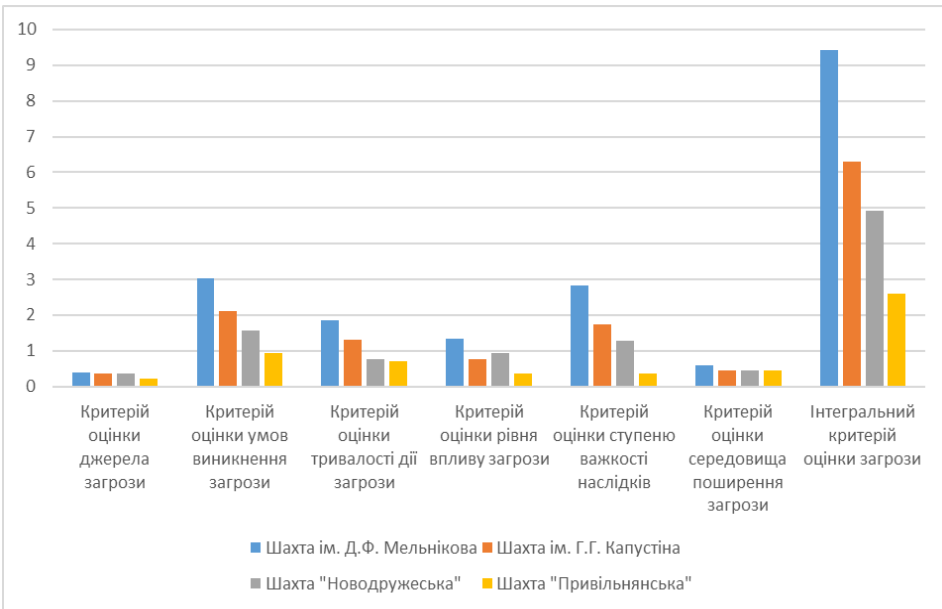
Розподіл чинників впливу формування техногенно-екологічних умов для оцінки загроз НС для шахт ПАТ «Лисичанськвугілля» наведено на рис. 4 (а, б, в, г), а для ДП «Первомайськвугілля» – на рис. 5 (а, б, в, г). Аналіз факторів впливу на загрози виникнення НС для шахт за результатами отриманих експертних оцінок наведено у вигляді стовпчастих діаграм.



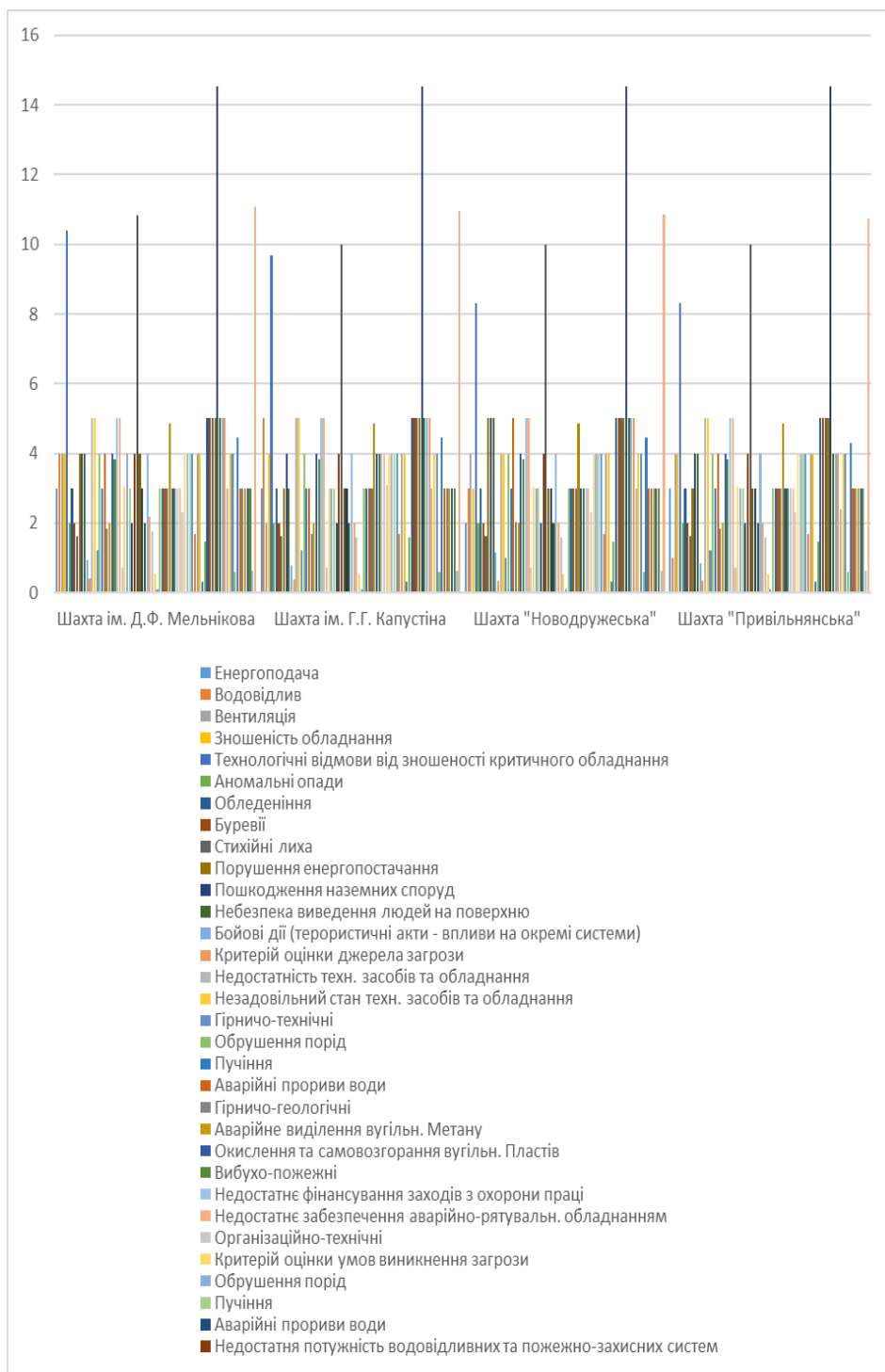
а)



б)

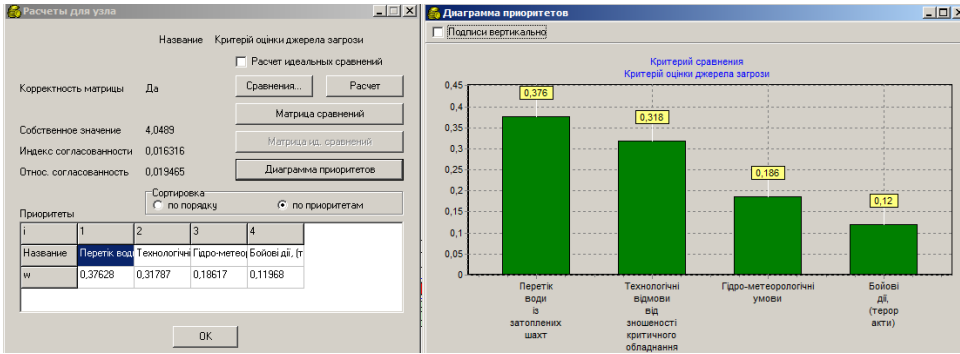


в)

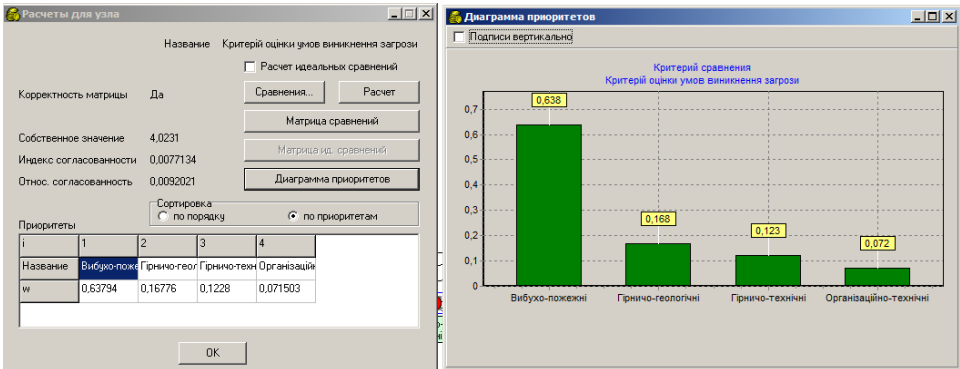


г)

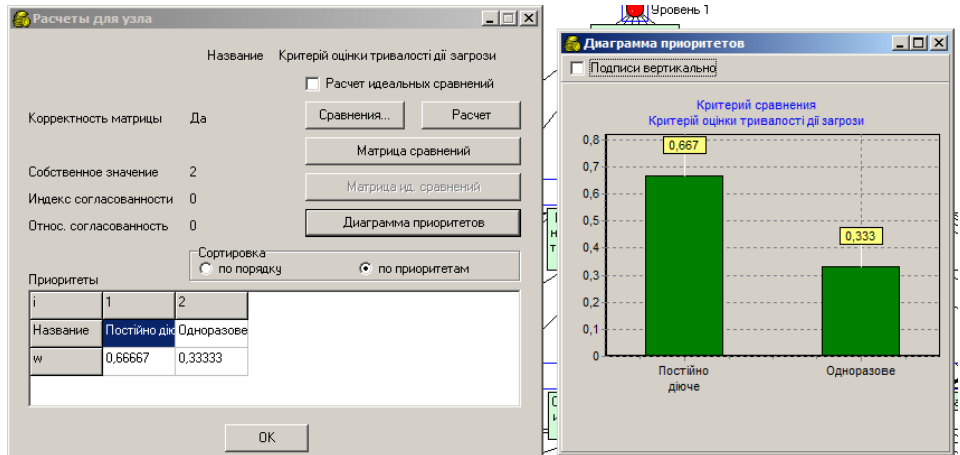
Рисунок 4 – Розподіл чинників впливу формування техногенно-екологічних умов для оцінки загроз НС для шахт ПАТ «Лисичанськвугілля»



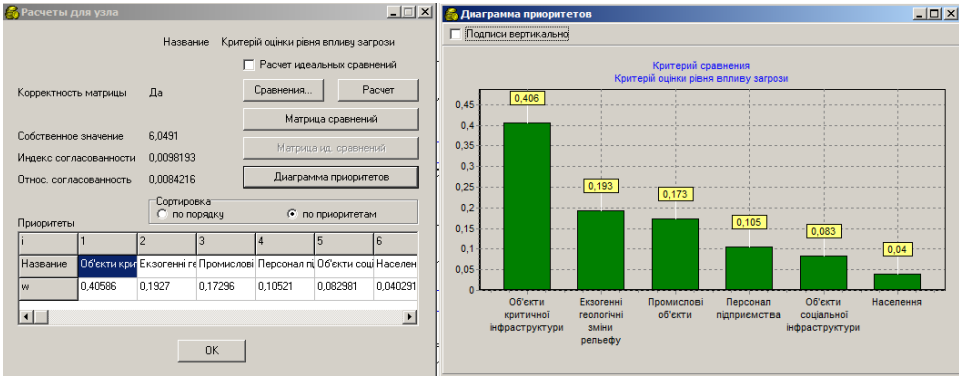
a)



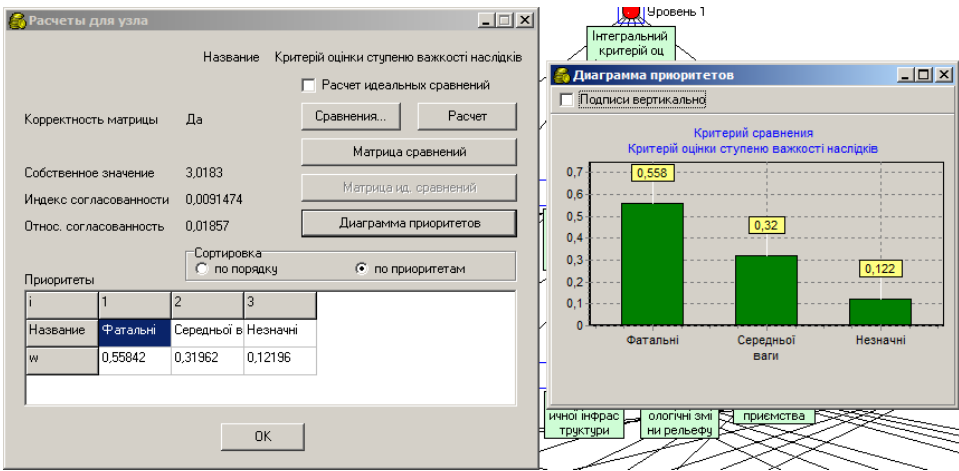
b)



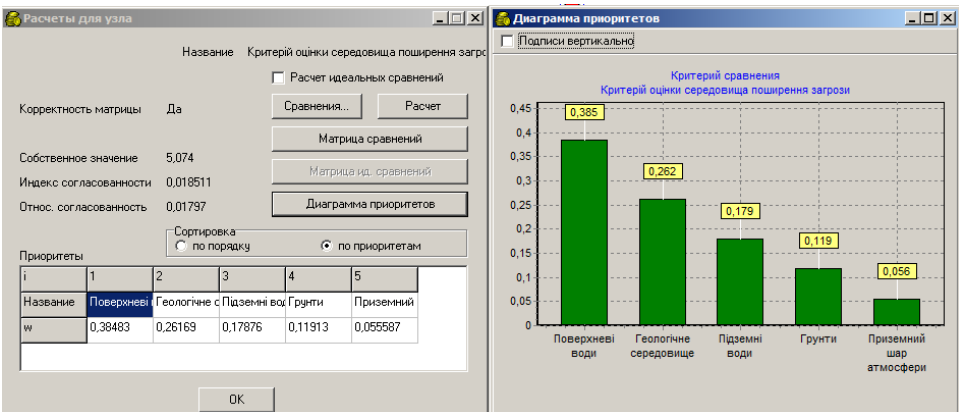
b)



г)



д)



е)

Рисунок 5 – Розподіл чинників впливу формування техногенно-екологічних умов для оцінки загроз НС для шахт ДП «Первомайськвугілля»

3. Перелік провідних чинників та сценаріїв їх розвитку у природно-техногенних умовах Донбасу

В даних умовах, що склалися на території проведення ООС, можна розглядати три сценарії розвитку ситуації на ПАТ «Лисичанськвугілля» та ДП «Первомайськвугілля».

Сценарій №1. Продовження сучасного стану експлуатації шахт.

1.1. Зростання ризиків НС гірничо-геологічного та гірничо-технічного походження (загроза затоплення гірничих виробок з наступним підйомом рівнів мінералізованих забруднених шахтних вод до денної поверхні, затоплення прилеглих забудованих територій додатковими осіданнями поверхні, вибухопожежонебезпечними виділеннями метану у підземні приміщення та приземну атмосферу).

1.2. Унеможливлення стабільної роботи шахтного комплексу (водовідлив, вентиляція, енергопостачання шахтного транспорту).

1.3. Погіршення економічних показників шахт та загроза розвитку соціальних напруг, враховуючи містоутворюючий характер шахт.

Для реалізації цього сценарію необхідні прискорена заміна критичного обладнання (насоси, вентилятори, транспортні засоби), нормативного забезпечення засобами індивідуального та колективного захисту, оптимізація схеми гірничо-добувних робіт.

Сценарій №2. Зняття шахт з експлуатації з наступним керуванням та некеруванням затопленням гірничих виробок.

А) При керуваному затопленні шахт виконуються НДР з обґрунтування швидкості підйому рівнів та безпечних глибин утримання рівнів шахтних вод. При цьому необхідно провести прогнозування можливої активізації небезпечних геологічних процесів (зсуви, підтоплення, просідання і т. ін.), ризику забруднення джерел питно-господарчого водопостачання (колодязі, свердловини, джерела), небезпечних витоків метану у підземні споруди та приземний шар атмосфери. Крім того, слід оцінити ділянки можливих деформацій денної поверхні та погіршення техніко-економічних умов експлуатації сусідніх шахт. Крім того, необхідна розробка заходів із забезпечення БЖД населення та попередження руйнування об'єктів критичної інфраструктури (водопровід, каналізація, системи енергопостачання і т. ін.).

Б) За умов некерованого затоплення шахт усі вищезазначені небезпечні екологічні процеси природного та техногенного походження будуть мати прискорений розвиток з наростанням ймовірності виникнення комплексних та ланцюгових НС (швидкоплинне руйнівне осідання поверхні та будівель, підтоплення та затоплення промислових і житлових споруд та ін.).

При реалізації обох варіантів затоплення шахт існує ризик аварійних проривів води на експлуатаційні горизонти внаслідок наявності некондиційних міжшахтних ціликів та значної тектонічної порушеності вуглепородного масиву.

Сценарій №3. Оптимізація експлуатації шахт за умов дотаційного режиму та реконструкції обладнання і фонду гірничих виробок.

3.1. Реалізація даного сценарію є можливою, враховуючи наявність резервних запасів вугілля та резерву потужності обладнання при його нормативному комплектуванні.

3.2. Досягнення стабільного режиму експлуатації шахт (150 тис. тонн на рік і більше) забезпечить стабілізацію техніко-економічних показників шахт (собівартість одної тонни, виробіток на одного робітника, стабілізація чисельності, відрахування у місцевий бюджет, своєчасний ремонт та придбання обладнання і т. ін.). Стабільний водовідлив та вентиляція шахт суттєво знизять ризик виникнення НС у гірничих виробках та на прилеглих до шахт територіях. Крім того, це значно знизить соціальну напругу та ризик виникнення НС соціально-економічного характеру.

Таблиця 3 – Сценарії розвитку ситуації на шахтах ПАТ «Лисичанськвугілля» та ДП «Первомайськвугілля»

№ пп	Направленість заходів щодо стабілізації функціонування шахт	Основні наслідки впровадження стабілізуючих заходів	Склад заходів щодо стабілізації
1	Сценарій №1. Продовження сучасного стану експлуатації шахт.	1. Зростання ризиків НС гірничо-геологічного та гірничо-технічного походження. 2. Унеможливлення стабільної роботи шахтного комплексу (водовідлив, вентиляція, енергопостачання шахтного транспорту). 3. Погіршення економічних показників шахт та загроза розвитку соціальної напруги, враховуючи містоутворюючий характер шахт.	
2	Сценарій №2. Зняття шахт з експлуатації з наступним керованим та некерованим затопленням гірничих виробок.	1. Кероване затоплення шахт: 1.1. Можлива активізація небезпечних геологічних процесів (зсуви, підтоплення і просідання і т. ін.). 1.2. Ризик забруднення джерел питно-господарчого водопостачання (колодязі, свердловини, джерела). 1.3. Небезпечні витоки метану у підземні споруди та приземний шар атмосфери. 1.4. Можливість деформацій денної поверхні та погіршення техніко-економічних умов експлуатації сусідніх шахт. 2. Некероване затоплення шахт унеможливає проведення більшості еколого-стабілізуючих заходів. В обох випадках існує ризик аварійних проривів води на експлуатаційні горизонти внаслідок наявності некондиційних міжшахтних ціликів та значної тектонічної порушеності вуглепородного масиву.	1. Обґрунтування швидкості підйому рівнів та їх безпечних глибин. 2. Оцінка ділянок можливої деформації денної поверхні житлових та промислових об'єктів. 3. Розробка заходів із забезпечення БЖД. 4. Запобігання руйнуванню об'єктів критичної інфраструктури (водопровід, каналізація, системи енергопостачання). Усі вищезазначені небезпечні екологічні процеси будуть мати прискорений розвиток.

Продовження таблиці 3

3	Сценарій №3. Оптимізація експлуатації шахт за умов дотаційного режиму та реконструкції обладнання і фонду гірничих виробок.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Залучення в експлуатацію резервних запасів вугілля. 2. Стабілізація і покращення техніко-економічних показників шахт. 3. Формування надходжень у місцевий бюджет. 4. Своєчасний ремонт та придбання обладнання. 5. Підтримка безпечного стану водовідливу, вентиляції та підготовчих, експлуатаційних та транспортних виробок. 6. Зниження загрози соціальних напруг та виникнення НС соціально-економічного характеру. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Досягнення оптимальної потужності вугле-видобутку (150 тис. тонн на рік і більше). 2. Поступова реконструкція фонду гірничих виробок та критичних систем (водовідлив, вентиляція, енергопостачання). 3. Нормативне забезпечення засобами індивідуального та колективного захисту.
---	---	---	--

Висновки

1. Усі шахти об'єднань ПАТ «Лисичанськвугілля» та ДП «Первомайськвугілля» є застарілими за строком експлуатації, мають низький видобуток вугілля, критичну зношеність обладнання (насоси, трубопроводи, електрообладнання), внаслідок чого є збитковими і не здатні забезпечити рентабельну роботу.

2. Вищезазначені фактори унеможливають своєчасний ремонт і заміну обладнання та реконструкцію критичного обладнання.

3. Значна протяжність виробок, складні системи водовідливу і вентиляції формують велику небезпеку затоплення з підтопленням прилеглих забудованих територій і загрозу виникнення пожежовибухових надзвичайних ситуацій за умов видобутку газових марок вугілля (Д, ДГ) та їх здатності до самозагоряння.

В той же час шахти мають достатні запаси вугілля для оптимальної роботи 10 і більше років.

4. Наявність у регіоні Донбасу значного еколого-ресурсного потенціалу дозволяє забезпечити подальший сталий розвиток регіону за умови наукового обґрунтування гранично-припустимих змін довкілля, створення комплексу математичних та комп'ютерних моделей провідних ПТГС, удосконалення системи моніторингу на основі впровадження сучасних ГІС та технологій дистанційного зондування Землі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Довгий С.О., Коржнев М.М., Трофимчук О.М., Чумаченко С.М., Яковлев Є.О. Екологічні ризики, збитки та раціональні межі використання надр в Україні. – К.: Ніка-Центр, 2013. – 314 с.
2. Гаврилюк Ю.Н., Ермаков В.К., Кренида Ю.Ф. Техногенные последствия закрытия угольных шахт Украины. – Донецк: Норд-Прес, 2004. – 632 с.
3. Яковлев Є.О., Чумаченко С.М. Сучасний стан геологічного середовища Донбасу. // Довгий С.О., Коржнев М.М., Трофимчук О.М., Чумаченко С.М.,

- Яковлев С.О. та ін. Асиміляційний потенціал геологічного середовища України. Монографія. – К: Ніка-Центр, 2016. – С. 109–128.
4. Амоша О.І. Стан, основні проблеми і перспективи вугільної промисловості України: наук. доп. / О.І. Амоша, Л.Л. Стариченко, Д.Ю. Череватський; НАН України, Ін-т економіки пром-сті. – Донецьк, 2013. – 44 с.
 5. Pederson P., Dudenhoefter D., Hartley S., Permann M. Critical Infrastructure Interdependency Modeling: A Survey of U.S. and International Research // Idaho Falls, Idaho: Idaho National Laboratory, 08.2006, 126 p.
 6. Council Directive 96/82/EC of 9 December 1996 on the control of major-ident hazards involving dangerous substances. (Директива Ради 96/82/ЄС від 9 грудня 1996 р. про контроль над загрозою великих аварій з небезпечними речовинами). – 10 с.
 7. Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks (Директива 2007/60/ЄС Європейського парламенту й Ради від 23 жовтня 2007 р. про оцінку й керування ризиками повеней). – 24 с.
 8. EU Risk Assessment and Mapping Indelines for Disaster Management. Brussels 21.12.2010 SEC (2010) 1626 final. (Керівництво Єврокомісії по оцінці стихійних лих. Брюссель 21.12.2010 SEC (2010) 1626 остаточний). – 68 с.
 9. Саати, Т. Аналитическое планирование. Организация систем [Текст] / Т. Саати, К. Кернс. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
 10. Доповідь щодо ситуації з правами людини в Україні 16 травня – 15 серпня 2017 року. Управління Верховного комісара Організації Об'єднаних Націй з прав людини. – В-во ООН, 2017. – 47 с.
 11. Н. Гусева, О. Задесенцев. Типологічні ознаки Северодонецько-Лисичанської агломерації // Економічна та соціальна географія. – Київ, 2017. – Вип. 77. – С. 10–18.
 12. В. Потапенко Еколого-техногенні загрози національній безпеці України. [Електронний ресурс]: http://green-economics.org.ua/uk/author/v_potapenko/page/2/
 13. Yevhenii Yakovliev, Sergiy Chumachenko. Ecological Threats in Donbas, Ukraine – Centre for Humanitarian Dialogue, Geneva, Switzerland. – С. 60.
 14. Биченок М.М., Яковлев С.О., Іванюта С.П. Ризики життєдіяльності у природно-техногенному середовищі. – К. Ін-т пробл. нац. безпеки Ради нац. безпеки і оборони України, 2008. – 160 с.
 15. Закон України «Про основи національної безпеки України» від 19 червня 2003 р. №964-IV, <http://zakon2rada.gov.ua/lavs/show/964-15>
 16. Кодекс цивільного захисту України від 2 жовтня 2012 р. № 5403 VI, <http://zakon2rada.gov.ua/lavs/show/5403-17>
 17. Ніколай Денісов, Дмитро Аверін, Алла Ющук, Віктор Єрмаков, Олег Улицький, Павло Бистров, Сергій Зібцев, Сергій Чумаченко, Юрій Набиванець. Оцінка екологічної шкоди та пріоритети відновлення довкілля на Сході України – К.: ВАІТЕ, 2017. – 88 с. ISBN 978-966-2310-77-1

Стаття надійшла до редакції 27.09.2018.

УДК 004.659

В.О. ПОДЛІПАЄВ, В.О. ШУМЕЙКО, О.В. АТРАСЕВИЧ

АТРИБУТИВНИЙ ПОШУК ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ТА ІНФОРМАЦІЇ ПРО ГЕОПРОСТОРОВІ ОБ'ЄКТИ У ТРАНСДИСЦИПЛІНАРНОМУ ІНФОРМАЦІЙНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

***Анотація.** Наведено один з підходів пошуку необхідних даних з різномірних інформаційних ресурсів. Використання цих ресурсів здійснюється шляхом формування інформаційного середовища на основі трансдисциплінарності. Цей підхід запропоновано з метою підвищення оперативності інформаційного забезпечення геопросторового аналізу.*

***Ключові слова:** трансдисциплінарність, геопросторові дані, геопросторовий об'єкт, пошук даних, інформаційне середовище, геопросторовий аналіз.*

Вступ

Особливостями сьогодення є швидкість подій, багатовекторність і територіальна глобальність розвитку суспільства. Безумовно, будь-яке суспільство прагне до бажаного та якісного розвитку. Це можливо лише за умов керованості процесу розвитку, який безпосередньо залежить від правильності та своєчасності прийняття управлінських рішень у різних сферах життя та діяльності суспільства. Зазначені особливості значно впливають на прийняття цих рішень. Запорукою якісного управління є достатній обсяг необхідної інформації, моніторинг ситуації у часі і просторі та прогнозування її розвитку. Все відбувається у реальному світі і тому має безпосередню або опосередковану прив'язку до конкретного простору або об'єкту на Землі.

Таким чином, ми бачимо, що ефективне управління без геопросторових даних та геопросторового аналізу неможливо [1].

1. Актуальність порушеного питання

Перше, з чого починається робота з геопросторовою інформацією після з'ясування задачі та визначення потрібної нам інформації, – це оцінка наявної інформації та джерел отримання даних, яких не вистачає [2].

У світі на сьогодні виробляється величезний обсяг геопросторових даних, які мають різні спрямованості, сформовані у різних форматах та зберігаються у різних базах даних, причому з різним рівнем систематизації (від простих файлів до складних систем). Це різноманіття зростає і збільшується щодня.

Вирішення конкретної задачі може потребувати використання геопросторових даних різної спрямованості та з різних джерел, що в свою чергу зумовлює необхідність роботи з декількома інформаційними ресурсами. Причому вони, як правило, мають різну природу побудови, структуру представлення даних та алгоритми їх оновлення, накопичення та зберігання [3].

Зовнішній вигляд, структура та зручність конкретного інформаційного ресурсу, а також формати зберігання в ньому даних значно не впливають на пріоритетність використання саме його. Головне – це наявність в цьому ресурсі тих даних, які нам потрібні, їх актуальність і достатність та можливості оновлення і збільшення. Однак беззаперечним є те, що ергономічні і технічні характеристики інформаційних ресурсів значно впливають на побудову алгоритмів використання даних цих ресурсів.

Тому постає актуальне питання – розробка методу використання такого різноманіття інформаційних ресурсів, а саме методу пошуку в них потрібної інформації та її використання при проведенні геопросторового аналізу.

2. Загальна постановка задачі

У ході ведення геопросторового аналізу виникає постійна потреба у геопросторових даних про певну територію та об'єкти і події (явища), які на ній розташовані і відбуваються. А також будь-яка інша інформація, що стосується території, об'єктів і подій (явищ), які є об'єктом геопросторового аналізу (рис. 1).

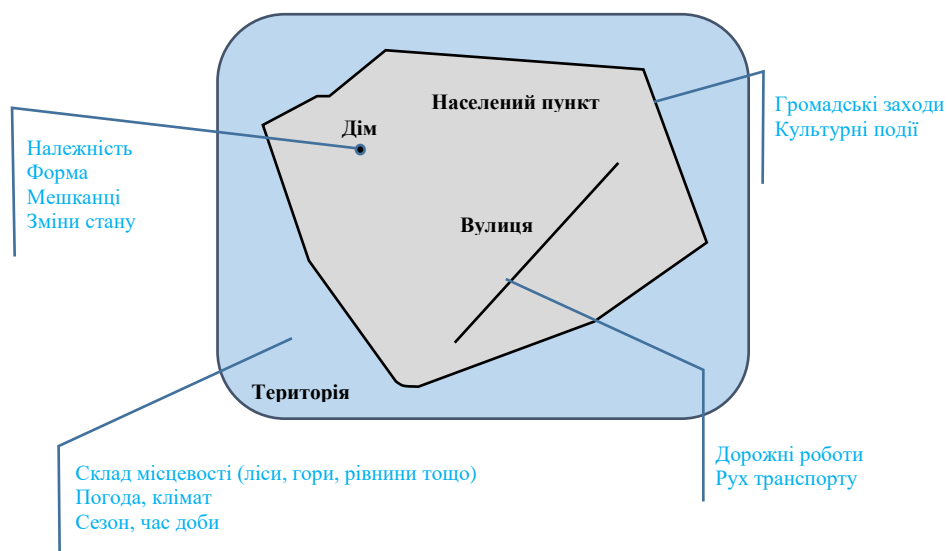


Рисунок 1 – Дані, які можуть використовуватися у геопросторовому аналізі

Дуже багато необхідної інформації знаходиться в інформаційних ресурсах, в яких дані зберігаються у вигляді тексту (друковані і відскановані документи, текстові файли, веб-сторінки та сайти тощо).

Прикладами таких ресурсів є:

- короткі набори текстів, які можуть надаватися та зберігатися окремо або можуть бути зведені за тематичним принципом або за хронологією подій (повідомлення, донесення, рапорти, новини тощо);
- набори текстів значно більших об'ємів, які описують одне або декілька пов'язаних питань (статті, довідки, звіти тощо);

– великі тексти, які присвячені одній тематиці або являють собою довідковий матеріал із значної кількості питань (праці, твори, збірники, атласи, довідники тощо).

Всі ці тексти можуть містити зображення і таблиці, а геопросторова інформація в них представлена у вигляді координат і географічних назв, згадувань та описів місцевості або об'єктів, місцезнаходження яких відомо.

Постає проблема швидкого пошуку та отримання необхідних даних з таких ресурсів. Якщо ці ресурси постійно використовуються, а інформація в цих ресурсах постійно оновлюється і достатньо швидко накопичується, то ця проблема значно ускладнюється.

У зв'язку із цим виникає необхідність створення таких сучасних технологій, які забезпечують представлення інформації, яка зберігається в різноманітних інформаційних ресурсах, у такому вигляді, який дозволяє найбільш ефективно використовувати інтегровані ресурси для інформаційного забезпечення геопросторового аналізу.

Причому основною умовою є те, що впливати на архітектуру інформаційних ресурсів та політику оновлення та накопичення в них даних ми не можемо. Тому вирішити цю проблему шляхом безпосередньої їх адаптації під наші задачі фізично дуже складно та недоцільно.

3. Формування трансдисциплінарного інформаційного середовища

Ефективним вирішенням визначеної проблеми є інтеграція інформаційних ресурсів за трансдисциплінарним підходом, принципи якого закладені у системі ІТ-ТОДОС [4, 5] (рис. 2).



Рисунок 2 – Інтеграція різнорідних інформаційних ресурсів у геопросторовому аналізі

Реалізація механізмів трансдисциплінарного представлення геопросторової інформації та пов'язаного з нею контекстного змісту дозволить підвищити оперативність отримання необхідних даних, що значно покращить ефективність інформаційного забезпечення геопросторового аналізу.

Якщо розглядати геопросторовий аналіз як продукт людської діяльності, то слід відмітити, що він носить когнітивний характер. Однією з ознак когнітивності є гіпервластивість рефлексії. На її основі можливо виділення певних фрагментів усієї множини документів, що розглядаються.

У цьому випадку можна виділити певні фрагменти (контексти), що відображають змістовність інформації, яку треба використати для вирішення певної задачі. Для зручності її сприйняття при веденні геопросторового аналізу їх можна представляти за допомогою геоінформаційних систем [6] (рис. 3).



Рисунок 3 – Представлення даних на ГІС-платформі

Однак при геопросторовому аналізі нам потрібна не вся інформація, яка знаходиться у тексті, а тільки та, що відповідає питанням аналізу. Тому постає задача, яким чином вибрати цю інформацію.

Виходом з цієї ситуації є аналіз змісту тексту з метою визначення інформації, яка контекстно пов'язана з геопросторовим об'єктом або об'єктом геопросторового аналізу.

4. Контекстні атрибути

Для ефективної роботи алгоритмів відбору саме тієї інформації, яка нам потрібна, ми вводимо критерії (категорії), за якими ця інформація буде відбиратися. Ці критерії повинні бути описані певними атрибутами.

Для цього, нам необхідно сформувати набір контекстних атрибутів геопросторових об'єктів. Ці атрибути не є класичними для геопросторових об'єктів і не визначають їх просторові характеристики та положення в просторі, а несуть смислове навантаження для відбору текстів, які підходять за контекстом.

Наприклад:

населений пункт – це геопросторовий об'єкт у вигляді ділянки території, що визначається як полігон, який має атрибути.

Класичні атрибути:

назва, координати, периметр, площа, розміри (ширина, довжина), форма.

Контекстні атрибути:

за напрямком оборони і розвідки (рис. 4):

рух, наявність або застосування озброєння, військової техніки або сил противника;

робота диверсійних груп;

наявність та використання фортифікаційного обладнання, інженерні роботи;

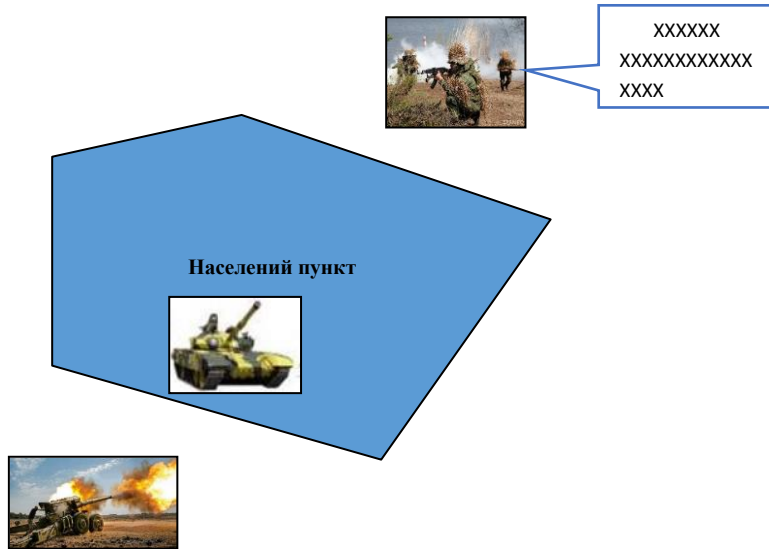


Рисунок 4 – Представлення на ГІС-платформі знайдених даних за напрямком оборони і розвідки

за напрямком екологічної безпеки:

викидання сміття;

наявність шкідливих виробництв та їх діяльність;

зміни у стані зелених насаджень та водойм;

за соціально-культурним напрямком:

проведення культурних та масових заходів;

туристичні та спортивні заходи.

Контекстні атрибути формуються в залежності від спрямованості геопросторового аналізу та інформаційного поля, в якому розглядається геопросторовий об'єкт.

Висновки

Таким чином, в результаті застосування трансдисциплінарного підходу та використання контекстних атрибутів можливо організувати ефективне інформаційне забезпечення геопросторового аналізу. А подальша інтеграція вибраної інформації за допомогою геоінформаційних систем дозволить покращити її сприйняття при прийнятті управлінських рішень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кухарський І.А. Визначання та основні поняття геопросторової розвідки / І.А. Кухарський, В.О. Подліпаєв, О.В. Атрасевич, В.О. Шумейко // Системи обробки інформації. – 2013. – № 6(113). – С. 96–98.
2. Подліпаєв В.О. Геопросторова розвідка, як шлях реалізації геоінформаційного підходу у комплексній обробці розвідувальної інформації / В.О. Подліпаєв // Системи обробки інформації. – 2013. – № 5(112). – С. 53–55.
3. Кухарський І.А. Створення бази геопросторових даних об'єктів розвідки з використанням даних дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем / І.А. Кухарський, В.О. Подліпаєв, О.В. Атрасевич, В.О. Шумейко // Системи озброєння і військова техніка. – 2013. – № 2(34). – С. 111–113.
4. Стрижак А.Е. Онтологические аспекты трансдисциплинарной интеграции информационных ресурсов / А.Е. Стрижак // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии, 2014. № 65. – С. 211–223.
5. Величко В.Ю. ТОДОС – ІТ-платформа формування трансдисциплінарних інформаційних середовищ / В.Ю. Величко, М.А. Попова, В.В. Приходнюк, О.Є. Стрижак // Системи озброєння і військова техніка. – 2017. – № 1(49). – С. 10–19.
6. Приходнюк В.В. Онтологічна ГІС, як засіб впорядкування геопросторової інформації / В.В. Приходнюк, О.Є. Стрижак // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 2(27). – С. 167–174.

Стаття надійшла до редакції 24.10.2018.

МАТЕМАТИЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 504.062 + 528.8

О.С. ГРЕБЕНЬ, О.М. ТРОФИМЧУК

ОЦІНКА ВПЛИВУ ТВЕРДОГО СТОКУ ІЗ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ДІЛЯНОК НА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРИЛЕГЛИХ ВОДОЙМИЩ

***Анотація.** Розглянуто проблему визначення шляхів та об'ємів виносу твердого стоку із сільськогосподарських угідь внаслідок надлишкового вживання агрохімічних добрив під впливом метеорологічних факторів із залученням комплексного підходу моніторингу ситуації за даними дистанційних і контактних досліджень.*

***Ключові слова:** дистанційне зондування, геоінформаційна система, сільськогосподарське виробництво, екологія.*

Вступ

Рациональне використання природних ресурсів – основа перспективності життєдіяльності людства. Безпека життєдіяльності людини, як і будь-яких інших живих організмів на планеті, напряму залежить від того, як використовується довкілля і до якого часу можна буде користуватись його ресурсами. Ігнорування існуючих проблем створює ланцюгову реакцію, що починається з егоїстичних прагнень отримати більшу фінансову вигоду від сільськогосподарського виробництва за рахунок внесення більшої кількості нітратних добрив та закінчується цвітінням та замулюванням водоймищ, зникненням біологічного різноманіття їх мешканців, погіршенням показників придатності води до споживання людиною та, як наслідок, – погіршенням здоров'я людини. Саме тому слід приділяти значну увагу процесам поводження із атмосферою, ґрунтовим покривом, водними екосистемами та іншими природними ресурсами не тільки у розрізі проблем окремої екосистеми, а й з урахуванням їх залежностей та взаємодій між собою. Структура функціонуючої системи оцінки екологічного стану регіону є недосконалою, оскільки вона не здійснює моніторинг взаємодії між окремими екологічними категоріями, наприклад, такими як використання ресурсів ґрунтового покриву для сільськогосподарського зернового виробництва із функціонуванням прилеглих водних екосистем, а саме не враховує проблему впливу вживання агрохімічних добрив на розвиток

процесів евтрофікації водоймищ. Для створення та функціонування такої системи необхідне комплексування даних дистанційних та контактних вимірювань та розрахунків за ними ряду показників, що слугуватимуть інформативною основою для оцінки стану екосистем, визначення факторів негативного впливу на них та є базою знань для прийняття стратегічних рішень управління екологічною безпекою регіону дослідження.

1. Можливості дистанційних методів дослідження

Дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) являють собою мультиспектральні знімки земної поверхні із космосу. За різницею показників коефіцієнтів відбиття спектральної яскравості об'єктів на знімку у різних спектральних діапазонах, а також за певним поєднанням знімків різних діапазонів отримують тематично наповнене зображення, на якому кольорами виділені відповідні типи об'єктів. Кількість каналів та їх порядкова організація у різних космічних системах (КС) відрізняються, тому для кожної окремої КС комбінація номерів каналів зображення є різною і тому під час такої роботи слід враховувати саме спектр зйомки, а не номер каналу.

Для оцінки вологозабезпеченості та стану вегетації рослинності за даними ДЗЗ розраховуються вегетаційні індекси:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

NIR – значення відображення в ближній інфрачервоній області спектра,
RED – значення відображення в червоній області спектра;

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}, \quad (2)$$

NIR – значення відображення в ближній інфрачервоній області спектра,
SWIR – значення відображення в короткохвильовій інфрачервоній області спектра;

$$GVI = -0.2848 * Blue - 0.2435 * Green - 0.5436 * Red + 0.7243 * NIR + 0.0840 * SWIR - 0.1800 * SWIR. \quad (3)$$

NDVI відображає різницю у ступенях вегетації рослинності по кожному полю, NDWI – рівень зволоженості поверхні, GVI – щільність фотосинтетично активної біомаси.

За теоретичною інформацією [1] час змиву 18-сантиметрового шару важкосуглинистого ґрунту при крутизні схилу 10° при вирощуванні орної монокультури складає 15 років, а при вирощуванні різних культур у сівозміні – 70 років. Цей факт окреслює важливість використання сівозмін для збереження потенціалу ґрунтів.

Великою проблемою є винесення добрив з територій с/г угідь. Зазвичай це пов'язано з неправильним їх внесенням, наприклад, якщо взимку чи з ранньої весни їх вносять на промерзлу або вкриту снігом землю. У таких

випадках, коли поверхня ділянки вкрита скоринкою льоду та інфільтрація води знижена, з ділянок, що мають навіть незначний нахил (0,008...0,014), з поверхневим стоком виносяться 50...100% аміачної селітри, 40...70 – калію, 30...40 – фосфору, 40...60 – вапна, від загально внесеної кількості добрив [2]. Для того щоб уникнути цих наслідків, треба вивчати метеорологічну інформацію та правильно планувати час на виконання робіт зі внесення відповідних об'ємів хімічних добрив.

Оцінити потенційне змиття ґрунтового покриву під дією процесів вітрової та водної ерозії можливо після побудови цифрової моделі місцевості (ЦММ). Основою для цієї моделі можуть слугувати дані радарної топографічної космічної зйомки (SRTM). Побудова моделі рельєфу дозволяє оцінити ризики виникнення ерозійних процесів на окремо взятих ділянках за рахунок обчислення кутів нахилу поверхні.

Маючи інформацію про нахил поверхні ділянки, кількість внесених на неї добрив, їх агрохімічний склад, а також проаналізувавши метеорологічні обставини, можливо розрахувати теоретичні об'єми винесення твердого стоку (поелементно). Факт здійснення цього процесу перевіряється шляхом контактних вимірювань контрольних проб води.

2. Дані контактних вимірювань

Явище змиву ґрунту пов'язано з відривом від поверхневого шару окремих часток та цілих агрегатів. Механізм змиву ґрунту можна представити як взаємодію еродуючої сили потоку F_{ep} , який діє на частку, із силою зчеплення частки з ґрунтом $F_{зч}$. Еродуюча сила потоку, що діє на частку, залежить від швидкості потоку v , товщі шару води h та відношення маси частки m до площі її поперечного розрізу S [2]:

$$F_{ep} = f \cdot \left(F_{зв} \cdot v, h, \frac{m}{S} \right), \quad (4)$$

сила F_{ep} зростає з підвищенням v та h та зменшенням m/S .

Сила зчеплення ґрунтової частки $F_{зч}$, у свою чергу, залежить від щільності частки ρ та міцності її зв'язку з іншими частками $F_{зв}$, що залежить від наявності у ґрунті колоїдів та багатьох інших факторів [2]:

$$F_{зч} = f \cdot (\rho, F_{зв}); \quad (5)$$

ерозія виникає тоді, коли F_{ep} стає більше $F_{зч}$.

Інтенсивність ерозії Q обчислюється як втрачання ґрунтом його маси m з одиниці площі S за одиницю часу t та виражена у т/га або мм/р [2]:

$$Q = \frac{m}{S \cdot t}. \quad (6)$$

Річну інтенсивність ерозії оцінюють за рядом показників: за об'ємом ґрунту, що винесений з промоїн та ярів на даній території; за приростом площі, яку займає яр чи промоїна; за збільшенням їх загальної протяжності.

У місцях, де швидкість потоку падає, мінеральні частки осідають, що створює надлишкові пролювіальні та делювіальні наноси та намивання ґрунту.

Згідно з ДСТУ 17.4.4.03-86 річні ґрунтові втрати у тоннах на гектар визначаються за формулою [6]:

$$A = RKLSCP, \quad (7)$$

- R* – фактор еродуючої здатності дощів;
- K* – фактор схильності ґрунту до процесів ерозії, т/га;
- L* – фактор довжини схилу;
- S* – фактор крутизни схилу;
- C* – фактор рослинності та сівозміни;
- P* – фактор ефективності протиерозійних заходів.

Для визначення цих показників треба мати базу знань про територію дослідження, що має складатись із карти еродуючої здатності дощів (формується за результатами обробки метеорологічних архівів), картограми агропробних груп ґрунтів, цифрової моделі місцевості, карти робочих ділянок із даними про сівозміну, інформації про склад культур у сівозміні.

Коли об'єми внесених добрив відомі, розраховано їх потенційні кількості та напрямки міграції до водних екосистем, постає питання оцінки зниження екологічних показників водоймищ. Для цього необхідно провести контрольний відбір проб води та порівняння її показників із ПДК. У таблиці 1 наведені загальні хімічні характеристики показників прісних водоймищ (за цільовим призначенням) [3].

Таблиця 1 – Загальні вимоги до складу і властивостей води водних об'єктів

Показники складу	Призначення водоймища	
	господарчо-питне	рибогосподарче
1. Зважені речовини (вміст зважених речовин, в порівнянні з природними, не повинен збільшуватися більш ніж на)	0,25 мг/дм ³	0,75 мг/дм ³
2. Плаваючі домішки	На поверхні водоймища не повинні виявлятися плаваючі плівки, плями мінеральних масел і скупчення інших домішок	
3. Реакція	6,5-8,5 одиниць рН	
4. Розчинений кисень	Не має бути менше 4 мг/дм ³ в будь-який період року в пробі, відібраній до 12-ї години дня	
5. Біохімічне споживання кисню		3,0 мгО ₂ /дм ³
6. Сульфати (аніон)	500 мг/дм ³	100 мг/дм ³
7. Хлориди (аніон)	350 мг/дм ³	300 мг/дм ³
8. Нітрат іони (по азоту)	10 мг/дм ³	9,1 мг/дм ³
9. Аміак (по азоту)	2,0 мг/дм ³	0,05 мг/дм ³
10. Збудники захворювань	Вода не повинна містити збудників захворювань. Господарчо-побутові стічні води мають бути незаражені до колі-індексу не більше 1000 в 1 літрі при залишковій концентрації хлору не менше 1,5 мг/дм ³	

Згідно з регіональною доповіддю по Харківській області за 2015 рік у водоймищах Зачепилівського району в цілому спостерігається перевищення вмісту нітратів з кратністю до 2,5 ГДК.

Однак у Зачепилівському районі відмічалось зменшення питомої ваги нестандартних проб за санітарно-хімічними показниками (2,64% за 2015 рік проти 6,14% за 2014 рік). Стан води сільських водогонів за мікробіологічними показниками в цілому по Харківській області показував негативну динаміку, а саме: у 2015 році – 7,5% проб з відхиленням від нормативу, у 2014 році – 5,5%.

У воді, відібраній з колодязів на території Харківської області, найчастіше відмічалось перевищення нормативних показників за вмістом нітратів, заліза, сульфатів, показником загальної жорсткості [4].

Індекс забрудненості води (ІЗВ) розраховується як сума приведених до ГДК фактичних значень показників якості для основних забрудників води [5]:

$$ІЗВ = \sum_{i=1}^n \frac{C_i \cdot ГДК_i}{n}, \quad (8)$$

C_i – концентрація нормативного компонента, мг/дм³;

$ГДК_i$ – встановлена величина концентрацій компонента для відповідного типу водойми, мг/дм³;

n – число показників, що використовуються, для розрахунку ІЗВ.

У таблицях 2 і 3 наведено розподілення водоймищ за класами якості та придатності до використання [4, 5].

Таблиця 2 – Класи якості природних вод в залежності від значень ІЗВ

Рівень забрудненості води	Значення ІЗВ	Класи якості вод
Дуже чисті	До 0,2	1
Чисті	0,2 – 1,0	2
Помірно забруднені	1,1 – 2,0	3
Забруднені	2,1 – 4,0	4
Брудні	4,1 – 6,0	5
Дуже брудні	6,1 – 10,0	6
Надзвичайно брудні	> 10,0	7

Таблиця 3 – Придатність води до використання

Значення ІЗВ	Клас якості води	Оцінка якості води	Використання води	
			господарчо-питне	рибогосподарче
Менше або дорівнює 0,2	I	дуже чисті	придатні	придатні
Більше 0,2-1	II	чисті	придатні	придатні
Більше 1-2	III	помірно забруднені	придатні з очисткою	придатні для деяких видів риб
Більше 2-4	IV	забруднені	не придатні	не придатні
Більше 4-6	V	брудні	не придатні	не придатні
Більше 10	VI	надзвичайно брудні	не придатні	не придатні

3. Практичні аспекти оцінки на прикладі ділянок ПСП імені Фрунзе, розташованого у Зачепилівському районі Харківської області

За даними землекористувача на земельних ділянках ПСП імені Фрунзе у 2018 році були внесені наступні агрохімічні добрива (табл. 4):

Таблиця 4 – Внесення добрив на земельних ділянках ПСП імені Фрунзе у 2018 році (по культурах)

Культура	Формула	т/га
Озима пшениця	NPK-15+N46	100+160
Ячмінь	N 46	100
Соняшник	NPK16	120
Кукурудза	N46	120
Горох	N46	100

Детальніше характеристики вказаних добрив розглянуті у таблиці 5.

Таблиця 5 – Характеристики вживаних добрив

Формула	Культура, що обробляється	Норма витрат препарату	Концентрація діючої речовини	Препаративна форма
NPK-15	зернові колосові	150-350 кг/га	N – 15%, P ₂ O ₅ – 15%, K ₂ O – 15%, S – 10%	Гранули
N46	кукурудза, горох	20 кг/га – при позакореновому підживленні; 200 кг/га – при посівних роботах	(NH ₂) ₂ CO, допустима концентрація розчину для позакоренового підживлення 5-15%	Амідне добриво, водорозчинне
NPK-16	зернові колосові	90-120 кг/га	N – 16%, K – 16%, P – 16%	Гранули

На земельних ділянках ПСП імені Фрунзе, розташованих поруч із водоймищами (за результатами обробки даних ДЗЗ та подальшого аналізу даних SRTM) були обчислені кути нахилу поверхні та відповідно виявлені місця протікання процесів водної та вітрової ерозії. Проведено аналіз вживання добрив на цих ділянках (за апріорною інформацією від землекористувача) з метою розрахунку потенційних об'ємів винесення твердого стоку та його хімічного складу. Також в цих місцях були відібрані проби води (для подальшого лабораторного аналізу) та проаналізовані норми ГДК хімічних речовин у водних об'єктах.

Результати проведеної експертизи хімічного складу водних проб:

- 1) БСК₅ – 4,23 мгО₂/дм³ (перевищено норму ГДК СанПін (3,2) [4]);
- 2) ХСК – 24,1 мгО/дм³ (перевищено норму ГДК СанПін (15) [4]);
- 3) Азот амонійний – 0,4 мг/дм³;
- 4) Фосфати – 2,34 мг/дм³;
- 5) Жорсткість – 14,5 ммоль/дм³ (перевищено норму ГДК СанПін (7) [4]);
- 6) Цезій-137 – 0,048 Бк/дм³, кг;
- 7) Нітрати – 132 мг/дм³ (перевищено норму ГДК СанПін (45) [4]).

За цими показниками був розрахований індекс забруднення води ІЗВ = 2,63 (забруднена, за індексом екологічності Іе – 3-й клас, 4-а категорія).

Висновки

Комплексність використання даних дистанційних та контактних вимірювань зменшила часові та матеріальні витрати на отримання та обробку первинних даних про регіон дослідження. Аналіз даних ДЗЗ дозволив виявити ступінь схильності земельних ділянок до розвитку ерозії та оцінити ймовірність її впливу на екологічні характеристики прилеглих водоймищ. Цілком можливо допустити, що результатом забруднення водоймищ є не тільки наслідки сільськогосподарського виробництва, а й інші чинники, але їх негативний вплив доводиться кореляцією показників, що перевищені за ГДК із використанням відповідних за хімічним складом добрив на територіях прилеглих сільгоспділянок, а отже, доведена ефективність наведеної методики для оцінки екологічного стану регіону.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лялько В.І. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / В.І. Лялько, М.О. Попов, О.Д. Федоровський, О.Т. Азімов, О.А. Апостолов – Монографія. К.: Наук. думка, 2006. – 358 с.
2. Толчельников Ю.С. Эрозия и дефляция почв. Способы борьбы с ними / Ю.С. Толчельников – Учебное пособие. М.: Агропроиздат, 1990. – 156 с.
3. Нормування антропогенного навантаження на природне середовище. Конспект лекцій для студентів денної та заочної форми навчання напряму підготовки 6.040106 Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування / Укладач Назаренко О.С. – Рубіжне: ІХТ СНУ, 2011 – 115 с.
4. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Харківській області у 2015 році [Текст] / Х.: 2016 – 216 с. Режим доступу: <https://menr.gov.ua/files/docs/ХАРКІВСЬКА%20ОБЛАСТЬ.pdf>

5. Наукові основи створення системи інтегральних біоценотичних методів контролю водних систем (на прикладі р.Інгулець). Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека [Текст] / Вільдман І.Л. – К.: КНУБА, 2015. – 134 с. Режим доступу: <http://www.knuba.edu.ua/ukr/wp-content/uploads/2016/02/dis.pdf>
6. ГОСТ 17.4.4.03-86. Почвы. Метод определения потенциальной опасности эрозии под воздействием дождей [Текст] / М.: 2008. – 6 с. Режим доступу: <http://www.klubok.net/gost/index/29/29045.htm>

Стаття надійшла до редакції 27.08.2018.

УДК 519.6, 550.8

М.Л. МИРОНЦОВ

ПОХИБКА ТА ЕКВІВАЛЕНТНІ РОЗВ'ЯЗКИ ОБЕРНЕНОЇ ЗАДАЧІ ЕЛЕКТРОМЕТРІЇ СВЕРДЛОВИН

***Анотація.** Розглянуто питання зв'язку похибки каротажу з похибкою розв'язання оберненої задачі. Описано спосіб визначення похибки оберненої задачі в залежності від похибки каротажу для заданої моделі пласта. Наведено приклади визначення похибки оберненої задачі для реального свердловинного матеріалу.*

***Ключові слова:** обернена задача, еквівалентні розв'язки, каротаж, електрометрія свердловин, геофізичне дослідження свердловин.*

Вступ

Математика як наука виникла у зв'язку з необхідністю вирішення практичних завдань: вимірювання на місцевості, навігації, торгівлі. Тому вона була в першу чергу числовою наукою. Її метою було отримання розв'язку у вигляді конкретного числа. Але майже будь-який числовий розв'язок передбачає похибку. Що ж тоді розуміти під точним числовим розв'язком?

Розглянемо питання визначення числового значення ірраціонального числа π . Цілком очевидно, що ми не можемо його записати в явному вигляді повністю. Ми можемо записати тільки якусь його округлену частину. Але чи означає це, що задача обчислення його значення не має точного числового розв'язку і будь-який її розв'язок буде отримано з похибкою?

Якщо питання похибки виникає в такому простому прикладі, його не можна не розглядати в задачах, які мають практичну спрямованість. Особливо якщо врахувати, що ГДС є однією з найбільш числових областей науки у буквальному розумінні цього слова: замовника геофізичних послуг цікавлять числа, а саме цифра кількості можливого корисного флюїду і цифра можливої швидкості його видобутку у конкретній свердловині.

Природно, що всі дані, одержані неточно, але необхідні для розрахунку цих двох чисел, вносять свою похибку в загальний результат. Таким чином, для розуміння підсумкової похибки остаточного результату нам необхідно проаналізувати, на якому етапі вирішення задачі яка похибка виникає і як вона впливає на остаточний результат.

Також нам необхідно визначитися, що ж все-таки слід розуміти під точним числовим розв'язком.

Виникнення похибки розв'язання оберненої задачі може бути обумовлене, наприклад, наступними причинами:

- 1) її математичний опис є неточним, зокрема неадекватно або неточно описана сама модель чи її параметри тощо;
- 2) метод, що застосовується для її вирішення, не є точним;
- 3) при введенні даних в ЕОМ, при виконанні арифметичних операцій і при виведенні даних здійснюється округлення.

Похибки, що відповідають цим причинам, називають:

- 1) неусувною похибкою,
- 2) похибкою методу,
- 3) обчислювальною похибкою.

Чи означає наявність однієї або декількох таких похибок неможливість точного числового розв'язання?

Для початку наведемо в якості ілюстрації приклад ЕК. Розглянемо числове моделювання лабораторного експерименту визначення коефіцієнта зонда в електролітичній ванні. Рівняння, яке описує розподіл потенціалу (рівняння Лапласа):

$$\Delta U = 0.$$

Похибка моделі відразу закладена у самому рівнянні: ми припускаємо, що середовище є однорідним, що є наближенням (ідеально однорідних середовищ не існує).

Більш того, так як на практиці в зондах ЕК не використовується суворо постійний струм (частота генератора коливається, як правило, від десятків до сотень Гц), то розв'язок задачі вже набуває неусувної похибки на стадії вибору моделі постійного струму, бо при ненульовій частоті струму між поверхнею електрода і середовищем виникає електрохімічна різниця потенціалів, вплив якої можна спрощено представити у вигляді наявності ємності C_0 , включеної послідовно з опором R_0 (рис. 1).

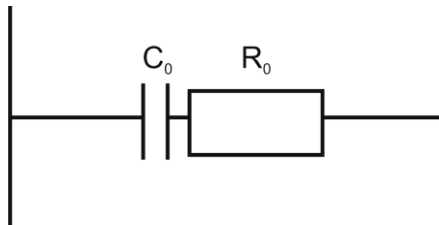


Рисунок 1 – Зміна характеру контактного опору на границі електрод-свердловина

Інше джерело похибки міститься в неможливості абсолютно точно задати числові значення геометричних параметрів моделі. Тобто навіть врахувавши реальну частоту струму і реальну неоднорідність середовища, ми не можемо абсолютно точно описати геометрію експерименту.

Сама назва цієї похибки «неусувна» відповідає її суті: вона неконтрольована в процесі числового розв'язання задачі і може зменшитись тільки за рахунок більш точного опису фізичної задачі, математичного її опису чи більш точного визначення її параметрів, а не за рахунок вибору параметрів алгоритму моделювання.

Але рівняння Лапласа, крім усього іншого, для заданих «точно» реальних умов все одно не розв'язується в явному вигляді: для його вирішення потрібно застосування числового методу. І тут знов виникає

похибка – обчислювальна. Наприклад, через необхідне обмеження кількості розрядів чисел, що беруть участь в обчисленнях (див. приклад з числом π).

Отже, наша похибка буде сумою непереборної, похибки методу та обчислювальної.

Часто виникає ситуація, коли замовник геофізичних послуг пред'являє непомірні вимоги до точності результату. Це може бути викликано тим, що у нього вельми перебільшене уявлення про можливості обчислювальної техніки або він не до кінця розуміє, що саме в кінцевому підсумку йому необхідно знати і з якою точністю. Або ж він взагалі не розуміє, що в області числового моделювання при вирішенні реальних прикладних задач не існує «абсолютно точного» розв'язання задачі.

Такі вимоги часто знімаються у процесі:

- більш детального підходу до вивчення завдання в цілому (виявляється, що точність, яка вимагається, є занадто перебільшеною);
- математична модель явища надто груба і вимагати високу розрахункову точність безглуздо;
- параметри моделі не можуть бути визначені з більш високою точністю;
- замовнику взагалі потрібен не кількісний, а якісний результат.

Але припустимо, що наша модель адекватно описує процес. Тобто обрана фізична модель і її параметри вважаються частиною постановки задачі: фактично ми відокремлюємо питання точності методу розв'язання. Отже, ніякої іншої похибки, окрім похибки моделювання, немає.

Чи можна формально говорити тоді про точне розв'язання задачі моделювання?

Під точним числовим розв'язанням оберненої задачі каротажу ми будемо розуміти реалізовану можливість отримати числове значення розв'язку з як завгодно малою, проте наперед заданою величиною похибки для заданої фізичної і геометричної моделі простору, в якому цей процес відбувається.

Використовуючи такий підхід, ми можемо стверджувати, що не тільки задача визначення значення числа π має розв'язок, але й обернена задача ЕК чи ІК (в межах обраної моделі розрізу) може мати розв'язок.

1. Розв'язання оберненої задачі з похибкою

Нагадаємо, що електрометрія дає відповідь на два питання [1, 2]:

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

Відповіді на ці питання криються не у значеннях уявних величин зондів різної фізики виміру (електричний каротаж (ЕК), індукційний каротаж (ІК), високочастотне індукційне каротажне ізопараметричне зондування (ВІКІЗ) [3] тощо) чи різної конструкції (нефокусовані, фокусовані, багатозондові тощо), а у визначенні параметрів моделі пласта колектора, яку в умовах Дніпровсько-Донецької западини природно у більшості випадків вважати тришаровою (див. рис. 2) [4].

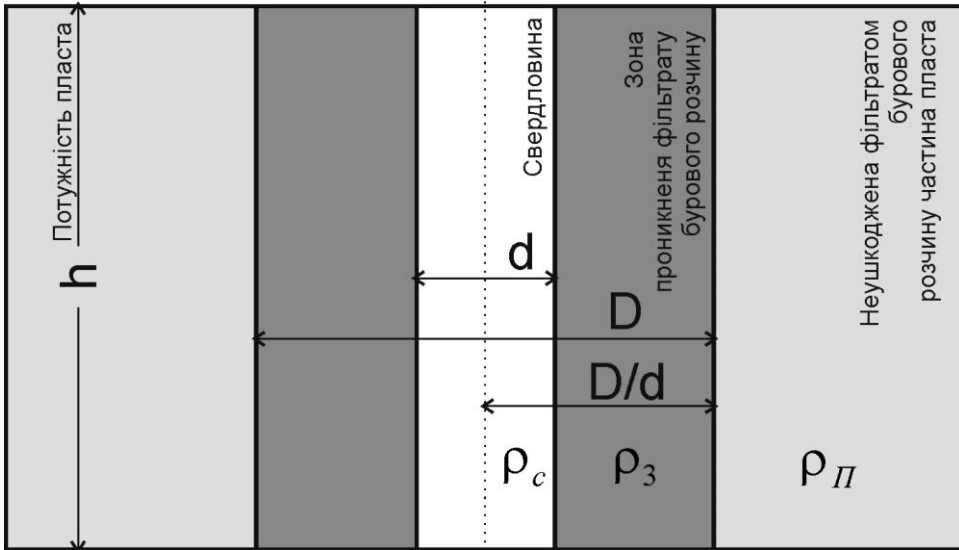


Рисунок 2 – Тришарова модель пласта скінченної потужності

Найпростіший шлях, що взагалі можливо обрати для дослідження впливу похибки в граничних умовах оберненої задачі на її остаточний результат, є знаходження області можливих розв'язків, яка відповідає області можливих значень граничних умов.

Тобто ми не будемо зараз досліджувати, завдяки чому виникла похибка. Ми будемо досліджувати, як її величина впливає на величину похибки розв'язання оберненої задачі.

Перед цим нагадаємо два визначення.

Коректно поставленою (за Адамаром) задачею називається задача, яка задовольняє трьом наступним вимогам:

- задача має розв'язок (вимога існування);
- існуючий розв'язок є єдиним (вимога єдності);
- існуючий та єдиний розв'язок безперервно залежить від вхідних даних (умова неперервності).

Погано обумовленою задачею називається задача, для якої невелика помилка (похибка) в початкових (граничних) даних здатна призвести до значно більшої помилки (похибки) у розв'язку.

Для зручності ми будемо називати погано обумовлену задачу нестійкою (тобто задача може задовольняти умові неперервності, але бути погано обумовленою, тобто нестійкою).

Дослідимо тепер відображення області допустимих значень кожного вектора виміру у простір векторів геоелектричної моделі розрізу. Ми будемо використовувати значення похибок, що відповідають дійсно можливим. Так, одним із можливих способів завдання похибки є [5] (в мСм/м) $\varepsilon_{JK} = 0,03\tilde{\sigma} \pm 1$, де $\tilde{\sigma}$ – значення вимірної уявної провідності.

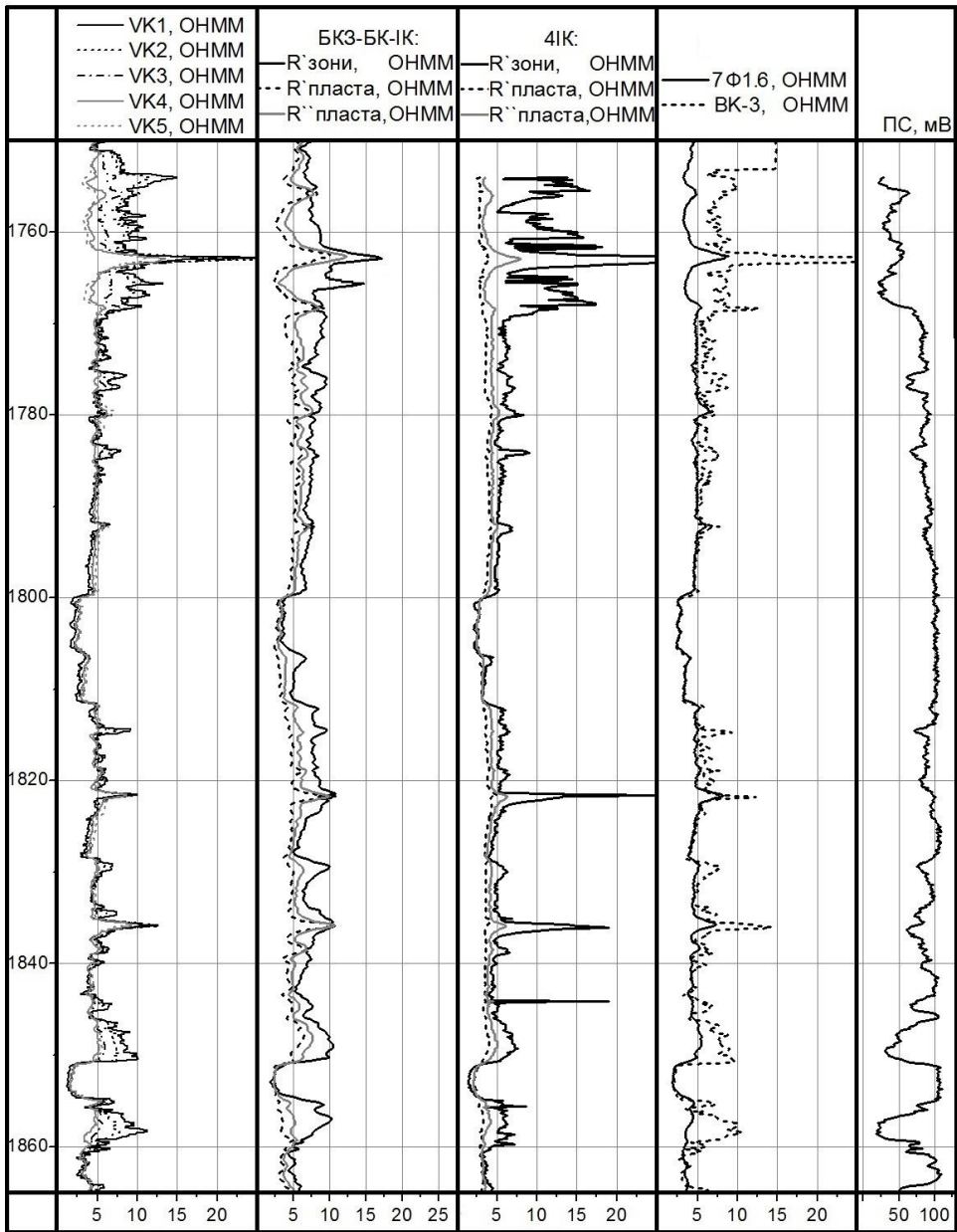


Рисунок 3 – Св. Ватинська (ПО бурового розчину 1.6 Ом·м). Результат розв'язання оберненої задачі для комплексів БКЗ+БК+ІК та 4ІК у порівнянні з даними ВІКІЗ

Похибку будемо задавати двома шляхами:

– вимір кожного зонда має похибку в межах заданої величини ε , тобто вимірювана величина ρ належить інтервалу: $(1-\varepsilon)\rho < \rho < (1+\varepsilon)\rho$ (для

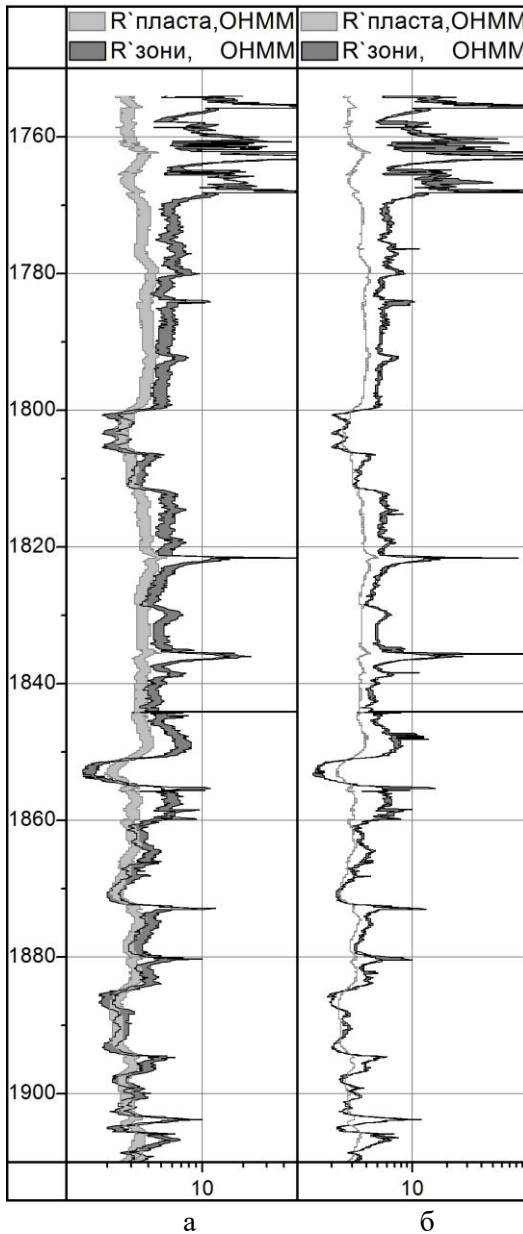


Рисунок 4 – Св. Ватинська (ПО бурового розчину 1.6 Ом·м). Результат розв'язання оберненої задачі (пояснення в тексті)

зручності і без обмеження загальності розглянемо однакову похибку для всіх зондів комплексу, що розглядається), тобто є не числом, а довірчим інтервалом;

– питомий опір (ПО) свердловини ρ_C визначено з деякою похибкою δ , тобто він може набувати будь-якого значення з інтервалу: $(1-\delta)\rho_C < \rho_C < (1+\delta)\rho_C$.

При розв'язанні оберненої задачі ми будемо використовувати мінімізацію функціонала [6]:

$$F(\rho_1^T, \dots, \rho_n^T) = \sqrt{K_i \sum_{i=1}^n \left(\frac{\rho_i^T - \rho_i^P}{\rho_i^T} \right)^2},$$

де n – кількість зондів апаратури, ρ_i^T – розраховані значення уявного опору (УО) для моделі, що розглядається, ρ_i^P – фактично отримані значення УО, K_i – вагові коефіцієнти кожного зонда комплексу (було покладено $\forall i: K_i = 1$).

На рис. 3 наведено порівняння даних ВІКІЗ з результатом розв'язання оберненої задачі комплексу БКЗ+БК+ІК [4, 5] та комплексу 4ІК [2] у свердловині під умовною назвою "Ватинська" (ПО бурового розчину 1.6 Ом·м).

Обернена задача розв'язувалась без урахування похибки.

Тепер продемонструємо запропонований "найпростіший шлях" дослідження впливу похибки в граничних умовах оберненої задачі на її остаточний результат на прикладі комплексу 4ІК в цій свердловині. Отриманий результат представлений на рис. 4 (для обраних значень параметрів $\varepsilon = 0.2$ (рис. 4.а), $\delta = 0.2$ (рис. 4.б)).

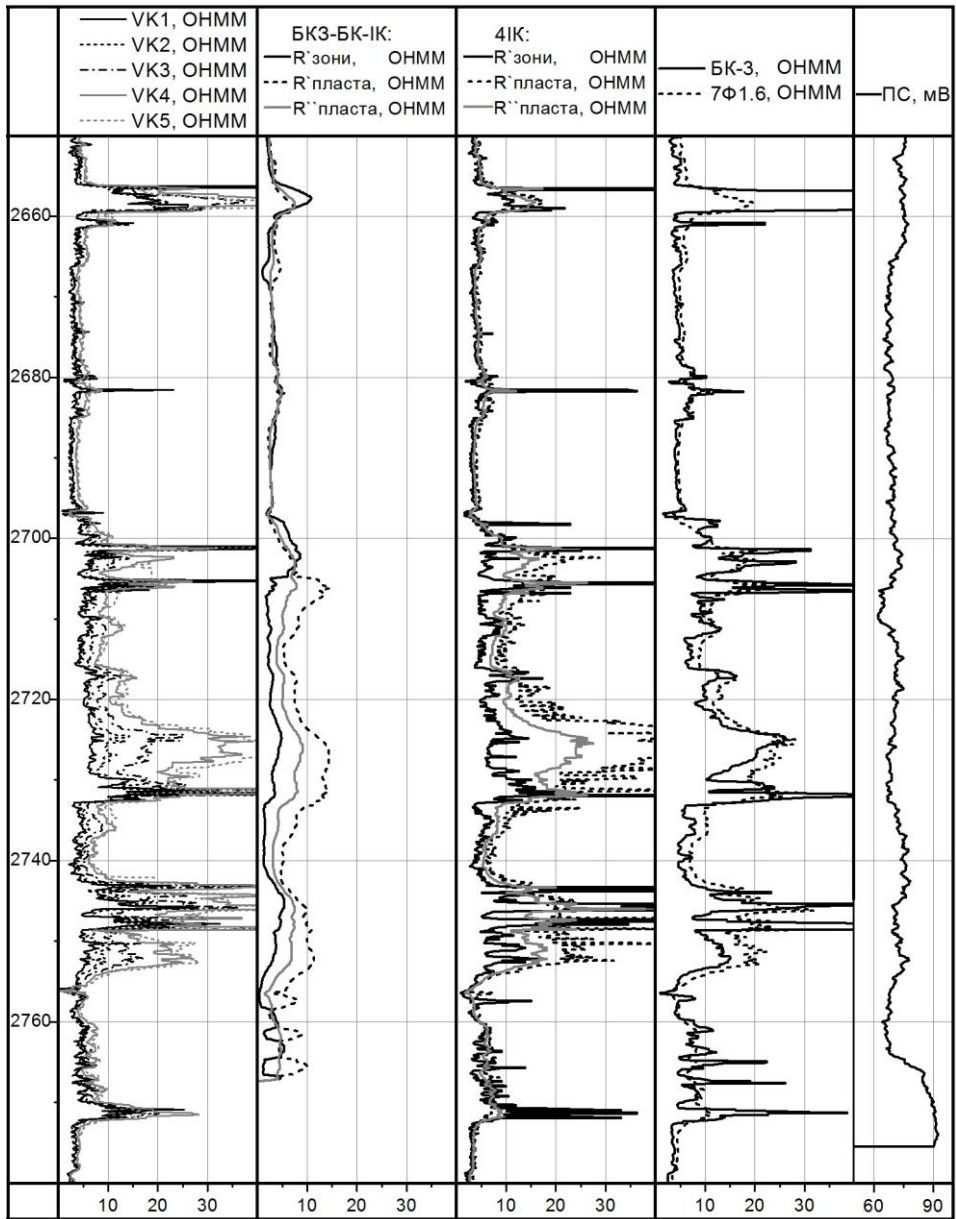


Рисунок 5 – Св. Єганська (ПО бурового розчину 0.34 Ом·м). Результат розв'язання оберненої задачі для комплексів БК3+БК+ІК та 4ІК у порівнянні з даними ВКІЗ

Отже, для випадку свердловини, що заповнена глиняним буровим розчином, можна зробити наступні висновки:

– обернена задача комплексу 4ІК в межах значень шуканих параметрів є стійкою відносно похибки виміру: величина інтервалу можливих значень параметрів моделі майже пропорційна величині інтервалу можливих значень виміру (рис. 4. а);

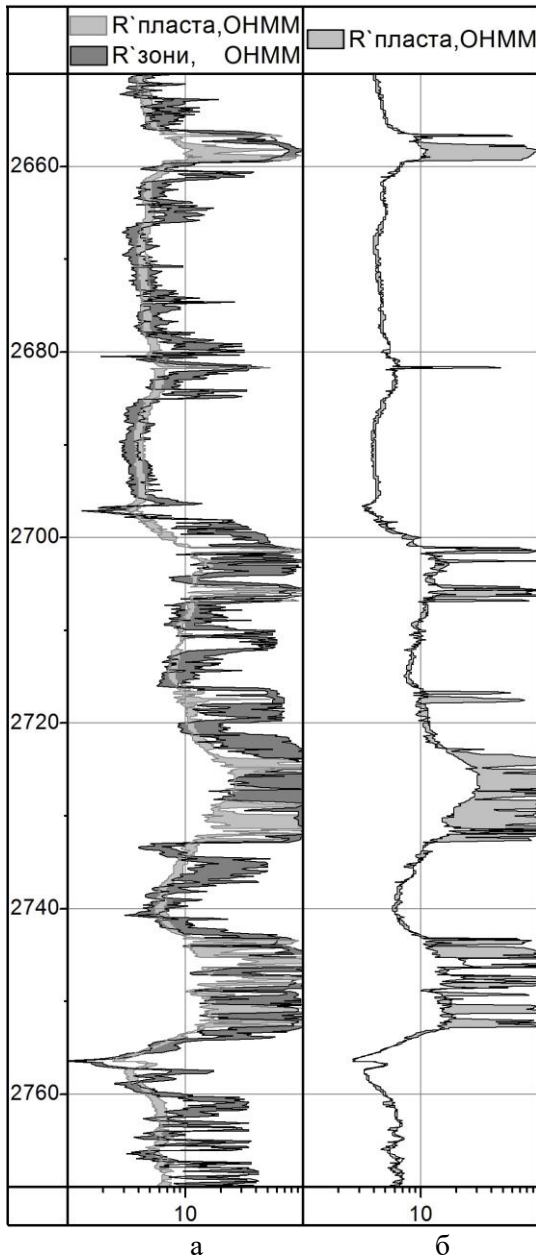


Рисунок 6 – Св. Єганська (ПО бурового розчину 0.34 Ом·м). Результат розв'язання оберненої задачі (пояснення в тексті)

урахуванням похибки (для обраних значень параметрів $\epsilon = 0.2$ (рис. 6.а), $\delta = 0.2$ (рис. 6.б)).

Отже, для випадку свердловини, що заповнена соляним буровим розчином, можна зробити наступні висновки:

– обернена задача комплексу 4ІК в межах значень шуканих параметрів до 10 мСм/м є стійкою відносно похибки виміру: величина інтервалу

– обернена задача для комплексу 4ІК в межах значень шуканих параметрів до 10 мСм/м є стійкою відносно зміни ПО бурового розчину: величина інтервалу можливих значень параметрів моделі майже пропорційна величині інтервалу можливих значень ПО бурового розчину (рис. 4.б);

– обернена задача для комплексу 4ІК в межах значень шуканих параметрів більше 10 мСм/м задовольняє умові неперервності, але не є стійкою відносно зміни ПО бурового розчину: величина інтервалу можливих значень параметрів моделі значно більша величини інтервалу можливих значень ПО бурового розчину (рис. 4.б);

– значення R' зони більш "чутливі" до зміни параметрів свердловини, ніж значення R' пласта.

Розглянемо іншу свердловину під умовною назвою "Єганська" (ПО бурового розчину 0.34 Ом·м), заповнену тепер соленим буровим розчином.

На рис. 5 наведено порівняння даних ВКІЗ з результатом розв'язання оберненої задачі комплексу БКЗ+БК+ІК та комплексу 4ІК в цій свердловині (обернена задача розв'язувалась без урахування похибки), а на рис. 6 – результат розв'язання оберненої задачі 4ІК з

можливих значень параметрів моделі майже пропорційна величині інтервалу можливих значень виміру (рис. 6.а);

– обернена задача комплексу 4К в межах значень шуканих параметрів більше 10 мСм/м задовольняє умові неперервності, але не є стійкою відносно похибки виміру: величина інтервалу можливих значень параметрів моделі значно більша величини інтервалу можливих значень виміру (рис. 6.а);

– обернена задача комплексу 4К не є стійкою відносно зміни ПО бурового розчину: величина інтервалу можливих значень одного з параметрів моделі (а саме R зони) значно більша величини інтервалу можливих значень ПО бурового розчину;

– параметр R пласта має як стійку область визначення (до 10 мСм/м), так і нестійку область визначення (більше 10 мСм/м), як це видно на рис. 6.б.

Подібних прикладів можна навести багато для різних свердловин і різних комплексів, але головним для нас є факт того, що в принципі існують області нестійких (хоча і неперервних) розв'язків.

Тобто, задавши конкретні значення УП, ми звичайно отримаємо конкретне значення розв'язку, але яке, можливо, буде нестійким: незначній зміні УП, можливо, буде відповідати значна зміна розв'язку.

Зрозуміло, що з точки зору ГДС такий розв'язок використовувати неможливо або використання такого розв'язку для подальшої інтерпретації призведе до помилкових висновків відносно визначення характеристик продуктивності свердловини.

Отже, ми дійшли висновку, що недостатньо мати сам по собі спосіб розв'язання оберненої задачі. Треба ще і мати спосіб, який дозволить для кожної моделі розрізу і кожного комплексу визначати області стійкості її розв'язків.

2. Характеристики просторової роздільної здатності

Для того щоб дослідити області стійкості розв'язання, ми розглянемо так звані характеристики просторової роздільної здатності [2, 6, 7].

Для цього розглянемо простір P параметрів \bar{p} досліджуваних об'єктів і простір G можливих значень \bar{g} вимірювання зондуємим комплексом каротажу. Аби задача мала розв'язок, будемо вимагати, щоб кількість незалежних вимірювань була більшою або дорівнювала кількості шуканих параметрів моделі. Існує однозначне відображення: $P \rightarrow G$ (будемо позначати відповідну функцію відображення G). Розглянемо особливості оберненого відображення $G \rightarrow P$ (будемо позначати відповідну функцію G^{-1}), яке в разі відображення одного елемента будемо вважати однозначним. Якщо об'єкт відображення – не один елемент \bar{g} , а область $\bar{g} \pm \delta\bar{g}$, де $\delta\bar{g}$ приймає будь-які значення в межах допустимої похибки, то образом такого відображення також буде якась область.

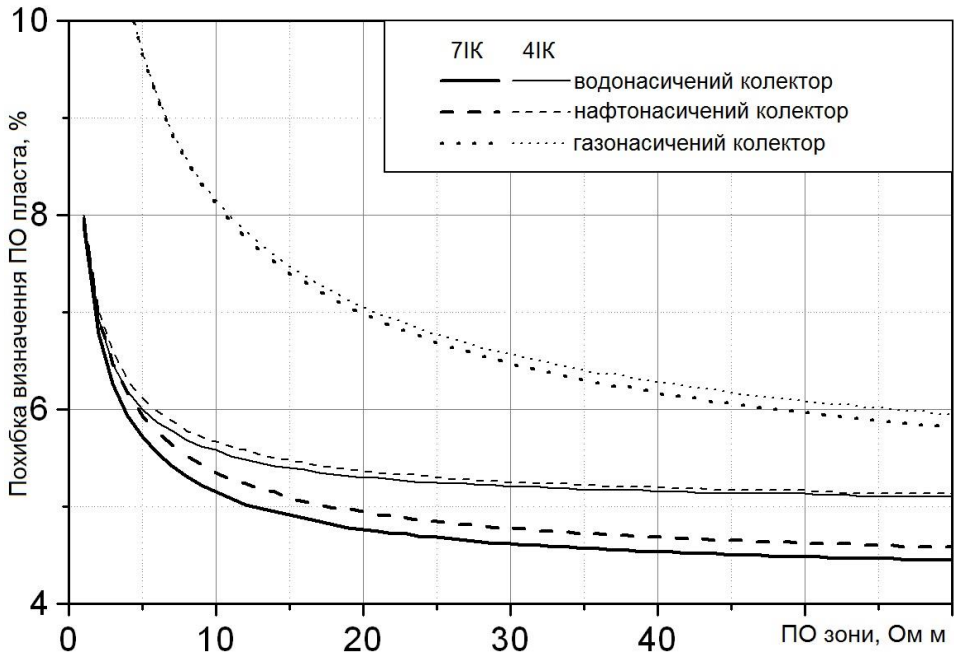


Рисунок 7 – Залежність похибки визначення ПО пласта від ПО зони

Розглянемо таке відображення: $\bar{p} \pm \delta\bar{p} = G^{-1}(\bar{g} \pm \delta\bar{g})$. Зауважимо, що оскільки обернена задача є нелінійною, величина $\delta\bar{p}$ залежить і від самої моделі та від похибки вимірювання: $\delta\bar{p} = \delta\bar{p}(\bar{p}, \delta\bar{g})$. Похибка вимірювання також в загальному випадку залежить від моделі середовища: $\delta\bar{g} = \delta\bar{g}(\bar{p})$ (зокрема, це пояснюється тим, що похибка будь-якого вимірювального пристрою неоднакова на всьому робочому діапазоні).

Така складна залежність не дозволяє ввести загальне просте поняття та визначення характеристики просторової роздільної здатності апаратури не тільки для всього діапазону параметрів всіх можливих актуальних моделей розрізів, але навіть для сукупності кількох окремих моделей. Це вимагає вивчення кількісної залежності $\bar{p} \pm \delta\bar{p} = G^{-1}(\bar{g} \pm \delta\bar{g})$ окремо для кожної з моделей (для різних $\bar{g} \pm \delta\bar{g}$).

Відповідно, говорити про характеристики просторової роздільної здатності конкретної апаратури можна тільки для конкретної моделі розрізу: навіть при незначній зміні параметрів моделі характеристики можуть значно змінитися, що ми добре спостерігали у попередньому пункті.

Отже, аналіз таких характеристик потрібно проводити для якоїсь окремо обраної моделі.

Для кожної такої обраної моделі будемо виконувати наступні дії.

1. Задавати її параметри (визначення вектора параметрів моделі \bar{p}).
2. Розв'язувати пряму задачу для \bar{p} (визначення вектора вимірювань $\bar{g} = G(\bar{p})$).

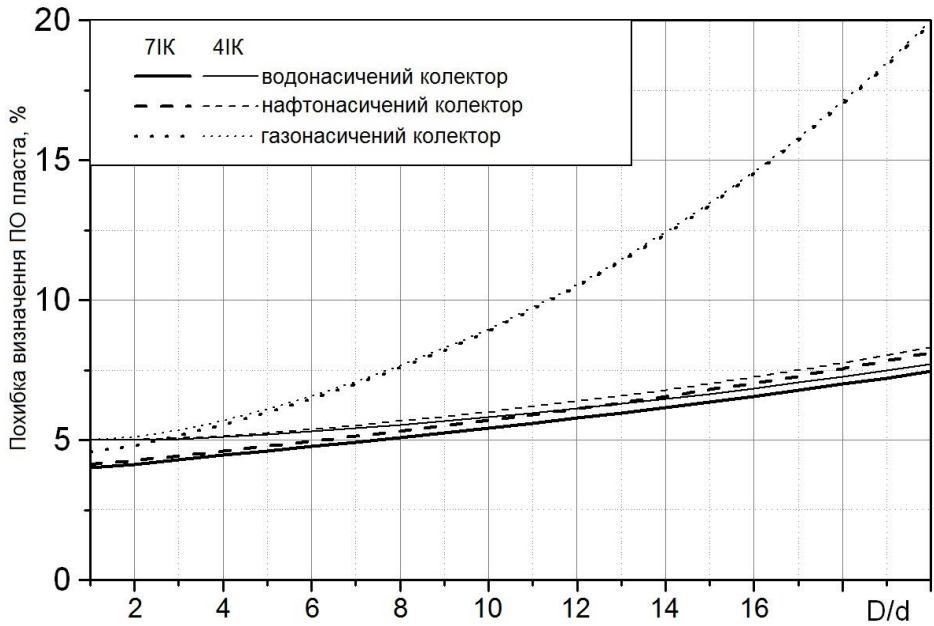


Рисунок 8 – Залежність похибки визначення ПО пласта від діаметра зони проникнення

3. Розв'язувати обернену задачу для визначеного \bar{g} , тобто знаходити такий елемент \bar{p}' , для якого:

$$\bar{p}' = G^{-1}(g) = G^{-1}(G(\bar{p})). \quad (1)$$

4. Порівнювати \bar{p}' і \bar{p} (визначення точності розв'язання оберненої задачі).

У разі, якщо \bar{p}' не відрізняється від \bar{p} (в межах допустимої, як завгодно малої, заздалегідь заданої похибки), ми будемо вважати, що:

$$\bar{p}' \equiv \bar{p}. \quad (2)$$

Виконання (2) буде означати, що отримана характеристика просторової роздільної здатності вірна і не залежить від методу розв'язання оберненої задачі.

5. Розв'язувати обернену задачу для області $\bar{g} + \delta\bar{g}$ (знаходження множини можливих моделей $\bar{p} + \delta\bar{p}$, що відповідають $\bar{g} + \delta\bar{g}$).

Продемонструємо такий зв'язок похибки каротажу з похибкою можливого визначення шуканих параметрів на декількох прикладах пластів-колекторів нескінченної потужності.

В якості апаратури ми будемо розглядати апаратуру 4ІК та теоретично розроблену апаратуру 7ІК, яка утворена з 4ІК шляхом додавання трьох малих зондів (довжин 0.35, 0.25, 0.15 м).

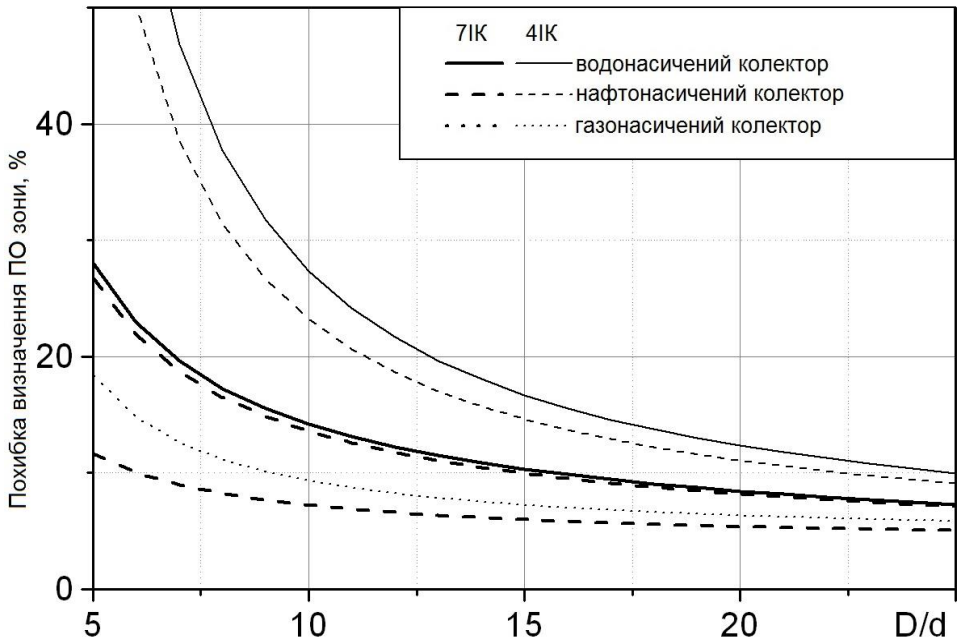


Рисунок 9 – Залежність похибки визначення ПО зони від діаметра зони

Похибку будемо задавати окремо для кожного зонда.

Для якісного пояснення очікуваних результатів досить скористатися наближеною теорією Доля і записати УП, вимірювану кожним зондом, нехтуючи сигналом від свердловини у вигляді:

$$\sigma^i = \frac{g_3^i}{\rho_3} + \frac{g_{II}^i}{\rho_{II}}, \quad (3)$$

де σ^i – уявна провідність i -го зонда; g_3^i , g_{II}^i – геометричні фактори зони проникнення і пласта.

Очевидно, що відносна точність визначення ПО пласта і зони проникнення пов'язана із взаємним відношенням першого і другого доданків в (3). Так, при:

$$\frac{g_3^i}{\rho_3} \ll \frac{g_{II}^i}{\rho_{II}}, \quad (4)$$

параметри ближньої зони визначаються з набагато більшою похибкою при $\rho_{II} = const$, ніж параметри далекої зони при $\rho_3 = const$.

Крім того, умова (4) виконується особливо суворо при підвищуючому проникненні, коли, крім $g_3 < g_{II}$, вона посилюється ще і $\rho_3 > \rho_{II}$.

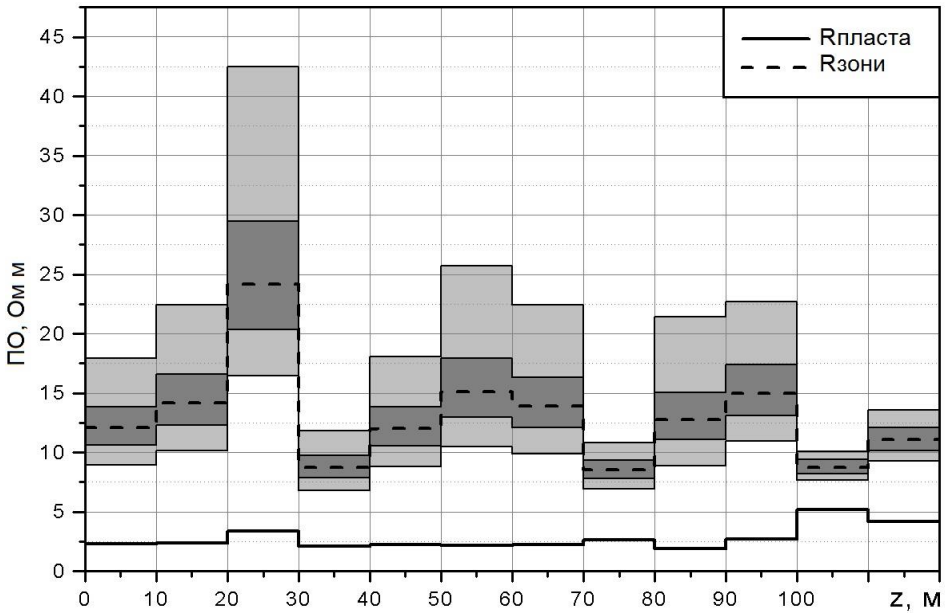


Рисунок 10 – Визначення ПО за комплексами 4К та 7К для заданих ПО пласта та ПО зони:

- довірчий інтервал визначення ПО зони по 4К,
- довірчий інтервал визначення ПО зони по 7К

Похибка визначення параметрів ближньої зони поліпшується при знижуючому проникненні, тому що умова $\rho_z < \rho_{II}$ значно послаблює умову (4).

Так, на рис. 7 наведена залежність точності визначення ПО пласта від ПО зони проникнення, на рис. 8 – залежність точності визначення ПО пласта від діаметра зони проникнення, на рис. 9 – залежність точності визначення ПО зони від діаметра зони проникнення.

Також була розрахована похибка визначення ПО зони проникнення для різних пластів, значення параметрів яких були взяті за результатами інтерпретації даних ВКІЗ у конкретній свердловині теригенного розрізу Західного Сибіру (рис. 10).

Отже, спосіб розрахунку характеристик просторової роздільної здатності дозволяє: по-перше, визначити, наскільки досліджувана апаратура чутлива до тих чи інших шуканих параметрів моделі; по-друге, порівняти такі характеристики різних типів апаратури і тим самим вибрати об'єктивно більш ефективну для кожної конкретної моделі розрізу.

Висновки

Наведені результати дозволяють дійти наступних висновків:

- перед практичним застосуванням будь-якого способу розв'язання оберненої задачі доцільно дослідити області стійкості її розв'язків, що дозволить їх використовувати в подальшому без втрати корисної інформації;

– для можливості ефективної подальшої роботи з отриманими результатами доцільно також дослідити області еквівалентних моделей, що відповідають реальній похибці каротажу та його геофізичним умовам.

Або, простіше кажучи, недостатньо отримати сам по собі результат розв'язання оберненої задачі: необхідно бути впевненим, що цей результат отриманий правильно; необхідно знати похибку, з якою він отриманий; необхідно бути впевненим, що він отриманий в області стійкості; необхідно розуміти, який геофізичний зміст містить отриманий розв'язок математичної задачі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Anderson B.I. Modeling and inversion methods for the interpretation of resistivity logging tool response. – Delft: DUP Science. 2001. – p.p. 377.
2. Миронцов Н.Л. Численное моделирование электротометрии скважин. Київ: Наукова думка, 2012. 224 с.
3. Технология исследования нефтегазовых скважин на основе ВИКИЗ. Методическое руководство / Под. ред. М.И. Эпова, Ю.Н. Антонова. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 121 с.
4. 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.
5. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ приборами на кабеле в нефтяных и газовых скважинах / под. ред. Р.Т. Хаматдинова. – Москва.: ГЕРС, 2002. – 270 с.
6. Миронцов М.Л. Електротометрія нафтогазових свердловин. Київ: ТОВ «Юстон», 2018.
7. 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.

Стаття надійшла до редакції 03.12.2018.

УДК 004.62+004.82+303.732.4+ 519.81

**В.В. ГОРБОРУКОВ, О.Є. СТРИЖАК, О.В. ФРАНЧУК,
В.Б. ШАПОВАЛОВ**

ОНТОЛОГІЧНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗАДАЧІ РАНЖУВАННЯ АЛЬТЕРНАТИВ

***Анотація.** Розглядається технологічна проблема формування альтернативних представлень проблемних ситуацій в операційному середовищі систем підтримки прийняття рішень. Описується процес онтологічного представлення альтернатив. Визначається онтологія задачі вибору, як платформа формування альтернатив для розв'язання задачі ранжування. Описується процес нормалізації критеріїв, як певних інтерпретацій властивостей понять предметної області, в термінах якої розв'язується задача ранжування. Представлено табличне й графічне відображення станів розв'язання задачі ранжування альтернатив.*

***Ключові слова:** онтологія, ранжування, альтернатива, система підтримки прийняття рішень, таксономія, нормалізація.*

Вступ

Вирішення будь-якої проблеми вимагає проведення її контекстного аналізу, оцінки стану, формування ідеї розв'язання і на кінцевій стадії виокремлення і формулювання складників прикладних задач у термінах прикладних областей її постановки. Особливо це характеризує системи підтримки процесів прийняття рішень (СППР), де на кожному етапі виникає проблемна ситуація, яку можна уявити у вигляді певних суджень, що дозволяють визначити певну задачу [1]. Використання онтологічних систем [1-4] для представлення опису проблемних ситуацій в термінах предметної області дозволяє виділяти в проблемній ситуації набір прикладних задач, розв'язання яких забезпечує її вирішення. Онтологічний супровід дозволяє реалізовувати досить повний опис множини станів кожного етапу вирішення в термінах предметної області, що забезпечує алгоритмічну виводимість наступних станів процесу розв'язання прикладної задачі.

1. Онтологічне представлення множин альтернатив

Кожна онтологія містить інформаційні описи, на основі об'єктно-орієнтованої процедури формалізації, а також описи інтерпретаційних функцій, які є функціональним проявом властивостей об'єктів (концептів), що складають онтологію, та які управляють на основі цього процесом поставки інформаційного ресурсу на усіх етапах прийняття рішень. Тому цілком виправданим є представлення інформаційної моделі в середовищі СППР у вигляді певної онтології [4-8].

Як відомо, в основі онтологічної методології лежить об'єктно-орієнтований підхід, при якому предметна прикладна область представляється у вигляді сукупності об'єктів, взаємодія між якими може бути представлена за допомогою семантичного зв'язування висловлювань, тверджень та суджень [9].

Під об'єктом розуміється деяка сутність (реальна або абстрактна) з притаманними їй станом, поведінкою і індивідуальністю.

- Стан об'єкта характеризується переліком всіх його можливих властивостей – структурою і значеннями кожної з цих властивостей.

- Поведінка об'єкта (або його функціональність) характеризує те, як об'єкт взаємодіє з іншими об'єктами або піддається впливу інших об'єктів, проявляючи свою індивідуальність. Поведінка об'єкта реалізується у вигляді функцій, які називають методами. При цьому структура об'єкта доступна тільки через його методи, які в сукупності формують інтерфейс об'єкта.

- Індивідуальність об'єкта характеризують такі властивості, які відрізняють його від всіх інших об'єктів.

Для формування адекватного операційного середовища СППР особливий інтерес представляють два типи ієрархічних залежностей між об'єктами:

- зв'язки – позначають рівноправні відношення між об'єктами; об'єкт співробітничає з іншими об'єктами через зв'язки, що з'єднують його з ними;

- агрегація – описує відношення цілого і частини, що наводять до відповідної таксономії (ієрархії об'єктів).

Комп'ютерну онтологію певної предметної області (ПрО) будемо розглядати як певну непусту множину об'єктів, які задовольняють наступним вимогам:

- 1) об'єкти організовані у вигляді ієрархічної структури скінченної множини понять, що описують задану предметну область;

- 2) структура може бути представлена множиною дводольних графів, вершинами яких є поняття, а дугами – семантичні відношення між ними;

- 3) поняття і відношення інтерпретуються відповідно до загальнозначущих функцій інтерпретації, взятих з електронних джерел знань заданої ПрО;

- 4) визначення понять і відношень виконується на основі аксіом і обмежень їх області дії;

- 5) функції інтерпретації та аксіоми описані мовою формальної теорії.

У загальному випадку онтологія предметної області формально представляється впорядкованою трійкою [6, 7, 11,12]:

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

Але найбільш конструктивним щодо використання онтологій в СППР є її розширене визначення у наступному вигляді:

$$O = \langle X, R, F, \tilde{A}, D, R_s \rangle \quad (2)$$

де X – множина концептів, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$, ($i = \overline{1, n}, n = \text{Card } X$), кінцева множина концептів (понять) заданої в операційному середовищі СППР, що фактично визначає поняття тематики предметної області (ПрО), на основі яких формується предметна складова операційного середовища;

$R = \{R_1, R_2, \dots, R_k, \dots, R_m\}, R_k \subseteq X \times X, k = \overline{1, m}, m = \text{Card } R$, – кінцева множина семантично значущих властивостей концептів ПрО. Вони визначають тип взаємодії між поняттями онтології і являють собою

інтерпретації відношень, які існують між концептами, що дає можливість визначити перетворення, яке кожному відношенню встановлює у відповідність певну властивість;

F – скінченна множина функцій інтерпретації R , заданих на концептах і/або відношеннях, які складають функціональну частину операційного середовища СППР;

\tilde{A} – скінченна множина аксіом, які використовуються для запису завжди істинних висловлювань (визначень і обмежень) в термінах тематики ПрО;

D – множина додаткових визначень концептів (понять) в термінах тематики ПрО;

R_s – множина обмежень, що визначає область дії понятійних структур визначеної тематики ПрО ($R_s \subseteq R$).

Онтологія виду (2), яку представлено доповненням визначення (1) аксіомами ПрО, а також додатковими визначеннями понять, що задають певні обмеження за тематикою даної ПрО, дозволяє представляти опис всіх своїх компонент певною формальною мовою, яка може інтерпретуватися деякою процедурою (алгоритмом).

Однією із системних компонент онтологічної системи виду (1) і (2) є таксономія [13], що відображає певну ієрархію взаємодії концептів. При цьому власне ієрархія задається за допомогою бінарних відношень, що визначають характер взаємодії між концептами онтології.

Таксономія – непушта підмножина \tilde{T} , у якої над певною підмножиною T множини концептів X онтології O задано відношення упорядкованості $R_t, R_t \subset R | R_t \neq \emptyset$. Якщо для множини концептів X задано множинне бінарне слабке відношення упорядкованості – $\tilde{\rho}$ [1, 12, 14-17], то формально таксономію можна визначити наступним чином:

$$\tilde{T} = \{t \in X | \forall t \exists y (y \in X) : x \tilde{\rho} y \vee y \tilde{\rho} x\} \quad (3)$$

де $\tilde{\rho}$ ($\tilde{\rho} \in R_t \subseteq R$) – бінарне відношення, що визначає частковий порядок для множини \tilde{T} .

Для формування моделі задачі ранжування на основі онтології введемо певне перетворення \tilde{H}_{MR} .

$$\tilde{H}_{MR} : \langle X, R, F, \tilde{A}, D, R_s \rangle \rightarrow M_R \quad (4)$$

де M_R – модель задачі ранжування.

Задача ранжування описується набором альтернатив A , для кожної з яких задаються значення певних показників (критеріїв). Розв'язком такої задачі вважається встановлення лінійного порядку над множиною A . Такий порядок, зокрема, дозволяє визначити альтернативи(y), що мають найкращі (за сукупністю) значення критеріїв, які в загальному випадку відрізняються різною важливістю. Формально математична модель задачі ранжування складається з наступних об'єктів:

$$M_R = \langle A, K, \tilde{F}, G \rangle \quad (5)$$

де A – множина альтернатив;

K – множина критеріїв;

$\tilde{F}: A \times K \rightarrow Q$ – функція, що визначає значення альтернатив за певним критерієм, Q – множина значень критеріїв;

G – правило ранжування, яке дозволяє встановити лінійний порядок для множини альтернатив.

В залежності від ступеня сформованості моделі задачі ранжування можна виділити наступні випадки:

1. $M_R^{1A}(A \neq \emptyset, K = \emptyset, \tilde{F} = 0, G = 0)$ – визначені тільки альтернативи.

2. $M_R^{1K}(A = \emptyset, K \neq \emptyset, \tilde{F} = 0, G = 0)$ – визначені тільки критерії.

3. $M_R^2(A \neq \emptyset, K \neq \emptyset, \tilde{F} = 0, G = 0)$ – визначено множини альтернатив і критеріїв.

4. $M_R^3(A \neq \emptyset, K \neq \emptyset, \tilde{F} \neq 0, G = 0)$ – для альтернатив встановлені значення за критеріями. При такій моделі вважається, що задача ранжування сформована.

5. $M_R^4(A \neq \emptyset, K \neq \emptyset, \tilde{F} \neq 0, G \neq 0)$ – задано правило ранжування для сформованої моделі ранжування.

Фактично механізм формування моделі задачі ранжування та її розв’язання на основі онтології (4) є багатоетапним процесом, кожен з яких потребує використання окремих процедур. Загальну схему виконання такого перетворення можна представити таким процесом:

$$O \rightarrow M_R^{1A} \rightleftharpoons M_R^2 \rightarrow M_R^3 \rightarrow M_R^4 \rightarrow O^* \quad (6)$$

де O^* – розширення онтології O в результаті здійснення ранжування, що для концептів онтології (альтернатив) $A \subseteq X$ визначає нові відношення переваг та властивості. Крім того, слід зазначити, що нові властивості можуть бути встановлені і внаслідок пост-аналізу на основі розв’язку оберненої задачі ранжування.

Отже, перший етап формування моделі задачі ранжування полягає у виокремленні з множини концептів X елементів, які можуть розглядатись як альтернативи. Альтернативами можна вважати однорідні об’єкти, що характеризуються спільними властивостями. Такий відбір може здійснюватись на основі функції вибору

$$F_{sel}(X) = Y, Y \subseteq X \quad (7)$$

До класично-раціональних функцій вибору відносяться ті, які мають наступні характеристичні властивості [14, 15]:

1. Умова наслідування (H):

$$X' \subseteq X \Rightarrow F_{sel}(X') \supseteq F_{sel}(X) \cap X' \quad (8)$$

2. Умова константності (K), строгого наслідування:

$$(X' \subseteq X) \wedge (X' \cap F_{sel}(X) \neq \emptyset) \Rightarrow F_{sel}(X') = F_{sel}(X) \cap X' \quad (9)$$

3. Умова згоди (3):

$$X' \cup X'' = X \Rightarrow F_{sel}(X) \supseteq F_{sel}(X') \cap F_{sel}(X'') \quad (10)$$

4. Умова незалежності або відкидання (B):

$$F_{sel}(X) \subseteq X' \subseteq X \Rightarrow F_{sel}(X') = F_{sel}(X) \quad (11)$$

Для побудови класу механізмів вибору, що породжують характеристичну область відкидання (B) у просторі функцій, застосовується тип структур – гіпервідношення виду $Y\gamma Z$, що зв'язують пари множин [15, 16].

Тоді правило вибору на такій структурі визначається виразом:

$$F_{sel}(X) = Y, Y \subseteq X \Leftrightarrow Y\gamma Z, \quad Z \subseteq X \quad (12)$$

Відмітимо, що якщо гіпервідношення γ володіє властивістю гіпертранзитивності, то функція вибору також належить до характеристичної області наслідування (H).

Умова гіпертранзитивності:

$$Y\gamma x, x \in X, X\gamma z \Rightarrow ((Y \cup X) / \{x\})\gamma z \quad (13)$$

Визначимо механізми вибору альтернативних варіантів для онтології (2) з таксономічною структурою \tilde{T} , над якою встановлене бінарне відношення слабкої упорядкованості $\tilde{\rho}$. Частковий порядок $\tilde{\rho}$ може бути розширеним до відношення транзитивного замикання ρ^+ .

$$x_i^j \tilde{\rho} x_i^k \xrightarrow{\alpha} x_i^j \rho^+ x_i^k \quad (14)$$

Тоді можна визначити функцію вибору на основі гіпервідношення γ_1^+ та γ_1^- між множинами $Y \subseteq \tilde{T}$ та $Z \subseteq \tilde{T}$ такі що:

$$\begin{aligned} Y\gamma_1^- Z, Y &= \{y \in \tilde{T} \mid \exists z(z \in Z): z\rho^+ y\}. \\ Y\gamma_1^+ Z, Y &= \{y \in Y^* \mid \exists x(x \in X, x \neq y): y\tilde{\rho}x\}, Y^*\gamma_1^- Z. \\ F_{sel}(\tilde{T}) = Y, Y &= \{y \in Y_1/Y_2\}, Y_1\gamma_1^+ Z_1, Y_2\gamma_1^- Z_2, \quad Z_1 \subseteq \tilde{T}, Z_2 \subseteq \tilde{T} \end{aligned} \quad (15)$$

Описана функція вибору визначає кінцеві елементи таксономії, що є нащадками класів (категорій), які входять у множину Z_1 та відповідно не є

нащадками класів, заданих множиною Z_2 . Елементи, які належать до спільних класів (суперкласів), можна розглядати в якості альтернатив, оскільки це визначає їхню однорідність. Таким чином, описана функція для направленої графу, у вигляді якого може бути представлена таксономічна структура, визначає висячі вершини, що мають спільних предків Z_1 . Якщо множини Z_1 та Z_2 не визначені, то їх слід задати наступним чином: $Z_1 = \{z \in X \mid \exists x(x \neq z): z\tilde{p}x\}, Z_2 = \emptyset$.

Нехай деяка множина R^+ представляє множину всіх активних властивостей (атрибутів), якими характеризуються об'єкти онтології ($R^+ \subseteq R$). За допомогою гіпервідношення γ_2 можна задати множину властивостей для певного об'єкта $P_x = P \subseteq R^+, P\gamma_2 x$. Аналогічно, як і для функції вибору в попередньому випадку, можна задати відповідні гіпервідношення γ_3^- та γ_3^+ , залишивши правило вибору (15):

$$Y\gamma_3^+ Z, Y = \{y \in \tilde{T} \mid \forall z: (Z \subseteq P_y)\}.$$

Гіпервідношення γ_3^+ можна модифікувати до $\tilde{\gamma}_3^+$, увівши порогове значення q .

$$\begin{aligned} Y\tilde{\gamma}_3^+ Z, Y &= \{y \in \tilde{T} \mid (|Z \cap P_y| > q)\} \\ Y\gamma_3^- Z, Y &= \{y \in \tilde{T} \mid \exists z(z \in Z): z \in P_y\} \end{aligned} \quad (16)$$

Механізм вибору, який породжується цим гіпервідношенням, свідчить про те, що об'єкти, які розглядаються, мають не обов'язково володіти всіма атрибутами із бажаного списку. Нескладно побачити, що механізми вибору (15) та (16) є еквівалентними, оскільки приналежність до певного класу можна вважати властивістю об'єкта. Також для елементів, що характеризуються певними властивостями, можна побудувати відповідну таксономію, де на нижньому рівні ієрархії будуть об'єкти, а на верхніх – ієрархічна структура атрибутів.

Описані механізми вибору можуть налаштовуватись за допомогою певних параметрів. Якщо такі параметри не будуть задані, то в якості альтернатив будуть відібрані всі елементи, що мають тип «об'єкт» для (16), та елементи, що знаходяться на нижньому рівні ієрархії для (15). Відмітимо, що для вдало структурованих таксономій відсутність параметрів не є проблемою.

Відзначимо, що головною рисою альтернатив є їхня однорідність. Розглянемо гіпердомінантний механізм вибору [16, 17] оптимальних комплектів на основі гіпервідношення γ_4 заданого за допомогою скалярної функції $\Phi(Z)$ (гіпершкала): $Y\gamma_4 Z \Leftrightarrow \{\Phi(Y) \geq \Phi(Z)\}$.

Тоді функція вибору буде мати наступний вигляд:

$$F_{sei}(\tilde{T}) = Y, \quad \Phi(Y) = \max_{Z \subseteq \tilde{T}} \Phi(Z) \quad (17)$$

$$\Phi(Z) = GH_1 \left(\left| Z \right|, \left| \bigcap_{z \in Z} P_z \right| - \left| \bigcup_{z \in Z} P_z \right| + \hat{q}, \left| \bigcap_{z \in Z} P_z \right| - \check{q} \right), \quad Z \subseteq \tilde{T} \quad (18)$$

де функція $GH_1(x, y, z) = x \cdot (\text{sign}(y) + \text{sign}(z))$, \hat{q} , \check{q} – цілочисельні параметри ($\hat{q}, \check{q} \in Z$). Відмітимо, що функцію GH_1 можна визначити і в інший спосіб, який би враховував не тільки наявність спільних властивостей, а також їх кількість. Ця функція вибору орієнтована на знаходження максимальної кількості однорідних об'єктів. Якщо в онтології існує не одна група таких об'єктів, то внаслідок послідовного застосування цього механізму вони теж можуть бути ідентифіковані.

Функція $\Phi(Z)$ може бути визначена також за допомогою безпосередньо попарних порівнянь.

$$\Phi(Z) = \left(\sum_{x \in Z} \sum_{y \in Z, x \neq y} GH_2(x, y, Z) \cdot Pr(x, y, Z) \right), Z \subseteq \check{T} \quad (19)$$

де $Pr(x, y, Z)$ – функція, яка на основі предикатів визначає, чи володіє комплект об'єктів мінімальними до них вимогами;

$GH_2(x, y, Z)$ – функція, яка визначає міру схожості об'єктів x та y ($x \in Z, y \in Z$) та яка може враховувати кількість елементів в комплекті, за замовчуванням її можна покласти $GH_2(x, y, Z) = 1$.

$$Pr(x, y, Z) = \begin{cases} 1, & Pr_1(x, y) \wedge Pr_2(x, Z) \wedge Pr_2(y, Z) \\ -\infty, & \neg Pr_1(x, y) \vee \neg Pr_2(x, Z) \vee \neg Pr_2(y, Z) \end{cases}$$

$$Pr_1(x, y) = (|P_x \cap P_y| \geq \check{q}) \wedge (|P_x \cup P_y| - |P_x \cap P_y| \leq \hat{q})$$

$$Pr_2(x, Z) = |P_x| - \left| \bigcup_{z \in Z} P_z \right| \geq \check{q}$$

де P_x, P_y – множини властивостей елементів x та y ($x \in Z, y \in Z$), параметри $\check{q}, \hat{q}, \check{q}$ – цілочисельні порогові значення.

Функції, що описані (15)–(16), володіють всіма характеристичними властивостями, що описані в (8)–(11), за умови, що властивості об'єктів є незмінними. Функція вибору, що описана в (17)–(20), володіє тільки властивістю відкидання (В). Але слід врахувати, що цей механізм вибору орієнтований на знаходження саме оптимального комплекту на відміну від звичайної ситуації, де об'єкти можуть розглядатися незалежно. Тобто відкидання певних елементів із комплекту об'єктів суттєво змінює його якісні характеристики, тому самі комплекти мають бути цілісними. Якщо накласти цю вимогу, то описану функцію можна розглядати як раціональну.

Наступний етап, який слідує після визначення множини альтернатив, полягає у встановленні множини атрибутів, що можуть розглядатись як критерії K . Це може бути здійснено наступним чином:

$$K = \bigcup_{z \in A} P_z, \quad F_{sel}(\check{T}) = A, A \subseteq \check{T} \quad (20)$$

Таким чином, формується множина K , яка може бути використана для визначення множини альтернатив. Тобто вона може слугувати для визначення множин Z_1 та Z_2 , які застосовуються для вибору альтернатив. Отже, ці етапи формування альтернатив та критеріїв взаємопов'язані $M_R^{1A} \Leftrightarrow M_R^2$, оскільки властивості об'єктів дозволяють встановити множину альтернатив, які в свою чергу характеризуються спільними атрибутами.

Наступний крок при формуванні моделі задачі ранжування полягає у встановленні критеріальних значень для альтернатив. Для цього з онтологічної моделі виокремлюються значення атрибутів із відношення ("об'єкт", "атрибут", "значення").

$$\tilde{F}(x, y) = v, (x, y, v) \in R_v \subseteq R \quad (21)$$

де $x \in A$, $y \in K$, $v \in Q$ та R_v – тринарне відношення, що задане для множини X .

Після того, як визначено множину критеріїв і альтернатив та їх критеріальні значення, будемо вважати, що модель задачі ранжування фактично поставлена. Подальше її уточнення та розв'язання залежить від безпосередньої участі ОПР.

2. Онтологія вибору

Виходячи з даного нами формального визначення онтології (1) і (2) та категорії вибору, яка представлена виразами (7)–(19), представимо онтологію задачі вибору $OTPCh$ [1, 18] у вигляді наступного виразу:

$$O_{TPCh} = (\tilde{T}, (\tilde{\rho} \vee R^+), F_{sel}(\tilde{T})) \quad (22)$$

де \tilde{T} – таксономія, $\tilde{\rho}$ – відношення часткового порядку, R^+ – активні властивості концептів, F_{sel} – функція вибору.

Отже, об'єктні компоненти, що визначають онтологію задачі вибору, дозволяють інтерпретувати їх як різні інформаційні ресурси, концепти яких пов'язані певними бінарними відношеннями часткового порядку і можуть мати унарні властивості, що характеризують їх у певному якісному вигляді.

Тепер безпосередньо уточнимо математичну модель задачі ранжування (5), яка може бути формально описана так. Кожна альтернатива $x \in A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ (A – множина альтернатив) характеризується значеннями деякої сукупності показників $f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)$. Кожна функція $f_j(x), j \in J = \{1 \dots m\}$ задає значення j -го критерію [19-21, 23, 24], яке належить або до наперед визначеної множини, або обраховується у відповідності з певними математичними правилами [20, 21]. У першому випадку можливі варіанти: множина значень задається бальною чи лінгвістичною шкалою [21, 24] або – у вигляді числового інтервалу $[f_j^{min}, f_j^{max}]$, який утворюється з усіх можливих значень функції

(з мінімального до максимального) з урахуванням точності її обчислення. Прикладом другого випадку є синтез локальних пріоритетів у методі аналізу ієрархій [22]. Отже, можна вважати, що значення j -го критерію завжди є зліченною множиною, позначимо її як Q_j :

$$Q_j = \{f_j^{(1)}, f_j^{(2)}, f_j^{(3)}, \dots, f_j^{(n_j-1)}, f_j^{(n_j)}\},$$

Де $f_j^{(1)} = f_j^{\min}, f_j^{(n_j)} = f_j^{\max}, f_j^{(1)} < f_j^{(2)} < \dots < f_j^{(n_j)}, n_j = |Q_j|$ –

кількість елементів множини Q_j .

Отже, задача ранжування альтернатив за сукупністю показників полягає у встановленні певного порядку

$$A_{i_1} \geq A_{i_2} \geq \dots \geq A_{i_n}, \quad i_1, i_2, \dots, i_n \in \{1 \dots n\} \quad (23)$$

на основі обчислення значень деякого узагальненого показника $G(x)$ для кожного елемента множини A :

$$G(x) = G(f(x), W) = G((f_1(x), \dots, f_m(x)), (\omega_1, \dots, \omega_m)),$$

$$x \in A = \{A_1, \dots, A_n\},$$

$$W = (\omega_1, \dots, \omega_m), \sum_{j=1}^m \omega_j = 1, \omega_j > 0, \quad (24)$$

де значення $G(x)$ обчислюються за певним правилом (алгоритмом), що визначається математичним методом, який використовується в кожному конкретному випадку, причому

$$G(A_{i_1}) \geq G(A_{i_2}) \geq \dots \geq G(A_{i_n}), \quad (25)$$

а W – є нормованим вектором вагових коефіцієнтів критеріїв [20, 21, 24].

Найкращою вважається альтернатива A_{i_1} , яка у порядку (23) займає перше місце, відповідно, найгіршою – альтернатива A_{i_n} . Далі будемо говорити, що альтернатива A_{i_k} в порядку (23) знаходиться на k -му місці, а k будемо називати її рейтингом.

Слід зауважити, що яким би методом не розв'язувалась задача (1)-(3), достовірність отриманого результату суттєво залежить від способу перетворення значень $Q_j, j \in J$ в єдину шкалу для всіх критеріїв. Так, на практиці достатньо часто застосовують формулу [21, 24-26]

$$f'_j(x) = q_{min} + (q_{max} - q_{min}) \left(\frac{f_j(x) - \inf Q_j}{\sup Q_j - \inf Q_j} \right), x \in X = \{A_1, \dots, A_n\}, \quad (26)$$

проте вона може не зовсім коректно відображувати «суттєвість» переваги однієї альтернативи над іншою після переведення початкових значень $f_j(x)$ у шкалу $[q_{min}; q_{max}]$. У результаті при використанні отриманих значень $f'_j(x)$ в узагальненому показнику (3) розв'язок задачі (1)–(3) може бути хибним. Тому виникає необхідність у розробленні інших підходів до нормалізації критеріїв, які більш адекватно враховують реальне співвідношення вагомості альтернатив по кожному критерію.

3. Алгоритм конкурентної нормалізації критеріїв

Для нормалізації критеріїв, які відображають активні відношення онтології в операційному середовищі СППР, розглянемо довільний j -й критерій, за яким необхідно встановити реальний ступінь переваги однієї альтернативи над іншою. Критерій максимізується, причому $f_j(A_1) \leq f_j(A_2) \leq \dots \leq f_j(A_n)$. Нехай кожна альтернатива A_i за цим показником має значення b_i ($f_j(A_i) = b_i$, $i = \overline{1, n}$), а b_{ideal} – максимальне потенційно можливе значення за j -м критерієм. b_{ideal} визначається ОПР і може або співпадати з максимумом шкали значень цього критерію, або обчислюватись в певний спосіб в залежності від «потенційної» здатності альтернативи набути це значення. Обчислимо значення $b_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{n}$.

Отже, розробимо відповідне перетворення

$$\Psi: [b_{min}, b_{max}] \rightarrow [0; 1], \quad (27)$$

за яким кожне значення $b_i, i = \overline{1, n}$ отримає свій еквівалент у шкалі рейтингових балів $[0; 1]$. Слід зауважити, що у випадку застосування (26) $q_{min} = 0, q_{max} = 1$.

У геометричній інтерпретації будемо вважати, що рейтинговий бал кожної альтернативи залежить від довжини ламаної, яка починається з центру координат і проходить через точки, абсциси яких є значеннями j -го критерію.

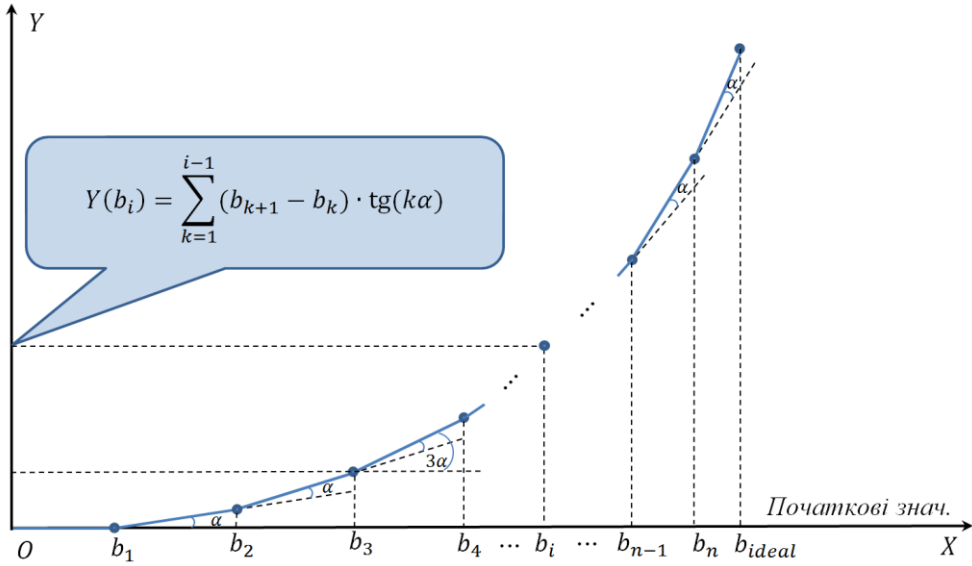


Рисунок 1 – Геометрична інтерпретація перетворення Ψ

Величина кута відхилення α кожної наступної ланки від попередньої вважається незмінною (рис. 1) і обраховується з таких міркувань. Введемо позначення:

- $\overline{B_i}, i = \overline{1, n}$ – величина бала i -ї альтернативи у шкалі $[0; 1]$,
- $\overline{P_i}, i = \overline{1, n}$ – довжина ламаної від центру координат до точки з абсцисою b_i .

Отже, маємо:

$$\begin{aligned}
 P_1 &= b_1, \\
 P_2 &= P_1 + \frac{(b_2 - b_1)}{\cos(\alpha)}, \\
 P_3 &= P_2 + \frac{(b_3 - b_2)}{\cos(2\alpha)}, \\
 &\dots \\
 P_i &= P_{i-1} + \frac{(b_i - b_{i-1})}{\cos((i-1)\alpha)}, \\
 &\dots \\
 P_{n+1} &= P_n + \frac{(b_{ideal} - b_n)}{\cos(n\alpha)}.
 \end{aligned}$$

Величина P_{n+1} є довжиною всієї ламаної (до точки з абсцисою b_{ideal}) і у шкалі $[0; 1]$ відповідає значенню 1. Тоді $B_i = \frac{P_i}{P_{n+1}}, i = \overline{1, n+1}$. Цілком логічним є твердження, що середнє значення величин $B_i, i = \overline{1, n}$ повинно

знаходиться на середині інтервалу $[0;1]$: $\frac{\sum_{i=1}^n B_i}{n} = 0.5$, адже це дозволить коректно зводити початкові критеріальні значення до рейтингових для альтернатив за різнорідними показниками. У цьому випадку середньому критеріальному значенню, яке відрізняється у кожного окремого показника, буде приблизно відповідати один і той самий бал 0.5 у шкалі $[0;1]$.

Таким чином, отримуємо рівняння для знаходження кута α :

$$\begin{aligned} \frac{\sum_{i=1}^n B_i}{n} &= \frac{\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{P_{n+1}}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{nP_{n+1}} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\sum_{k=1}^i \frac{(b_k - b_{k-1})}{\cos((k-1)\alpha)} \right)}{n \left(\sum_{k=1}^{n+1} \frac{(b_k - b_{k-1})}{\cos((k-1)\alpha)} \right)} = \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{(b_1 - b_0)}{\cos(0\alpha)} + \frac{(b_2 - b_1)}{\cos(1\alpha)} + \frac{(b_3 - b_2)}{\cos(2\alpha)} + \dots + \frac{(b_i - b_{i-1})}{\cos((i-1)\alpha)} \right)}{n \left(\sum_{k=1}^{n+1} \frac{(b_k - b_{k-1})}{\cos((k-1)\alpha)} \right)} = \\ &= \frac{nb_1 + (n-1) \frac{(b_2 - b_1)}{\cos \alpha} + (n-2) \frac{(b_3 - b_2)}{\cos 2\alpha} + \dots + (1) \frac{(b_n - b_{n-1})}{\cos n\alpha}}{n \left(b_1 + \frac{(b_2 - b_1)}{\cos \alpha} + \dots + \frac{(b_n - b_{n-1})}{\cos n\alpha} + \frac{(b_{n+1} - b_n)}{\cos(n+1)\alpha} \right)} = 0.5, \end{aligned}$$

або

$$\frac{\sum_{k=1}^n \left((n-k+1) \frac{(b_k - b_{k-1})}{\cos((k-1)\alpha)} \right)}{n \left(\sum_{k=1}^{n+1} \frac{(b_k - b_{k-1})}{\cos((k-1)\alpha)} \right)} = 0.5$$

Отримане рівняння будемо розв'язувати чисельно. Проведемо дослідження його лівої частини як функції $Z(\alpha)$, $\alpha \in [0; \frac{\pi}{2(n+1)}]$:

$$Z(\alpha) = \frac{\sum_{k=1}^n (F_k(\alpha))}{n(F_{n+1}(\alpha))} = \frac{F_1(\alpha) + F_2(\alpha) + \dots + F_n(\alpha)}{n(F_{n+1}(\alpha))},$$

де $F_k(\alpha) = \sum_{i=1}^k g_i(\alpha) = \sum_{i=1}^k \frac{(b_i - b_{i-1})}{\cos((i-1)\alpha)}$, $k = \overline{1, n+1}$.

Нехай φ – деякий кут ($\varphi > 0, \alpha + \varphi < \frac{\pi}{2(n+1)}$). Покажемо, що виконується нерівність

$$\begin{aligned} \frac{F_k(\alpha)}{F_{k+1}(\alpha)} &> \frac{F_k(\alpha + \varphi)}{F_{k+1}(\alpha + \varphi)}, \\ \frac{\sum_{i=1}^k g_i(\alpha)}{\sum_{i=1}^k g_i(\alpha) + g_{k+1}(\alpha)} &> \frac{\sum_{i=1}^k g_i(\alpha + \varphi)}{\sum_{i=1}^k g_i(\alpha + \varphi) + g_{k+1}(\alpha + \varphi)} \end{aligned}$$

$$g_{k+1}(\alpha + \varphi) \sum_{i=1}^k g_i(\alpha) > g_{k+1}(\alpha) \sum_{i=1}^k g_i(\alpha + \varphi)$$

$$\sum_{i=1}^k \frac{(b_i - b_{i-1})}{\cos(k(\alpha + \varphi)) \cos((i-1)\alpha)} > \sum_{i=1}^k \frac{(b_i - b_{i-1})}{\cos(k(\alpha)) \cos((i-1)(\alpha + \varphi))}$$

$$\frac{\cos(k(\alpha)) \cos((i-1)(\alpha + \varphi))}{\cos(k(\alpha + \varphi)) \cos((i-1)\alpha)} > \frac{\cos(k(\alpha)) \cos((i-1)(\alpha))}{\cos(k(\alpha + \varphi)) \cos((i-1)(\alpha))}, \quad 0 \leq (i-1) < k.$$

Дослідимо функцію $z(x) = \frac{\cos((i-1)x)}{\cos(kx)}, \quad 0 \leq (i-1)x < kx < \frac{\pi}{2}$

$$z'(x) = \left(\frac{\cos((i-1)x)}{\cos(kx)} \right)' =$$

$$= \frac{-(i-1) \cdot \sin((i-1)x) \cos(kx) + k \cdot \sin(kx) \cos((i-1)x)}{(\sin(kx))^2} > 0$$

$$k \cdot \sin(kx) \cos((i-1)x) > (i-1) \cdot \sin((i-1)x) \cos(kx) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \operatorname{tg}(kx) > \operatorname{tg}((i-1)x), \quad (k > i-1).$$

Оскільки $\operatorname{tg}(x)$ – монотонно зростаюча функція на інтервалі $[0; \frac{\pi}{2})$ і $kx > (i-1)x$, то виконується отримана нерівність. Отже, для $\forall k = \overline{1, n}$ маємо

$$\frac{F_k(\alpha)}{F_{k+1}(\alpha)} > \frac{F_k(\alpha + \varphi)}{F_{k+1}(\alpha + \varphi)} \Rightarrow \frac{F_{k+1}(\alpha + \varphi)}{F_{k+1}(\alpha)} > \frac{F_{k+1}(\alpha)}{F_{k+1}(\alpha + \varphi)}$$

$$\frac{F_{n+1}(\alpha + \varphi)}{F_{n+1}(\alpha)} > \frac{F_{k+1}(\alpha + \varphi)}{F_{k+1}(\alpha)} > \frac{F_{k+1}(\alpha)}{F_{k+1}(\alpha + \varphi)} \Rightarrow \frac{F_k(\alpha)}{F_{n+1}(\alpha)} > \frac{F_k(\alpha + \varphi)}{F_{n+1}(\alpha + \varphi)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\sum_{k=1}^n (F_k(\alpha))}{n(F_{n+1}(\alpha))} > \frac{\sum_{k=1}^n (F_k(\alpha + \varphi))}{n(F_{n+1}(\alpha + \varphi))} \Rightarrow Z(\alpha) > Z(\alpha + \varphi).$$

Таким чином, $Z(\alpha)$ є монотонно спадною функцією на інтервалі $(0; \frac{\pi}{2(n+1)})$, і задача полягає у пошуку кореня рівняння $Z(\alpha) - 0.5 = 0$.

На інтервалі $[0; \frac{\pi}{2(n+1)})$ розглянемо функцію $U(\alpha) = Z(\alpha) - 0.5$, яка також буде монотонно спадною за властивостями монотонних функцій.

Визначимо знак функції $Z(\alpha)$ в кінці інтервалу $[0; \frac{\pi}{2(n+1)})$.

$$\lim_{\alpha \rightarrow \frac{\pi}{2(n+1)}} Z(\alpha) =$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{nb_1 + (n-1) \frac{(b_2-b_1)}{\cos \frac{\pi}{2(n+1)}} + \dots + \frac{(b_n-b_{n-1})}{\cos \frac{n\pi}{2(n+1)}}}{n(b_1 + \frac{(b_2-b_1)}{\cos \frac{\pi}{2(n+1)}}) + \dots + \frac{(b_n-b_{n-1})}{\cos \frac{n\pi}{2(n+1)}} + \lim_{\alpha \rightarrow \frac{\pi}{2(n+1)}} \frac{(b_{n+1}-b_n)}{\cos(n+1)\alpha}} = \\
 &= \frac{const}{const + \lim_{\alpha \rightarrow \frac{\pi}{2(n+1)}} \frac{(b_{n+1}-b_n)}{\cos(n+1)\alpha}} = \frac{const}{const + (+\infty)} = 0.
 \end{aligned}$$

Таким чином,

$$\lim_{\alpha \rightarrow \frac{\pi}{2(n+1)}} U(\alpha) = \lim_{\alpha \rightarrow \frac{\pi}{2(n+1)}} Z(\alpha) - 0.5 = -0.5 < 0.$$

Обчислимо значення $U(\alpha)$ на початку інтервалу при $\alpha = 0$:

$$\begin{aligned}
 U(0) &= \frac{\sum_{k=1}^n \left((n-k+1) \frac{(B_k-B_{k-1})}{\cos((k-1) \cdot 0)} \right)}{n \left(\sum_{k=1}^{n+1} \frac{(B_k-B_{k-1})}{\cos((k-1) \cdot 0)} \right)} - 0.5 = \\
 &= \frac{\sum_{k=1}^n ((n-k+1)(B_k - B_{k-1}))}{n(\sum_{k=1}^{n+1}(B_k - B_{k-1}))} - 0.5 = \frac{\sum_{k=1}^n B_k}{nB_{n+1}} - 0.5 = \frac{B_{avg}}{B_{n+1}} - 0.5.
 \end{aligned}$$

Отже, функція $U(\alpha)$ є монотонно спадною на інтервалі $\left[0; \frac{\pi}{2(n+1)}\right)$. Якщо виконується умова $\frac{B_{avg}}{B_{n+1}} \geq 0.5$, то функція на кінцях інтервалу приймає різні знаки. Це дозволяє розв'язувати рівняння $U(\alpha) = 0$ методом дихотомії. Наведемо відповідний алгоритм пошуку кута α .

0. Ініціалізація. Кут між останньою ланкою, що з'єднує точки $(B_n; Y(B_n))$ та $(B_{ideal}; Y(B_{ideal}))$, і додатнім напрямом вісі OX не перевищує $\frac{\pi}{2}$. Тому цілком очевидними є початкові значення: $\alpha_{min} = 0$, $\alpha_{max} = \frac{\pi}{2(n+1)}$. Також задається точність, наприклад, $\varepsilon = 10^{-6}$, і номер ітерації $j = 1$.

1. Встановлюємо $\alpha_j = \frac{\alpha_{min} + \alpha_{max}}{2}$.

Для даного α обраховуємо довжини $P_i = P_{i-1} + \frac{(b_i-b_{i-1})}{\cos((i-1)\alpha_j)}$, $i = \overline{1, n+1}$.

2. Обраховуємо віднормовані бали $B_i = \frac{P_i}{P_{n+1}}$, $i = \overline{1, n+1}$.

3. Обчислюємо середнє значення $B_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n B_i}{n}$.

4. Якщо $|B_{avg} - 0.5| < \varepsilon$, переходимо на крок 6.

5. Якщо $B_{avg} > 0.5$, то $\alpha_{min} = \alpha_j$, інакше $\alpha_{max} = \alpha_j$; $j = j + 1$, переходимо на крок 1.

6. α_j – є розв’язком рівняння (28).

Далі ОПР має визначити функцію цінності для інтерпретації отриманих балів, наприклад, за допомогою порогових значень. Подальші дії ОПР залежать від сфери діяльності, для якої розв’язується конкретна задача. У деяких випадках допустимо використання, наприклад, статистичних спостережень, що характеризують властивості об’єктів ранжування.

Відповідно до алгоритму конкурентної нормалізації ОПР повинен визначити віддаленість середнього бала від 0, щоб забезпечити ступінь переваги L очікувано-максимального бала B_* над середнім балом B_{avg} . Слід зауважити, що B_* є параметром, а його значення можна отримати через статистичні спостереження або в інший спосіб, визначений ОПР внаслідок аналізу предметної області і специфіки задачі.

Отже, проводимо стискання в x раз середнього бала 0.5 до такої величини $\frac{0.5}{x}$, яка була б у L разів менша від бала $\frac{0.5}{x} + \Delta$, де $\Delta = B_* - 0.5$. Таким чином можна досягти кардинальної (чисельної) узгодженості між усіма значеннями B_k , $k = \overline{1, n}$.

$$L \cdot \frac{0.5}{x} = \frac{0.5}{x} + \Delta \Rightarrow \frac{0.5}{x}(L - 1) = \Delta \Rightarrow x = \frac{L - 1}{2 \cdot \Delta} = \mu.$$

Тепер для всіх B_i , $i = \overline{1, n}$ отримаємо нові значення \tilde{B}_i :

$$\tilde{B}_i = \begin{cases} \frac{B_i}{\mu}, & B_i \leq 0.5; \\ \frac{0.5}{\mu} + (B_i - 0.5), & B_i > 0.5 \end{cases}$$

Обчислимо значення максимального бала у новій шкалі:
 $\tilde{B}_{max} = \frac{0.5}{\mu} + (1 - 0.5)$.

Тепер, з огляду на (26), можна отримати рейтингові значення об’єктів ранжування для шкали $[q_{min}; q_{max}]$:

$$R_i = q_{min} + (q_{max} - q_{min}) \cdot \frac{\tilde{B}_i}{\tilde{B}_{max}}, \quad i = \overline{1, n},$$

де R_i – остаточні рейтингові бали.

Для прикладу розглянемо обчислення рейтингового бала деяких 23 об’єктів для шкали $[0; 1000]$, тобто $q_{min} = 0$, $q_{max} = 1000$. У табл. 1 наведені початкові значення b_i , $i = \overline{1, 23}$ певного показника. Нехай ОПР визначив $b_{ideal} = 98$ і значення параметрів $L = 3$ та $B_* = 0.75$.

Методом дихотомії знаходимо кут α такий, як зображено на рис. 1. В нашому випадку це значення є $\alpha = 0,06153$ радіан. Далі обчислюємо бали $P_i, B_i, \tilde{B}_i, R_i, i = \overline{1,23}$ (табл. 1).

Таблиця 1 – Початкові значення для 23 об'єктів

№ п/п	Об'єкти	b
1	Альтернатива 1	91,46
2	Альтернатива 2	89,8
3	Альтернатива 3	86,87
4	Альтернатива 4	84,77
5	Альтернатива 5	84,51
6	Альтернатива 6	80,8
7	Альтернатива 7	80,7
8	Альтернатива 8	79,07
9	Альтернатива 9	78,18
10	Альтернатива 10	75,18
11	Альтернатива 11	71,9
12	Альтернатива 12	67,32
13	Альтернатива 13	67,07
14	Альтернатива 14	66,1
15	Альтернатива 15	65,42
16	Альтернатива 16	62,57
17	Альтернатива 17	62,47
18	Альтернатива 18	60,88
19	Альтернатива 19	58,57
20	Альтернатива 20	18
21	Альтернатива 21	16
22	Альтернатива 22	16
23	Альтернатива 23	16

Довжина ламаної (рис. 1) від центру координат до точки з абсцисою b_{ideal} в нашому випадку є сумою довжин відрізків:

$$P_1 = 16,$$

$$P_2 = 16 + \frac{(16 - 16)}{\cos(0,06153)} = 16,$$

$$P_3 = 16 + \frac{(16 - 16)}{\cos(0,12306)} = 16,$$

$$P_4 = 16 + \frac{(18 - 16)}{\cos(0,18459)} = 18,03,$$

$$P_5 = 18,03 + \frac{(58,57 - 18)}{\cos(0,24612)} = 59,87,$$

...

$$P_{23} = 115,69 + \frac{(91,46 - 89,8)}{\cos(1,35367)} = 123,38,$$

$$P_{24} = 123,38 + \frac{(98 - 91,46)}{\cos(1,415199)} = 165,60.$$

Таблиця 2 – Результати роботи алгоритму обчислення рейтингового бала

Індекс	Об'єкти	<i>b</i>	<i>P</i>	<i>B</i>	<i>Б̃</i>	<i>R</i>
23	Альтернатива 1	91,46	123,38	0,75	0,375	600
22	Альтернатива 2	89,80	115,69	0,70	0,325	520
21	Альтернатива 3	86,87	105,02	0,63	0,255	408
20	Альтернатива 4	84,77	98,74	0,60	0,225	360
19	Альтернатива 5	84,51	98,07	0,59	0,215	344
18	Альтернатива 6	80,80	89,77	0,54	0,165	264
17	Альтернатива 7	80,70	89,58	0,54	0,165	264
16	Альтернатива 8	79,07	86,63	0,52	0,145	232
15	Альтернатива 9	78,18	85,15	0,51	0,135	216
14	Альтернатива 10	75,18	80,55	0,49	0,1225	196
13	Альтернатива 11	71,90	75,84	0,46	0,115	184
12	Альтернатива 12	67,32	69,64	0,42	0,105	168
11	Альтернатива 13	67,07	69,32	0,42	0,105	168
10	Альтернатива 14	66,10	68,14	0,41	0,1025	164
9	Альтернатива 15	65,42	67,34	0,41	0,1025	164
8	Альтернатива 16	62,57	64,10	0,39	0,0975	156
7	Альтернатива 17	62,47	64,00	0,39	0,0975	156
6	Альтернатива 18	60,88	62,29	0,38	0,095	152
5	Альтернатива 19	58,57	59,87	0,36	0,09	144
4	Альтернатива 20	18,00	18,03	0,11	0,0275	44
3	Альтернатива 21	16,00	16,00	0,10	0,025	40
2	Альтернатива 22	16,00	16,00	0,10	0,025	40
1	Альтернатива 23	16,00	16,00	0,10	0,025	40

Тоді величина бала *i*-го учасника у шкалі [0; 1] є $B_i = \frac{P_i}{165,60}$, $i = \overline{1,23}$.

Знаходимо такий індекс r , при якому справджується подвійна нерівність

$$B_r < 0.5 \leq B_{r+1} \quad (r = 14).$$

$$\text{Відповідно до алгоритму } \mu = \frac{L-1}{2(B_n-0.5)} = \frac{3-1}{2(0.75-0.5)} = 4$$

$$\tilde{B}_1 = \frac{B_1}{4} = \frac{0.1}{4} = 0.025$$

$$\tilde{B}_2 = \frac{B_2}{4} = \frac{0.1}{4} = 0.025$$

$$\tilde{B}_3 = \frac{B_3}{4} = \frac{0.1}{4} = 0.025$$

$$\tilde{B}_4 = \frac{B_4}{4} = \frac{0.11}{4} = 0.0275$$

...

$$\tilde{B}_{14} = \frac{B_{14}}{4} = \frac{0.49}{4} = 0.1225$$

$$\tilde{B}_{15} = \frac{0.5}{4} + (B_{15} - 0.5) = \frac{0.5}{4} + (0.51 - 0.5) = 0.135$$

$$\tilde{B}_{16} = \frac{0.5}{4} + (B_{16} - 0.5) = \frac{0.5}{4} + (0.52 - 0.5) = 0.145$$

...

$$\tilde{B}_{23} = \frac{0.5}{4} + (B_{23} - 0.5) = \frac{0.5}{4} + (0.75 - 0.5) = 0.375$$

$$\text{Обчислимо } \tilde{B}_{max} = \frac{0.5}{\mu} + (1 - 0.5) = \frac{0.5}{4} + 0.5 = 0.625.$$

Тепер, з огляду на (26), можна отримати рейтингові значення об'єктів ранжування для шкали $[q_{min}; q_{max}]$:

$$R_i = 0 + (1000 - 0) \cdot \frac{\tilde{B}_i}{0.625} = 1600 \cdot \tilde{B}_i, \quad i = \overline{1, n}$$

Остаточно маємо:

$$R_1 = \tilde{B}_1 \cdot 1600 = 0.0242 \cdot 1600 = 40$$

$$R_2 = \tilde{B}_2 \cdot 1600 = 0.0242 \cdot 1600 = 40$$

$$R_3 = \tilde{B}_3 \cdot 1600 = 0.0242 \cdot 1600 = 40$$

$$R_4 = \tilde{B}_4 \cdot 1600 = 0.0273 \cdot 1600 = 44$$

...

$$R_{23} = \tilde{B}_{23} \cdot 1600 = 0.375 \cdot 1600 = 600$$

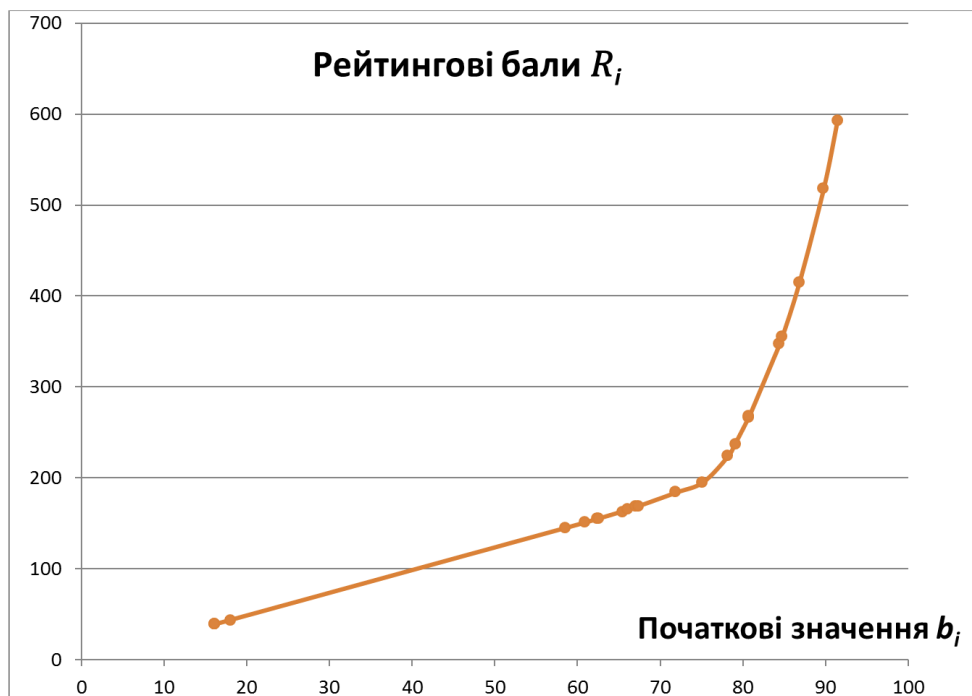


Рисунок 2 – Графічне представлення обчислених алгоритмом рейтингових балів

На рис. 2 у графічному вигляді зображені залежності рейтингових балів у шкалі [0..1000] від початкових.

Алгоритм конкурентної нормалізації був апробований для розв’язку практичних задач побудови рейтингів об’єктів, зокрема – для учасників республіканських етапів Всеукраїнського конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт учнів – членів Малої академії наук України.

Алгоритм доцільно використовувати у випадках, коли ступінь переваги однієї альтернативи над іншою залежить не від абсолютних чисельних початкових значень показника, а від того, наскільки багато альтернатив мають близькі значення між собою і не досягають або переважають порогові значення, задані ОПР в результаті аналізу предметної області.

Висновки

Онтологічне представлення задачі ранжування дозволяє досить конструктивно враховувати усі умови її формулювання та використовувати контексти описів етапів і стадій розв’язування. Це досягається за рахунок спроможності онтологій щодо забезпечення процесу семантичного аналізу контекстів усіх описів, на основі якого визначається множина таксономій, які забезпечують структурне представлення цих умов. Таксономії стають головним конструктивним інструментом визначення множини альтернатив на етапі аналізу умов задачі ранжування. А безпосередньо онтологія, за рахунок представлення властивостей об’єктів, що входять в описи альтернатив, дозволяє визначити множини критеріїв, за якими й виконується ранжування.

Тут слід ще раз підкреслити той факт, що онтологія забезпечує інтерпретування властивостей об'єктів задачі ранжування в якості критеріїв ранжування. Це забезпечує високий рівень об'єктивності щодо визначення критеріальних умов задачі та валідності отриманих при розв'язуванні результатів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Стрижак О.Є. Трансдисциплінарна інтеграція інформаційних ресурсів [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.06 / Стрижак Олександр Євгенійович; Нац. акад. наук України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. Київ, 2014. 47 с.
2. Конноли Т. Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика, 2-е изд.: Пер. с англ. / Конноли Т., Бегг К., Страчан А. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 1120 с.
3. Белоногов Г.Г., Кузнецов Б.А. Языковые средства автоматизированных информационных систем. М.: Наука, 1983.
4. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
5. Князева Е.Н. Трансдисциплинарные стратегии исследований // Вестник ТГПУ. 2011. №10.
6. Палагин А.В. К вопросу системно-онтологической интеграции знаний предметной области / А.В. Палагин, Н.Г. Петренко. – Математические машины и системы, 2007. – № 3, 4. – С. 63–75.
7. Gruber T.R. A translation approach to portable ontology specifications / T.R. Gruber // Knowledge Acquisition. – 1993. – Vol. 5. – P. 199–220.
8. Guarino N., The Ontological Level. In: Casati R., Smith N. and White G. (eds.), Philosophy and the Cognitive Sciences, Vienna: Holder-Pichler-Tempsky, 1994.
9. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения: Пер. с англ. – М.: Конкорд, 1992. – 519 с.
10. Hermann Helbig: Knowledge Representation and the Semantics of Natural Language, Springer, Berlin, Heidelberg, New York 2006.
11. Гладун В.П. Процессы формирования новых знаний [Текст] / Гладун В.П. – София : СД «Педагог 6», 1994. – 192 с.
12. Стрижак О.Є. Засоби онтологічної інтеграції і супроводу розподілених просторових та семантичних інформаційних ресурсів // Екологічна безпека та природокористування: Збірник наукових праць. / М-во освіти і науки України, Київ, Нац. ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору; редкол.: О.С. Волошкіна, О.М. Трофимчук (голов. ред.) [та ін.]. – К., 2013. – Вип. 12. – С. 166–178.
13. Андрусенко Т.Б. Методичні вказівки по використанню в учбовому процесі автоматизованого тезаурусу «Сівозміни» / Т.Б. Андрусенко, П.Н. Івончик, М.П. Косолап, О.Є. Стрижак. – Київ : Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова, Український державний аграрний університет, 1994. – 24 с.
14. Макаров И.М. Теория выбора и принятия решений / И.М. Макаров, Т.М. Виноградская, А.А. Рубчинский, В.Б. Соколов. – М.: Наука. 1982. – 328 с.
15. Айзерман М.А. Выбор вариантов: основы теории / М.А. Айзерман, Ф.Т. Алескеров. – Москва: Наука, 1990. – 240 с.
16. Айзерман М.А. Некоторые аспекты общей теории выбора лучших вариантов // Автоматика и телемеханика. / М.А. Айзерман, А.В. Малишевский. 1981. – № 2. – С. 65–83.
17. Малишевский А.В. Качественные модели в теории сложных систем / А.В. Малишевский. – М.: Наука. Физматлит. 1998. – 528 с.

18. Горборуков В.В. Використання онтологій у системах підтримки прийняття рішень / В.В. Горборуков, О.Є. Стрижак, О.В. Франчук – Математичне моделювання в економіці: Зб. наук. праць // НАН України Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору, Ін-т економіки та прогнозування, Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова; редкол.: С.О. Довгий (голов. ред.) [та ін.]. – К., 2013. – Вип. 3. – С. 33–40.
19. Емельянов С.В. Многокритериальные методы принятия решений / С.В. Емельянов, О.И. Ларичев. – М.: Знание, 1985. – 32 с.
20. Кини Р. Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р. Л. Кини, Х. Райфа. – М. : Радио и связь, 1981. – 560 с.
21. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений / О.И. Ларичев. – М. : Логос, 2003. – 392 с.
22. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М. : Радио и связь, 1993. – 278 с.
23. Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений / И.Г. Черноруцкий. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
24. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения / Р. Штойер. – М. : Радио и связь, 1992. – 504 с.
25. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход / В.Д. Ногин (2-е изд., испр. и доп.). – М.: Физматлит, 2005, 176 с.
26. Opricovic S. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS / S. Opricovic, G.H. Tzeng. European Journal of Operational Research, 2004. – № 156(2). – pp. 445-455.

Стаття надійшла до редакції 22.11.2018.

АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 004.942 ; 626/627 ; 504.05

В.М. КОРБУТЯК, Д.В. СТЕФАНИШИН

ТРАНСФОРМАЦІЇ МІНІМАЛЬНОГО СТОКУ р. СЛУЧ ТА ЇХ ВПЛИВ НА НОВОГРАД-ВОЛИНСЬКЕ ВОДОСХОВИЩЕ ЯК ОБ'ЄКТ МІСЦЕВОЇ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

***Анотація.** Проаналізовано фактори, які визначають трансформації мінімального стоку р. Случ, що мають негативний вплив на стан Новоград-Волинського водосховища як об'єкта критичної інфраструктури, зокрема випаровування з водних поверхонь штучних водойм (ставків, водосховищ), розташованих в басейні річки вище за течією. За даними дистанційного зондування Землі виконано загальну оцінку умов формування мінімального стоку р. Случ у створі Новоград-Волинського водосховища та побудовано геоінформаційну гідрологічну модель водозбору річки з поділом території на локальну водозбори. Ідентифікацію водних дзеркал здійснено за допомогою модифікованого нормалізованого водного індексу. Отримано наближену оцінку можливих втрат мінімального стоку внаслідок випаровування.*

***Ключові слова:** дистанційне зондування Землі, критична інфраструктура, маловоддя, мінімальний стік, Новоград-Волинське водосховище.*

Вступ

Залучення значних обсягів річкових вод у господарський обіг, їх забруднення і безповоротні втрати, великомасштабне антропогенне перетворення ландшафтів в межах річкових басейнів, гідротехнічне будівництво та гідромеліорації, інтенсифікація аграрного виробництва на водозборах – все це порушує природну рівновагу більшості річкових екосистем та призводить до виснаження водних ресурсів у багатьох регіонах нашої держави [1].

Збитки господарським об'єктам, загрози життєдіяльності населення, спричинені маловоддям (малими витратами) та низькими рівнями води на річках, вже порівнюються зі збитками та загрозами, що виникають при повенях [2]. В останньому перекоує, наприклад, надзвичайна ситуація, що виникла 28 серпня 2003 р. в м. Мостиська Львівської області, де внаслідок тривалої сухої погоди у липні-серпні різко знизився рівень води в р. Зелена Кривуля, на якій встановлено поверхневий водозабір, а це призвело до

неможливості постачання питної води місту з 8-тисячним населенням. Для подолання водної кризи знадобилося терміново прокладати тимчасовий трубопровід завдовжки 2,3 км для забору води з р. Вишня [3].

Втім, у науковому аспекті проблематиці маловоддя та низьких рівнів води на річках і, в першу чергу, проблемам кількісного аналізу, оцінювання та прогнозування мінімального стоку річок та виникнення водних дефіцитів з врахуванням впливу антропогенного фактора тощо в Україні належна увага все ще не приділяється, незважаючи на гостру необхідність та актуальність таких досліджень [4]. Традиційно (особливо що стосується маловоддя на річках) більшість науковців зосереджується на дослідженнях та оцінюванні якості водних ресурсів, а не їх кількісних характеристик [5].

При цьому, якщо негативні зміни в якості поверхневих вод в першу чергу пов'язують з антропогенним фактором, зокрема з надмірним надходженням в річки різноманітних техногенних забруднень, то можливі впливи антропогенного фактора на негативні зміни кількісних характеристик мінімального стоку (мінімальних витрат, мінімальних рівнів води) серед пріоритетних не розглядаються.

Зокрема, наприклад, згідно з Додатком 1 до пункту 13 «Методики ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів» [6], у якому наводиться класифікація надзвичайних ситуацій (у відповідності з Державним класифікатором надзвичайних ситуацій ДК 019-2001), такі гідрологічні явища, як «Маловоддя» (шифр явища 20420) та «Низькі рівні води» (шифр явища 20450) відносяться до гідрологічних прісноводних надзвичайних ситуацій природного характеру. Тобто про можливий причинно-наслідковий зв'язок між надзвичайними ситуаціями, спричиненими екстремальними проявами мінімального стоку, та антропогенним фактором (безпосереднім чи опосередкованим) в [6] не згадується.

Втім, як показує практика, кількісні характеристики мінімального стоку в екстремальних проявах (мінімальні витрати, мінімальні рівні води) можуть мати вирішальне значення в контексті забезпечення раціонального, екологічно безпечного використання водних ресурсів [4, 7], і негативні зміни цих кількісних характеристик значною мірою, прямо чи опосередковано, можуть викликатися саме антропогенним фактором. Особливо актуальним це може бути для України, де рівень забезпечення ресурсами річкового стоку один з найнижчих серед країн Європи, а рівень зарегулювання – один з найвищих. Так, якщо в Україні на одного жителя припадає менше 1 тис. м³ місцевих ресурсів річкового стоку, то у Європі в середньому – близько 5 тис. м³, у Швеції – 21,6, Швейцарії – 5,8, Білорусі – 3,3, Франції – 2,9, Німеччині – 1,3 тис. м³. Поряд з цим загальні обсяги акумулювання води у вітчизняних водосховищах сягають 55,3 км³, що більше в цілому водних ресурсів річок країни (52,4 км³), які формуються на її території в середні за водністю роки [8]. Штучні водойми (водосховища, ставки) є важливими інфраструктурними об'єктами в системі народного господарства України, які поряд з тим, що виконують важливі водогосподарські функції (комунальне і технічне водопостачання, іригація, гідроенергетика, рибне господарство, регулювання стоку, боротьба з повеннями, рекреація тощо), суттєво змінюють річковий стік, в тому числі і мінімальний. І ці зміни, зокрема і ті, що стосуються мінімального стоку, не завжди носять позитивний характер [9], в тому числі, як показує практика, і для окремих учасників та об'єктів

водогосподарчого комплексу [3], що забезпечують життєдіяльність населення або виконують критичні для функціонування народного господарства функції, і, відповідно, можуть у зв'язку з цим розглядатися як об'єкти критичної інфраструктури.

1. Новоград-Волинське водосховище на р. Случ як об'єкт місцевої критичної інфраструктури

До об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ) у світовій (і вітчизняній) практиці прийнято відносити інженерні та інформаційні системи або мережі, об'єкти, підприємства, установи, види діяльності, а також і природні чи природно-техногенні об'єкти тощо, які мають особливо важливе значення для підтримки життєво необхідних соціальних функцій і порушення функціонування яких може призвести до критичної ситуації (колапсу) в економіці, екологічній чи соціальній сферах на загальнодержавному, регіональному або місцевому рівнях [10–13]. Це об'єкти, без яких, за умов, що склались чи складаються у відповідній сфері чи на відповідній території, наразі не обійтися, оскільки на них замикається важлива (критична) системна функція забезпечення життєдіяльності країни, регіону або окремого населеного пункту. Іншою важливою ознакою ОКІ, поряд з функціональною, є вразливість цих об'єктів до впливів зовнішнього середовища, що вимагає впровадження заходів щодо їх захисту від цих впливів [14, 15].

Новоград-Волинське водосховище, що розташовано на р. Случ (рис. 1), може розглядатися одним з прикладів ОКІ місцевого значення. Водосховище використовується для питного водопостачання міста Новоград-Волинський, де проживає понад 55 тисяч жителів, санітарної потреби, а також виробничої потреби місцевих промислових підприємств [16].



Рисунок 1 – Гребля Новоград-Волинського водосховища (фото: Ілля Стецюк, https://lh5.googleusercontent.com/p/AF1QipNy0KHRR2IVZ4NBveR-Lj9iu0ZMkCTS_qc2Jil2=w1280-h720-pd)

Водосховище має об'єм в 1,8 млн м³, площу водного дзеркала 95,5 га. Питома середньорічна реалізація води складає 1 млн 955 тис. м³/рік [16], що в середньому становить 0,062 м³/с. Це єдине джерело комунального та промислового водопостачання міста, якому наразі немає альтернативи.

Всього в басейні р. Случ вище за течією від м. Новоград-Волинський побудовано більше 200 ставків і 14 водосховищ. Загальна площа водного дзеркала водосховищ складає 2027 га, а повний об'єм – 25,6 млн м³. На чотирьох водосховищах, що розміщуються на р. Случ, експлуатуються малі гідроелектростанції (МГЕС): Миропільська (потужністю 500 кВт) та Пединківська (600 кВт), які вже працюють більше 50 років, з 1957 і 1959 рр., відповідно; Коржівська (320 кВт), яка була побудована в 1953 р. і відновлена в 2004 р.; Любарська (200 кВт), побудована в 1950 р., відновлена в 2006 р.

Основні характеристики водосховищ наведено нижче у табл. 1.

Таблиця 1 – Основні характеристики водосховищ в басейні р. Случ, що розташовані вище за течією від м. Новоград-Волинський (дані надано О. Шпартаком)

№ з/п	Найменування водосховища, місце розташування	Річка	Площа водозбору (км ²)	Площа дзеркала (га)	Повний об'єм (млн м ³)
1	Базалійське, смт. Базалія Теофіпольського р-ну	Случ	104	66	1,0
2	Чернелівське, с. Чернелівка Красилівського р-ну	Случ	354	208	3,1
3	Дубищинське, с. Дубище Красилівського р-ну	Случ	397	142	1,35
4	Кузьминське, с. Кузьмин Красилівського р-ну	Случ	515	765	6,12
5	Воронківське, с. Воронківці Старокостянтинівського р-ну	Случ	535	83	1,4
6	Старокостянтинівське, м. Старокостянтинів	Случ	1300	130	1,4
7	Антонінське, смт. Антоніни Красилівського р-ну	Ікопоть	99	81	1,62
8	Пашковецьке, с. Пашківці Старокостянтинівського р-ну	Ікопоть	470	89	1,30
9	Манівецьке, с. Манівці Красилівського р-ну	Ікопоть	153	83	1,24
10	Росоловецьке, с. Росолівці Красилівського р-ну	Понора	165	82	1,47
11	Пединківське, с. Пединки Любарського р-ну	Случ	2340	43	1,2
12	Борушківське, с. Борушіці Любарського р-ну	Деревичка	307	100	1,5
13	Любарське, смт. Любар	Случ	2450	60	1,1
14	Новоград-Волинське, м. Новоград-Волинський	Случ	7460	95,5	1,8

Наразі в басейні р. Случ немає жодної річки, яка б знаходилася в неперушеному стані. Річка потерпає від значного антропогенного пресу, хоча загальний її екологічний стан, згідно з басейновим принципом, і оцінюється як «задовільний» [17]. Річка зазнала серйозних гідроморфологічних змін, практично на всій її довжині, які значною мірою можуть бути пов'язані і з

надмірним гідротехнічним будівництвом в її басейні [18]. Поряд з постійним надходженням в її води різного роду забруднень, в тому числі і внаслідок аварійних викидів [19], все частіше річка потерпає і від маловоддя (див. рис. 2). У серпні 2017 р. проблема маловоддя трохи нижче за течією від м. Новоград-Волинський у нижньому б'єфі нещодавно відновленої Чижівської МГЕС (2015 р.) набула таких масштабів [20] (див. також рис. 3), що для вирішення проблем із пересиханням русла була утворена спеціальна комісія з представників всіх гілок районної влади. Її рішенням так звана «санітарна» витрата в $2,39 \text{ м}^3/\text{с}$, що визначалася за значенням мінімальної витрати, яка спостерігалася в 2005 р. (з 1975 р. по 2005 р., тобто протягом 30 років спостережень, див. рис. 2) за проханням власника Чижівської міні ГЕС в особі ТОВ «Гідроенергоінвест» «тимчасово» була зменшена до $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$.

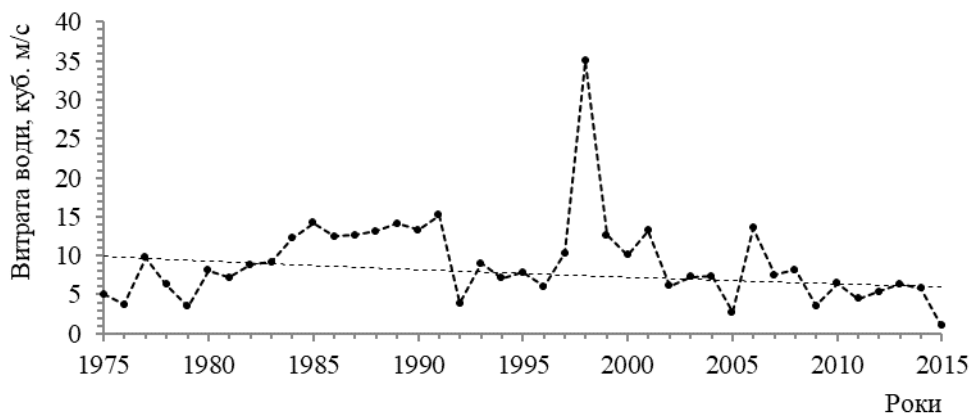


Рисунок 2 – Ряд динаміки мінімальних витрат р. Случ на гідропосту «Новоград-Волинський» (мінімуми для періодів «відкритої води»)



Рисунок 3 – Річка Случ в с. Чижівка, травень 2017. Нижній б'єф греблі Чижівської МГЕС. Фото: Петро Тестов [20]

Проблема ще більше загострилася у зв'язку з планами будівництва чергової МГЕС на р. Случ вище за течією від Новоград-Волинського в с. Гульськ. Тепер вже виникла загроза порушення і так недостатньо належних умов функціонування системи забезпечення водою жителів і підприємств

м. Новоград-Волинський. Проти нового гідротехнічного будівництва на річці виступили комунальні служби, місцева влада та громадськість міста. При цьому місцева влада і громада с. Гульськ наполягають на спорудженні МГЕС зі ще одним водосховищем на Случі, посилаючись на запевнення іноземного інвестора (норвезьку компанію), що це будівництво не завдасть шкоди довкіллю, а навпаки, навіть покращить екологічну ситуацію на р. Случ [21].

В ситуації, що склалася, Новоград-Волинське водосховище вже має розглядатися не лише як ОКІ місцевого рівня, на якому замикається критично важлива функція водопостачання населення окремого міста, а і як ОКІ, на стан якого можуть негативно впливати, в екстериторіальному вимірі, інші подібні інфраструктурні об'єкти – численні штучні водойми (ставки, водосховища), розташовані в басейні річки вище за течією. При цьому маловоддя на р. Случ, як один з важливих факторів впливу на стан Новоград-Волинського водосховища, має аналізуватися в контексті трансформації мінімального стоку внаслідок антропогенної діяльності на водозборі.

2. Мінімальний стік: особливості його формування та виклики маловоддя і низьких рівнів води

Мінімальний стік на річках спостерігається у меженний період, коли річки переходять практично на живлення за рахунок підземних вод. На річках України це може спостерігатися як улітку, так й узимку. При цьому поверхневий стік або повністю припиняється, або має найменше значення.

Величина підземного живлення річок визначається взаємодією різних чинників – як природних, так і антропогенних [3, 4, 22, 23]. Серед природних чинників найбільш важливими є фізико-географічні: кліматичні, гідрогеологічні, а також рельєф, ґрунти, природна рослинність. Зокрема, кількість ґрунтових вод, що накопичуються у верхніх ґрунтових горизонтах, залежить від властивостей ґрунтів, їх водопроникливості й утримуючої здатності. Наприклад, рихлі лісові ґрунти добре затримують поверхневий стік й сприяють утворенню підземних вод під лісом. Тому мінімальний стік річок значною мірою визначається станом лісових масивів в їх басейні.

Велике значення для формування мінімального стоку має також наявність у басейні річки озер і боліт. Наявність природних озер в басейні ріки зазвичай підвищує її мінімальний стік. В свою чергу вплив боліт на мінімальний стік залежить від типу боліт й глибини залягання ґрунтових вод. Низинні болота, в заплаві, з високими рівнями ґрунтових вод, його підвищують, верхові болота, зі значною глибиною залягання ґрунтових вод, – навпаки сприяють зменшенню мінімального стоку.

Запаси ґрунтових вод у верхніх ґрунтових горизонтах зазвичай незначні, й основну роль в живленні ріки в періоди мінімального стоку відіграють глибинні горизонти. Тому мінімальний стік ріки суттєво залежить від глибини ерозійного врізання русла, числа й характеру водоносних горизонтів й геологічного складу порід. Чим далі від витoku, тим більше водоносних горизонтів прорізує долина й русло ріки й тим вищим і стійкішим в природних умовах стає її мінімальний стік [3].

Зі збільшенням площі водозбору річки мінімальний стік зазвичай збільшується, стає стійкішим, адже при цьому одночасно підсилюється глибина ерозійного врізання русла й збільшується здатність водозбору до

аккумуляції стоку. Однак, у районах з неоднорідною геологічною будовою й різноманітними умовами підземного живлення на притоках може спостерігатися не прямий, а зворотний зв'язок величини мінімального стоку від площі водозборів річок [3, 4, 22, 23].

Антропогенне навантаження на прирічкові території та ріку зазвичай негативно впливає на мінімальний стік річки, спричинюючи маловоддя та низькі рівні води. Особливий вплив може мати надмірне водовідведення з осушуваних земель і водозабір [22, 23]. Значного впливу на гідрологічний режим і розподіл мінімального стоку в меженні періоди, особливо на малих ріках, завдає регулювання ставками і водосховищами та трансформація русел, спричинена ними та надмірними кар'єрними розробками в руслах та заплавах річок [9, 24-26].

Проблема маловоддя і низьких рівнів води, особливо на малих ріках, загострюється і у зв'язку з прогнозованими глобальними і локальними кліматичними змінами. Згідно з прогнозами гідрокліматологів на найближче майбутнє в умовах сучасних тенденцій до потепління клімату на території України буде продовжуватися посилення небезпечних стихійних явищ: у вологі періоди – паводків, селей, зсувів, а в сухі періоди – різке виснаження ґрунтових вод та обміління малих річок. Періоди малих витрат та рівнів води (періоди межені) навіть в умовах відсутності або незначного антропогенного навантаження на річкову систему в багатьох випадках є критичними. При цьому вже незначні антропогенні впливи на водозборах малих річок можуть суттєво змінити параметри їх мінімального стоку (режим витрат і рівнів води), які далі можуть відбитися і на стані середніх річок [27].

З явищем маловоддя пов'язуються небезпеки перебоїв в системах водопостачання та водокористування, посилення різних видів ерозії, засуходолення прирічкових територій, зокрема заплави річки, відмирання вторинних рукавів, погіршення умов судноплавства тощо. За умов малих витрат та понижених рівнів води в екосистемах малих та середніх річок уповільнюються процеси самоочищення води та погіршується її якість. Це відбувається внаслідок зникнення мілководних ділянок, заселених вищою водною рослинністю та природними фільтраторами, наприклад, – двостулковими молюсками. Більшість заплавлених територій, які мають велике значення для відтворення рибних запасів, водоплавної птиці, високих врожаїв лучних трав тощо, а також виконують роль природних бар'єрів для перехоплення забруднюючих стоків з поверхні водозбору ріки, в періоди маловоддя осушуються та піддаються деградації [8]. Зменшення води в русловій мережі нижче гранично допустимого його значення (як витрат – маловоддя, так і рівнів води – низькі рівні води) порушує не лише умови нормального існування окремих, особливо чутливих гідробіонтів, а й функціонування гідроекосистеми в цілому [7, 9, 24, 28-30].

3. Аналіз впливу на мінімальний стік р. Случ випаровування зі штучних водойм на водозбір Новоград-Волинського водосховища

Зміни мінімального стоку, особливо малих річок, можуть відбуватися навіть за відносно слабкого регулювання річкового стоку штучними водоймами. Внаслідок трансформації стоку в процесі підтримання рівнів води у штучних водоймах вниз за течією в русло ріки починає надходити менша витрата.

Вода з водосховищ і ставків втрачається також на фільтрацію в береги та ложе, причому значна частина цих втрат в річку вже не повертається (прямі, наглядні ефекти фільтрації з водосховищ, які легко можуть реєструватися, зокрема і засобами дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), – це підтоплення, заболочування територій тощо; непрямі, але які можуть досліджуватися в польових умовах в комбінації з засобами ДЗЗ, – поглинання води прибережною рослинністю (транспірація), інфільтрація в напірні водні горизонти і таке інше). Збільшуються також втрати стоку ріки через збільшення водної поверхні, зокрема – на випаровування, що особливо актуально в літню межень, та на утворення крижаного покриву на водосховищах (значно більша площа водної поверхні і майже у два рази більша товщина криги), що актуально в зимову межінь. Ці втрати стоку також можуть бути оцінені з використанням даних ДЗЗ.

Для р. Случ, переобтяженої антропогенним втручанням, ефекти на штучних водоймах (трансформація стоку, фільтрація, випаровування, льодостав, транспірація), зі спорудженням ще одного водосховища вверх за течією, можуть виявитися суттєвими для забезпечення функціонування Новоград-Волинського водосховища як ОКІ місцевого значення.

З метою оцінювання умов формування стоку р. Случ на ділянці водозбору вверх за течією від м. Новоград-Волинський за даними радарного знімання SRTM (<https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>) нами було побудовано геоінформаційну гідрологічну модель водозбору з поділом території на локальні водозбори. Для ідентифікації водних дзеркал було використано знімки Landsat та модифікований нормалізований водний індекс MNDWI [31]. Для аналізу було відібрано водойми площею понад 3 га. Згідно з отриманою моделлю (рис. 4) їх загальна кількість у розрахунковому басейні склала 249, сумарна їх площа становить близько 4418 га.

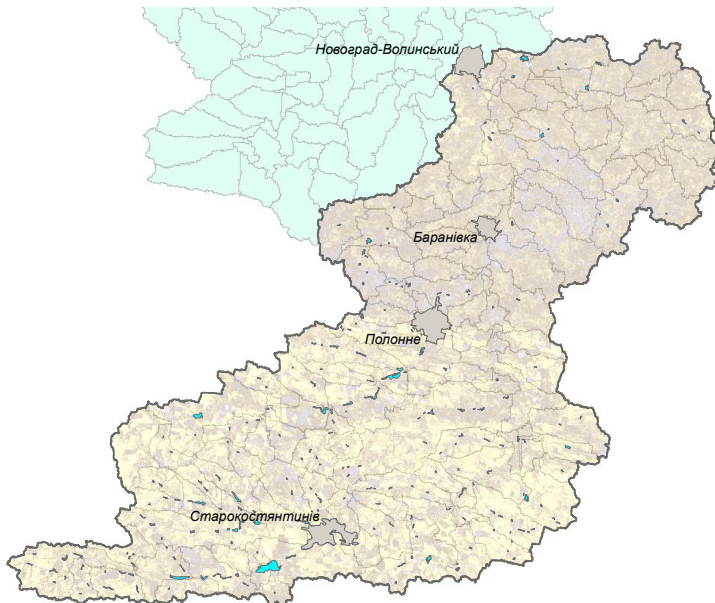


Рисунок 4 – Ідентифікація водних дзеркал в басейні р. Случ (водойми площею понад 3 га, замикаючий створ Новоград-Волинського водосховища)

Вплив перехоплення транзитного стоку у маловодний період штучними водоймами в басейні р. Случ схематично зображено за допомогою моделі, наведеної на рис. 5. Можна зауважити, що створи численних ставків і водосховищ значною мірою замикають на собі мінімальний стік, що формується на територіях, розташованих вище від них за течією. Відповідно, для створу Новоград-Волинського водосховища мінімальні витрати води фактично формуються з території значно меншої від тієї, що зазначена в кадастрі (7460 км², див. табл. 1).

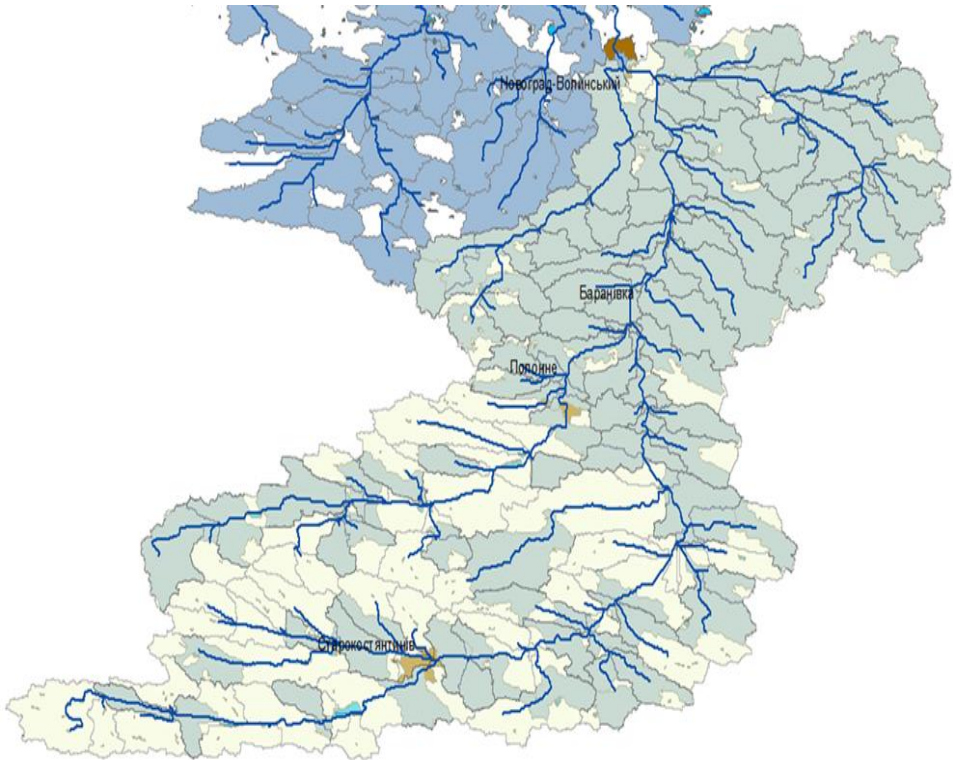


Рисунок 5 – Модель водозбору р. Случ для маловодного періоду (світлим тоном позначено ділянки, де мінімальний стік значною мірою перехоплюється місцевими водоймами)

Оскільки за даними гідрологічних спостережень критичні екстремуми (мінімуми) мінімального стоку на р. Случ на гідропосту «Новоград-Волинський» спостерігаються в літній період, то в першу чергу оцінювалися можливі втрати мінімального стоку річки внаслідок випаровування через збільшення водної поверхні.

Слід зазначити, що випаровування з водних дзеркал є складним фізичним процесом, перебіг якого залежить від температури навколишнього повітря та води, від напрямку та сили вітру, глибин водойм, водної рослинності, наявності дерев по берегах. Втім, з достатньою для практики точністю оцінку втрат на випаровування можна отримати за допомогою рядів даних метеоспостережень, в тому числі і за аналогами [32].

При оцінюванні втрат на випаровування зі штучних водойм в межах розрахункового басейну р. Случ (рис. 4) в якості аналога використовувались дані метеостанції «Рівне» для Басівкутського водосховища, розташованого в м. Рівне. За наявними даними було встановлено, що для маловодного року 75% забезпеченості за літній період (тривалістю 92 доби) сумарно з водного дзеркала Басівкутського водосховища випаровується 391 мм, або 4,25 мм/добу. Цю оцінку було використано для наближеного прогнозування втрат на випаровування зі ставків та водосховищ, що розташовані в басейні р. Случ. Розрахунки показали, що для встановленої площі водойм у басейні р. Случ вище м. Новоград-Волинський сумарні втрати на випаровування в літній період для маловодного року 75% забезпеченості можуть оцінюватися в 187,8 тис. м³/добу. Таким чином, зменшення природної витрати р. Случ у створі Новоград-Волинського водосховища влітку за рахунок випаровування з водойм, розташованих вище за течією, може скласти біля 2,17 м³/с. При цьому мінімальна витрата літньої межні забезпеченістю 75% у створі «Новоград-Волинський» оцінюється у 8,8 м³/с, мінімальна витрата 95% забезпеченості – у 4,85 м³/с, мінімальна спостережена з 1975 р. витрата 2015 р. (за 40 років) – 1,03 м³/с, а середньозважена витрата водозабору з Новоград-Волинського водосховища оцінюється всього в 0,062 м³/с.

Висновки

Трансформація мінімального стоку р. Случ внаслідок надмірного гідротехнічного будівництва в її басейні може розглядатися однією з основних причин деградації річки та загрожує подальшим погіршенням її екологічного стану в майбутньому. Оскільки перебудова гідрологічного режиму річки має певну інерційність з моменту початку дії фактора, що його дестабілізує, то без просторово-часового аналізу складно встановити всі визначальні причини негативних змін, що відбуваються на водному об'єкті, особливо коли поєднується дія як глобальних чинників, так і місцевих. При цьому мають аналізуватися різні можливі чинники таких змін.

Управління територіями, раціональне природокористування в межах річкових басейнів мають спрямовуватися не лише на оцінювання якісних показників поверхневих вод, а і їх кількісних показників, особливо тих, що стосуються маловоддя та низьких рівнів води. Серед першочергових заходів, які сприятимуть вирішенню цих завдань, зокрема і завдань щодо захисту водних об'єктів, як природних, так і штучних, які за багатьма критеріями мають розглядатися як об'єкти критичної інфраструктури, є розробка планів використання місцевого стоку за умов мінімізації його втрат, особливо у маловодні періоди. Для цього необхідно відмовитися від ставлення до водних ресурсів місцевих річок, як до виключно промислового ресурсу, який наразі все частіше використовується лише в приватних інтересах.

Показано, що необґрунтоване, стихійне будівництво штучних водойм в басейні р. Случ, неправильна їх експлуатація в інтересах окремих приватних осіб може поставити під загрозу функціонування Новоград-Волинського водосховища як об'єкта місцевої критичної інфраструктури.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Галущенко М.Г., Ромась І.М. Умови формування та розрахунки мінімального стоку річок басейну Дніпра (в межах України). Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. зб. / Відп. ред. В.К. Хільчевський. Київ : Ніка-Центр, 2001. Т. 2. С. 289-295.
2. Сулідко М.М., Лук'янець О.І. Районування території України за ступенем гідрологічної небезпеки. Наук. праці УкрНДГМІ. Вип. 253. 2004. С. 196-204.
3. Ромась І.М. Періоди мінімальної середньої добової водності в басейні Дніпра в межень. Наукові праці УНДГМІ. 2003. Вип. 251. С. 38-42.
4. Методы расчета низкого стока. Вклад в Международную гидрологическую программу. Под ред. Т.А. Мак Магона и А.Д. Аренаса. Ленинград : Гидрометеоздат, 1984. 127 с.
5. Рациональне використання та відновлення водних ресурсів. Монографія / За заг. ред. Фещенка В.П. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2016. 250 с.
6. Методика ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів. Затверджена наказом МНС України від 23.02.2006 р. за № 98. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 20.03.2006 р. за № 286/12160. URL : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0286-06>.
7. Securing Water for Ecosystems and Human Well-being: The Importance of Environmental Flows. Copyright ©2009, Swedish Water House (SWH). P. 52. URL:https://cmsdata.iucn.org/downloads/securing_water_for_ecosystems_and_human_well_being.pdf.
8. Яцик А.В. Екологічна безпека в Україні. Київ : Генеза, 2001. 216 с.
9. 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.
10. Об'єкти критичної інфраструктури та об'єкти критичної інформаційної інфраструктури в європейських країнах. Інформаційна довідка, підготовлена ЄІДЦ на запит Апарату ВР України. URL: <http://euinfocenter.rada.gov.ua/uploads/documents/29297.pdf>.
11. Гнатюк С.О., Рябий М.О., Лядовська В.М. Визначення критичної інформаційної інфраструктури та її захисту: аналіз підходів. Зв'язок, № 4, 2014. С. 3-7.
12. Зелена книга з питань захисту критичної інфраструктури в Україні : зб. мат-лів міжнар. експерт. нарад / упоряд. Д.С. Бірюков, С.І. Кондратов; за заг. ред. О.М. Суходолі. Київ : НІСД, 2015. 176 с.
13. Zaballo A.G., Inkyung Jeun. Best practices for Critical Information Infrastructure Protection: experiences from Latin America and the Caribbean and selected countries. 98 p. URL : [https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7848/Best-Practices-for-Critical-Information-Infrastructure-Protection-\(CIIP\)-Experiences-from-Latin-America-and-the-Caribbean-and-Selected-Countries.pdf?sequence=1](https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7848/Best-Practices-for-Critical-Information-Infrastructure-Protection-(CIIP)-Experiences-from-Latin-America-and-the-Caribbean-and-Selected-Countries.pdf?sequence=1).
14. Концепція створення державної системи захисту критичної інфраструктури. Схвалено розпорядженням КМ України від 6 грудня 2017 р. № 1009-р. URL : <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/pro-shvalennya-koncepciyi-stvorennya-derzhavnoyi-sistemi-zahistu-kritichnoyi-infrastrukturi>.
15. Бірюков Д.С. Концепція захисту критичної інфраструктури як елемент загальноєвропейської безпекової політики. ІПіЕНД ім. І.Ф. Кураса НАН України. Наукові записки. Вип. 6 (68). С. 106-115.
16. Приймаченко І.В. Екологічний моніторинг басейну річки Случ. Науковий вісник НУБіП України. Серія: Агрономія. 183(2). 2013. С. 241-248.
17. Бедункова О.О. Оцінка сучасного екологічного стану поверхневих вод річки Случ за басейновим принципом. Вісник НУВГП. Вип. 4(64). Серія «Сільськогосподарські науки», 2013. С. 74-81.
18. Стефанишин Д.В. Про деякі побічні ефекти гідротехнічного будівництва в басейні р. Случ. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції

- «Екогеофорум-2017. Актуальні проблеми та інновації». Івано-Франківськ, 22-25 березня 2017 р. С. 45-47.
19. На Житомирщині вдалося стабілізувати ситуацію із забрудненням річок Случ та Хомора – ОДА. URL : <https://www.unian.ua/ecology/naturalresources /1377210-na-jitomirschini-vdalosya-stabilizuvati-situatsiyu-iz-zabrudnenniam-richok-sluch-ta-homora-oda.html>.
20. Тестов П. Каскад ставків замість річки Случ? Екологія, право, людина. URL : <http://epl.org.ua/announces/kaskad-stavkiv-zamist-richky-sluch/>
21. Міні-ГЕС у Гульську може залишити Новоград без води. URL : <http://www.zvyagel.com.ua/?p=14557>.
22. Вишневський В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. Київ : Ніка-Центр. 2003. 324 с.
23. Паламарчук М.М., Закорчевна Н.Б. Водний фонд України (Довідковий посібник). Київ : Ніка-Центр, 2001. 388 с.
24. Knighton D. River channels: environment and processes. N.Y. : Basil Blackwell Ink, 1987. 234 p.
25. Векслер А.Б., Ивашинцов Д.А., Стефанишин Д.В. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений. СПб. : ВНИИГ, 2002. 591 с.
26. Немировская И.А., Бреховских В.Ф. и др. Гидроэкология: оценка экологических последствий проведения дночерпательных работ в водных объектах. Инженерная экология. 2008. № 2. С. 43-53.
27. Шикломанов И.А., Григорьев В.Ю. К проблеме оценки влияния крупных водохозяйственных проектов на окружающую среду. Гидротехническое строительство. 1987. № 10. С. 52–55.
28. Коренева И.Б., Христофоров А.В. Об оценке минимального экологического стока воды в реках. Вестник Московского университета. Серия географическая. Москва : Издательство Московского университета. 1993. № 1. С. 77-83.
29. Ободовський О.Г., Савицький В.М. та ін. Про деякі аспекти впливу екологічно допустимих витрат на якість річкових вод басейну Дніпра. Український географічний журнал. 2002. № 1. С. 37-45.
30. Орлов В.Т. Оценка допустимых изъятий объемов воды из русловой сети без нарушения экологии речной системы. Проблемы современной гидрологии. Сборник научных трудов сотрудников гидрологического факультета. СПб.: РГГМУ. 2004. С. 126-131.
31. Xu H. Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. International Journal of Remote Sensing. 27. P. 3025-3033. URL : <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>.
32. Железняков Г.В. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока. Москва: Колос. 1984. 205 с.

Стаття надійшла до редакції 05.12.2018.

S. MELNIKOV

SPATIAL STRATEGIES OF FIRMS UNDER STACKELBERG COMPETITION

***Abstract.** The paper explores a spatial duopoly of firms under Stackelberg competition, when one of the firms is a leader in term of product volume. The equilibrium spatial strategies of firms are found. In the process of the analysis of equilibrium stability, it is proved that the transport tariff is a bifurcation parameter for firms. It was found that the change in the central agglomeration strategy to the differentiation strategy occurs at the point of transcritical bifurcation. The conditions for full coverage of the markets for both strategies are defined. It is obtained that the information asymmetry leads to asymmetry of equilibrium locations of firms. It is established that under differentiation strategy, the follower can due to the space factor overcome information asymmetry in the nearest markets and get a profit more than the leader.*

***Key words:** linear city, agglomeration, differentiation, Stackelberg competition, transcritical bifurcation.*

Introduction

In search of a solution to the Bertrand paradox, Hotelling proposed to take into account the factor of space under the price competition of firms. In Hotelling's linear city model (Hotelling, 1929), two firms compete on a segment with a unit demand at each point. Firms optimize their prices and location on the segment. Transportation delivery costs of goods are borne by consumers. Hotelling found that in an equilibrium state, firms would be minimally spatially differentiated, since they would be located in the center. This conclusion of the model analysis subsequently became a famous "principle of minimal differentiation".

In further research, the Hotelling model has developed in the following areas:

- an increase in the number of firms (Brenner, 2005, Patri and Sacco, 2017);
- increase the dimension of space (Irmen and Thisse, 1998, Mazalov and Sakaguchi, 2003);
- the complexity of the type of transport costs function (D'Aspremont, Gabszewicz and Thisse, 1979, Economides, 1986);
- generalization of the consumer's distribution density (Neven, 1986, Gupta, Pal and Sarkar, 1997, Tabuchi and Thisse, 1995);
- consideration of the Cournot competition (Hamilton, Klein, Sheshinski and Slutsky, 1994, Scrimatore, 2011, Hamilton, Thisse and Weskamp, 1989) and Stackelberg competition (Anderson, 1987).

In the Anderson (1987), a linear city model is investigated under Stackelberg competition, when firms optimize their locations and prices. It is found that the outcome is asymmetric in terms of Stackelberg equilibrium locations, prices and profits. In this paper, we investigate a linear city model in the framework of Stackelberg competition, when firms optimize their locations and supply volumes.

1. The linear city model

Two firms sell homogeneous goods on the unit segment, at each point of which is the consumer market x , $x \in [0, 1]$. The distance of the firms from zero point is equal x_1 and x_2 accordingly, and $x_1 \leq x_2$. Each firm faces linear transportation costs of t to move one good unit per one unit of distance. Consumer arbitrage is assumed to be prohibitively costly.

The linear demand curve in the market x :

$$p(x) = 1 - q_1(x) - q_2(x),$$

where $p(x)$ – the price in the market x , $q_1(x)$, $q_2(x)$ – the quantities supplied of firms in the market x , a minimum price, at which there is no demand (market potential), is equal to 1.

Let us assume that firms supply products to all markets, i.e. $q_1(x) > 0$, $q_2(x) > 0$.

The profits of firms in the market x :

$$F_1(x) = q_1(x) \cdot (1 - q_1(x) - q_2(x) - t \cdot |x - x_1|) \rightarrow \max_{x_1, q_1(x)},$$

$$F_2(x) = q_2(x) \cdot (1 - q_1(x) - q_2(x) - t \cdot |x - x_2|) \rightarrow \max_{x_2, q_2(x)}.$$

The competitive game consists of two stages. In the first stage, the firms simultaneously select their locations. In the second stage, at the given location decisions, the firms simultaneously choose their supplied quantities. The equilibrium of the model is solved by backward induction.

2. The Nash equilibrium

According to the backward induction method we begin with the second stage. Let us assume that firms optimize supply volumes under the conditions of the Stackelberg information asymmetry. The firm 2 (leader) knows the strategy of the firm 1 regarding the supply volume and has the right of first move. The firm 1 (follower) does not possess such information and makes decisions after leader.

Solving the first-order condition yields the reaction curve of the firm-follower:

$$q_1(x) = \frac{1 - q_2(x) - t \cdot |x - x_1|}{2}. \quad (1)$$

The firm-leader knows the follower's reaction curve (1) and incorporates it into his profit function:

$$F_2(x) = \frac{q_2(x) \cdot (1 - q_2(x) - 2 \cdot t \cdot |x - x_2| + t \cdot |x - x_1|)}{2} \rightarrow \max_{x_2, q_2(x)}.$$

The equilibrium supply volumes of firms to the market x :

$$q_1^*(x) = \frac{1 - 3 \cdot t \cdot |x - x_1| + 2 \cdot t \cdot |x - x_2|}{4},$$

$$q_2^*(x) = \frac{1 - 2 \cdot t \cdot |x - x_2| + t \cdot |x - x_1|}{2}.$$

A coverage conditions for all markets:

$$q_1^*(x) > 0 \Leftrightarrow t < \frac{1}{3 \cdot |x - x_1| - 2 \cdot |x - x_2|}, \quad (2)$$

$$q_2^*(x) > 0 \Leftrightarrow t < \frac{1}{2 \cdot |x - x_2| - |x - x_1|}. \quad (3)$$

Substituting into (2) the values: $x_1 = 0$, $x_2 = 1$, $x = 1$ (maximum value of the denominator), we find that at $t < 1/3$ all markets are serviced regardless of the location of firms. Substituting into (2) the values: $x_1 = 1/2$, $x_2 = 1/2$, $x = 0$ (minimum value of the denominator), we find that at any location of firms servicing all markets is possible only at $t < 2$. Let us note that in the equilibrium state, the location of firms depends on the transport tariff. Therefore, the analysis of conditions (2)-(3) will be continued after finding equilibrium.

The equilibrium profits of firms in the market x :

$$F_1^*(x) = \frac{(1 - 3 \cdot t \cdot |x - x_1| + 2 \cdot t \cdot |x - x_2|)^2}{16}, \quad (4)$$

$$F_2^*(x) = \frac{(1 - 2 \cdot t \cdot |x - x_2| + t \cdot |x - x_1|)^2}{8}.$$

It follows from (4) that the ratio between the profits of the leader and follower in the market x depends on their location relative to the market x . In the case of agglomeration or symmetric location relative to the market x , the leader's profit exceeds the follower's profit exactly 2 times, how in the classical model with one market. A closer distance to the market x strengthens the market power of the leader and vice versa:

$$\text{sign}(F_2^*(x) - 2 \cdot F_1^*(x)) = \text{sign}(|x - x_1| - |x - x_2|).$$

In the first stage each firm selects a profit-maximizing location at a given location of the competitor. In the subsequent analysis, we assume that the equilibrium location of the firms obeys the condition:

$$x_1 \leq 1/2, \quad x_2 \geq 1/2. \quad (5)$$

So, let us start with firm 1. The total profit of firm 1 in all markets:

$$F_1 = \int_0^1 F_1^*(x) dx = \int_0^{x_1} F_1^*(x) dx + \int_{x_1}^{x_2} F_1^*(x) dx + \int_{x_2}^1 F_1^*(x) dx,$$

$$16 \cdot F_1 = \int_0^{x_1} (1 - 3 \cdot t \cdot (x_1 - x) + 2 \cdot t \cdot (x_2 - x))^2 dx +$$

$$+ \int_{x_1}^{x_2} (1 - 3 \cdot t \cdot (x - x_1) + 2 \cdot t \cdot (x_2 - x))^2 dx +$$

$$+ \int_{x_2}^1 (1 - 3 \cdot t \cdot (x - x_1) + 2 \cdot t \cdot (x - x_2))^2 dx. \quad (6)$$

After integrating and identical transformations (6), we obtain:

$$16 \cdot F_1 = \frac{2 \cdot (1 - 2 \cdot t \cdot x_1 + 2 \cdot t \cdot x_2)^3}{5 \cdot t} - \frac{(1 - 3 \cdot t \cdot x_1 + 2 \cdot t \cdot x_2)^3}{3 \cdot t} +$$

$$+ \frac{4 \cdot (1 + 3 \cdot t \cdot x_1 - 3 \cdot t \cdot x_2)^3}{15 \cdot t} - \frac{(1 - t + 3 \cdot t \cdot x_1 - 2 \cdot t \cdot x_2)^3}{3 \cdot t}.$$

The optimal location is defined by the necessary condition:

$$\frac{16}{3 \cdot t} \cdot \frac{\partial F_1}{\partial x_1} = 4 \cdot t \cdot x_1^2 - 2 \cdot x_1 \cdot (2 + 4 \cdot t \cdot x_2 - 3 \cdot t) + 4 \cdot t \cdot x_2 \cdot (x_2 - 1) + 2 - t = 0. \quad (7)$$

The sufficient condition for the existence of profit maximum for the firm 1:

$$\frac{8}{3 \cdot t} \cdot \frac{\partial^2 F_1}{\partial x_1^2} = 4 \cdot t \cdot x_1 - 2 - 4 \cdot t \cdot x_2 + 3 \cdot t < 0 \Leftrightarrow x_1 < x_2 - \frac{3 \cdot t - 2}{4 \cdot t}. \quad (8)$$

The necessary condition for the existence of the equilibrium location for firm 1 is the nonnegativity of the discriminant of the square equation (7):

$$D_1 = 4 \cdot (t^2 \cdot (13 - 8 \cdot x_2) - t \cdot (20 - 16 \cdot x_2) + 4) \geq 0. \quad (9)$$

It is easy to make sure that $D_1 \geq 0$ at $x_2 \geq 1/2$. Therefore, due to condition (5), in the equilibrium state the discriminant (9) is always nonnegative.

Let us note that information asymmetry about location of firms can lead to monopolization of the city. With the right of first move, firm 2 (leader) can will located in the market $x_2 < 1/2$, create a barrier to entry for firm 1 and monopolize all markets. Therefore, we assume that firm 2 is the leader only in the second stage, and in the first stage, when choosing a location, firms compete under Cournot model.

The roots of the square equation (7) are:

$$(x_1^*)_1 = x_2 - \frac{3 \cdot t - 2}{4 \cdot t} - \frac{\sqrt{D_1}}{8 \cdot t}, \quad (x_1^*)_2 = x_2 - \frac{3 \cdot t - 2}{4 \cdot t} + \frac{\sqrt{D_1}}{8 \cdot t}.$$

The root $(x_1^*)_2$ does not satisfy the sufficient condition (8) and therefore is not further analyzed. The root $(x_1^*)_1$ for $x_2 > 1/2$ always satisfies the sufficient condition (8), for $x_2 = 1/2$ the condition (8) holds for:

$$\frac{\sqrt{D_1}}{8 \cdot t} > 0 \Leftrightarrow \frac{\sqrt{(3 \cdot t - 2)^2}}{4 \cdot t} > 0 \Leftrightarrow t \neq 2/3.$$

The total profit of firm 2 in all markets:

$$F_2 = \int_0^1 F_2^*(x) dx = \int_0^{x_1} F_2^*(x) dx + \int_{x_1}^{x_2} F_2^*(x) dx + \int_{x_2}^1 F_2^*(x) dx.$$

$$8 \cdot F_2 = \int_0^{x_1} (1 - 2 \cdot t \cdot (x_2 - x) + t \cdot (x_1 - x))^2 dx +$$

$$+ \int_{x_1}^{x_2} (1 - 2 \cdot t \cdot (x_2 - x) + t \cdot (x - x_1))^2 dx +$$

$$+ \int_{x_2}^1 (1 - 2 \cdot t \cdot (x - x_2) + t \cdot (x - x_1))^2 dx. \quad (10)$$

After integrating and identical transformations (10), we obtain:

$$8 \cdot F_2 = \frac{2 \cdot (1 - 2 \cdot t \cdot x_2 + 2 \cdot t \cdot x_1)^3}{9 \cdot t} - \frac{(1 - 2 \cdot t \cdot x_2 + t \cdot x_1)^3}{3 \cdot t} +$$

$$+ \frac{4 \cdot (1 + t \cdot x_2 - t \cdot x_1)^3}{9 \cdot t} - \frac{(1 - t + 2 \cdot t \cdot x_2 - t \cdot x_1)^3}{3 \cdot t}.$$

The optimal location is defined by the necessary condition:

$$\frac{2}{t} \cdot \frac{\partial F_2}{\partial x_2} = 2 \cdot (x_2 - x_1) - t \cdot (x_2 - x_1)^2 - (2-t) \cdot (2 \cdot x_2 - x_1 - 1/2) = 0. \quad (11)$$

The sufficient condition for the existence of profit maximum for the firm 2:

$$\frac{1}{t} \cdot \frac{\partial^2 F_2}{\partial x_2^2} = t \cdot (1 + x_1 - x_2) - 1 < 0 \Leftrightarrow x_2 > x_1 + \frac{t-1}{t}. \quad (12)$$

The necessary condition for the existence of the equilibrium location for firm 2 is the nonnegativity of the discriminant of the square equation (11):

$$D_2 = 4 \cdot \left((t-1)^2 + t \cdot (2-t) \cdot (1/2 - x_1) \right) \geq 0. \quad (13)$$

It is easy to make sure that $D_2 \geq 0$ at $x_1 \leq 1/2$. Therefore, due to condition (5), in the equilibrium state, the discriminant (13) is always nonnegative.

The roots of the square equation (11) are:

$$(x_2^*)_1 = x_1 + \frac{t-1}{t} - \frac{\sqrt{D_2}}{2 \cdot t}, \quad (x_2^*)_2 = x_1 + \frac{t-1}{t} + \frac{\sqrt{D_2}}{2 \cdot t}.$$

The root $(x_2^*)_1$ does not satisfy the sufficient condition (12) and therefore is not further analyzed. The root $(x_2^*)_2$ for $x_1 < 1/2$ always satisfies the sufficient condition (12), for $x_1 = 1/2$ the condition (12) holds for:

$$\frac{\sqrt{D_2}}{2 \cdot t} > 0 \Leftrightarrow \frac{\sqrt{(t-1)^2}}{t} > 0 \Leftrightarrow t \neq 1.$$

Thus, we received the reaction curves of firms:

$$x_1 = x_2 + \frac{2 - 3 \cdot t - \sqrt{t^2 \cdot (13 - 8 \cdot x_2) - t \cdot (20 - 16 \cdot x_2) + 4}}{4 \cdot t}, \quad (14)$$

$$x_2 = x_1 + \frac{t - 1 + \sqrt{(t-1)^2 + t \cdot (2-t) \cdot (1/2 - x_1)}}{t}. \quad (15)$$

To solve the system of equations (14)-(15) we introduce a new variable:

$$w = \sqrt{t^2 \cdot (13 - 8 \cdot x_2) - t \cdot (20 - 16 \cdot x_2) + 4}, \quad w \geq 0.$$

Then we obtain from (14):

$$x_1 = x_2 + \frac{2-3 \cdot t - w}{4 \cdot t}, \quad x_2 = \frac{w^2 - 13 \cdot t^2 + 20 \cdot t - 4}{8 \cdot t \cdot (2-t)}. \quad (16)$$

Substituting (16) into (15), and solving with respect to w , we obtain:

$$w_1 = 2 - 3 \cdot t, \quad w_2 = \frac{7 \cdot t - 2}{3}. \quad (17)$$

Substituting (17) into (16), we find solutions of the system (14)-(15):

$$x_1^{agg} = x_2^{agg} = 1/2, \quad (18)$$

$$x_1^{dis} = \frac{8-7 \cdot t}{18 \cdot t}, \quad x_2^{dis} = \frac{17 \cdot t - 4}{18 \cdot t}. \quad (19)$$

So, we obtained two equilibrium strategies for the location of firms: central agglomeration and dispersion.

It follows from condition $w \geq 0$ that the solution (18) is defined for $t \leq 2/3$, the solution (19) is defined for $t \geq 2/7$. For $t = 1/2$, the solutions (18) and (19) coincide. From the location condition, $x_1 \leq x_2$, it follows that firms can apply the dispersion strategy only when $t \geq 1/2$.

Let us finish off an analysis of the market coverage conditions (2)-(3). Under central agglomeration strategy, firms will be able to serve all markets on condition:

$$t < \frac{1}{3 \cdot |x - x_1^{agg}| - 2 \cdot |x - x_2^{agg}|} \Leftrightarrow t < 2.$$

Under dispersion strategy, firms will be able to serve all markets on condition:

$$t < \frac{1}{3 \cdot |x - x_1^{dis}| - 2 \cdot |x - x_2^{dis}|} \Leftrightarrow t < \frac{1}{3 \cdot (1 - x_1^{dis}) - 2 \cdot (1 - x_1^{dis})} \Leftrightarrow t < 50/73.$$

Under central agglomeration strategy the firms minimize a total distance of traffic, therefore full market coverage may be possible with a higher transport tariff.

In previous studies (Gupta, Pal and Sarkar, 1997, Hamilton, Klein, Sheshinski and Slutsky, 1994, Hamilton, Thisse and Weskamp, 1989) it is proved that firms in the Cournot equilibrium are always located symmetrically with respect to the center. We have obtained that the information asymmetry about supply volumes will lead to the asymmetry of equilibrium location of firms. It follows from (19)

that in the equilibrium state the firm-leader is 2 times closer to the center than the firm follower:

$$1/2 - x_1^{dis} = 2 \cdot (x_2^{dis} - 1/2).$$

3. The analysis of the stability of equilibrium

Let us analyze a stability of the solutions (18)-(19). For this we consider a two-dimensional map:

$$x_1(n+1) = x_2(n) + \frac{2 - 3 \cdot t - \sqrt{t^2 \cdot (13 - 8 \cdot x_2(n)) - t \cdot (20 - 16 \cdot x_2(n)) + 4}}{4 \cdot t},$$

$$x_2(n+1) = x_1(n) + \frac{t - 1 + \sqrt{(t-1)^2 + t \cdot (2-t) \cdot (1/2 - x_1(n))}}{t},$$
(20)

where n is a time moment, $n = 0, 1, 2, \dots$, $x_1(0) = 0$, $x_2(0) = 1$.

As is known, the nature of the stability of fixed points is determined by their multipliers. The multipliers are eigenvalues of the Jacobian matrix in a fixed point, and their number is equal to the dimension of map.

The Jacobian matrix of the map (20) in the fixed point (18):

$$J = \begin{pmatrix} 0 & -\frac{2 \cdot t}{2 - 3 \cdot t} \\ -\frac{t}{2 \cdot (1-t)} & 0 \end{pmatrix}.$$
(21)

From (21) we obtain two real multipliers:

$$\mu_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{t^2}{(1-t) \cdot (2-3 \cdot t)}}, \quad t < 2/3.$$
(22)

For $|\mu_{1,2}| < 1$ the fixed point is stable, for $|\mu_{1,2}| > 1$ the fixed point is unstable, for $|\mu_{1,2}| = 1$ the bifurcation occurs.

From (22) we find that the fixed point (18) is stable at $t < 1/2$ and is unstable at $t > 1/2$. The loss of stability occurs at the bifurcation point: $t = 1/2$.

The Jacobian matrix of the map (20) in a fixed point (19):

$$J = \begin{pmatrix} 0 & \frac{10 \cdot t - 8}{7 \cdot t - 2} \\ \frac{5 \cdot t - 4}{2 \cdot (t + 1)} & 0 \end{pmatrix}. \quad (23)$$

From (23) we obtain two real multipliers:

$$\mu_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{(5 \cdot t - 4)^2}{(t + 1) \cdot (7 \cdot t - 2)}}, \quad t > 2/7. \quad (24)$$

From (24) we find that the fixed point (19) is unstable at $t < 1/2$ and is stable at $t > 1/2$. The acquisition of stability occurs at the bifurcation point: $t = 1/2$.

Thus, at the value of the transport tariff $t = 1/2$, occurs a transcritical bifurcation, in which fixed points change a nature of stability (Fig. 1).

The equilibrium profit dynamics of the firm-leader, depending on the transport tariff, is presented in Fig. 2.

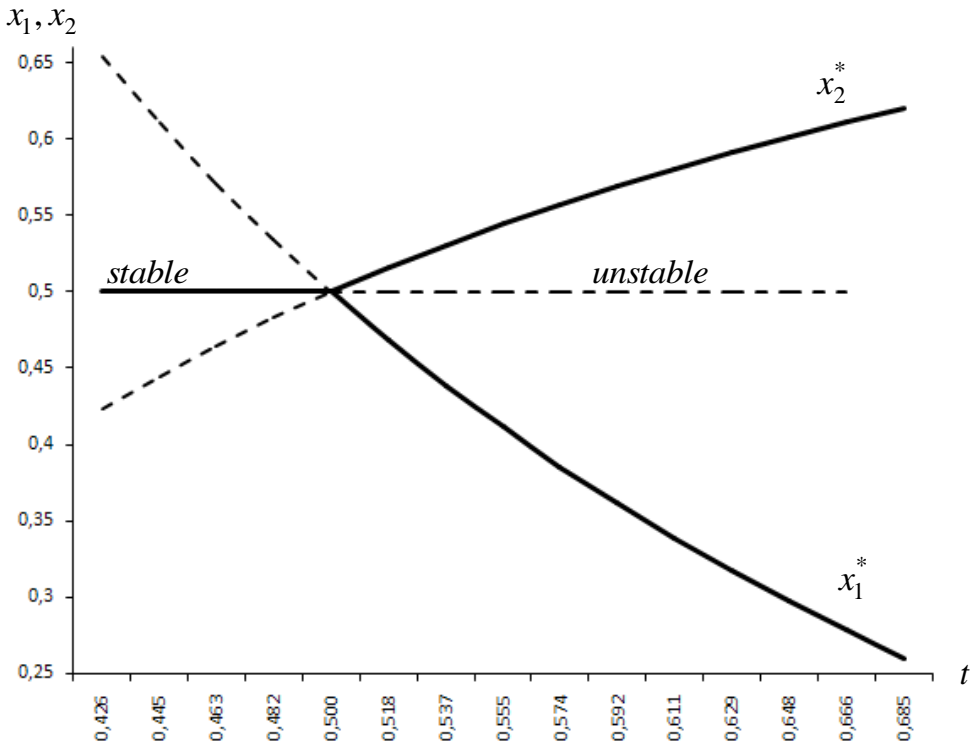


Fig. 1 – Equilibrium spatial strategies of firms depending on transportation tariffs

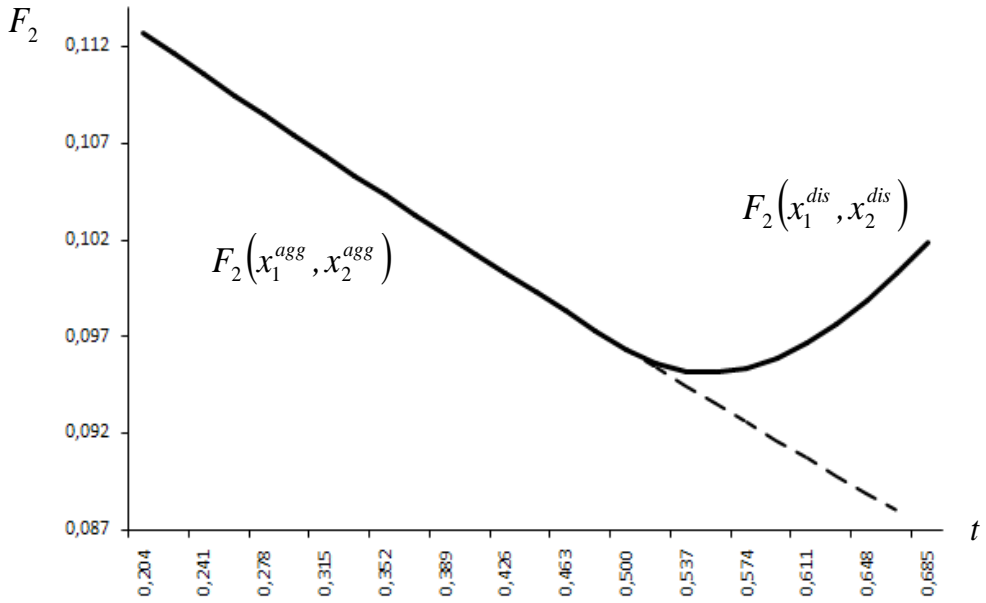


Fig. 2 – Dynamics of the equilibrium profit of the firm-leader, depending on the transport tariff

The Fig. 2 illustrates the effects that affect spatial strategies of firms. Before bifurcation point the effect of minimizing transport costs is dominate (Scrimitore, 2011). Firms choose the central agglomeration strategy to minimize a total distance of transportation. The growth of the transport tariff leads to a decrease in the total profit. Due to information asymmetry, the leader's profit in all markets is twice as high as the profit of the follower (Fig. 3).

In the bifurcation point begins to dominate the effect of reducing competition. Firms choose a differentiation strategy to monopolize adjacent markets. The growth of total profit with growth of the transport tariff is due to the fact that when differentiation strategy, the firms supply more to adjoining markets and less to distant markets. Due to information asymmetry, the leader almost monopolizes the markets to the right of himself and at the same time is present in the markets to the left of the follower. This is clearly seen in Fig. 4. In the equilibrium state, for $t = 2/3$, the leader in the follower "territory", $x \in [0, x_1^{dis}]$, receives 19,2% of the total profit both firms, and the follower in the leader "territory", $x \in [x_2^{dis}, 1]$, receives only 1,9% of the total profit both firms.

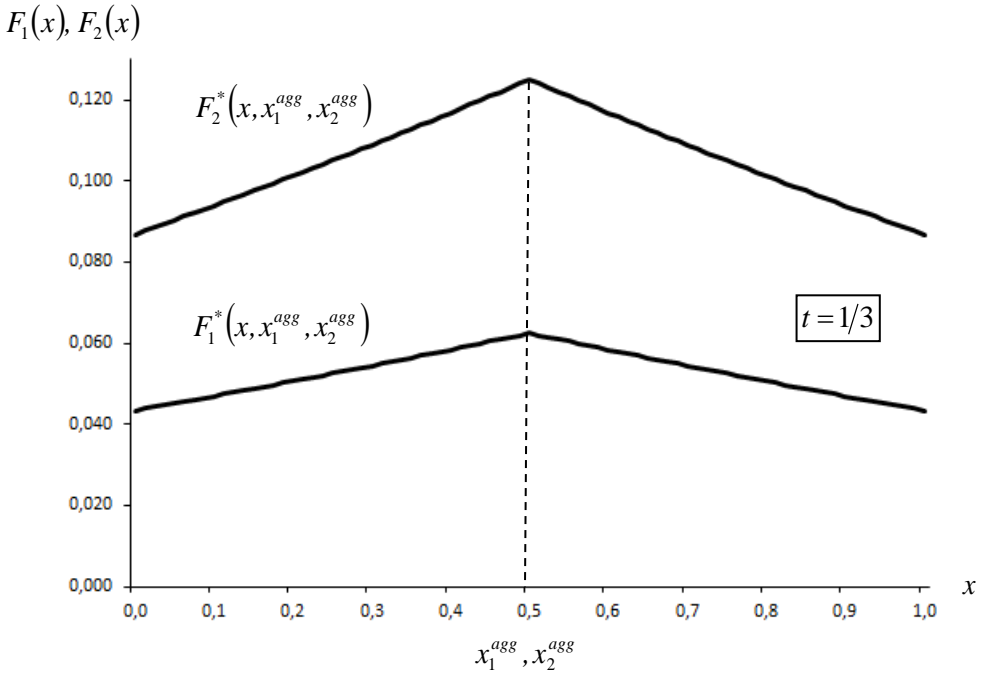


Fig. 3 – Equilibrium profits of firms under central agglomeration

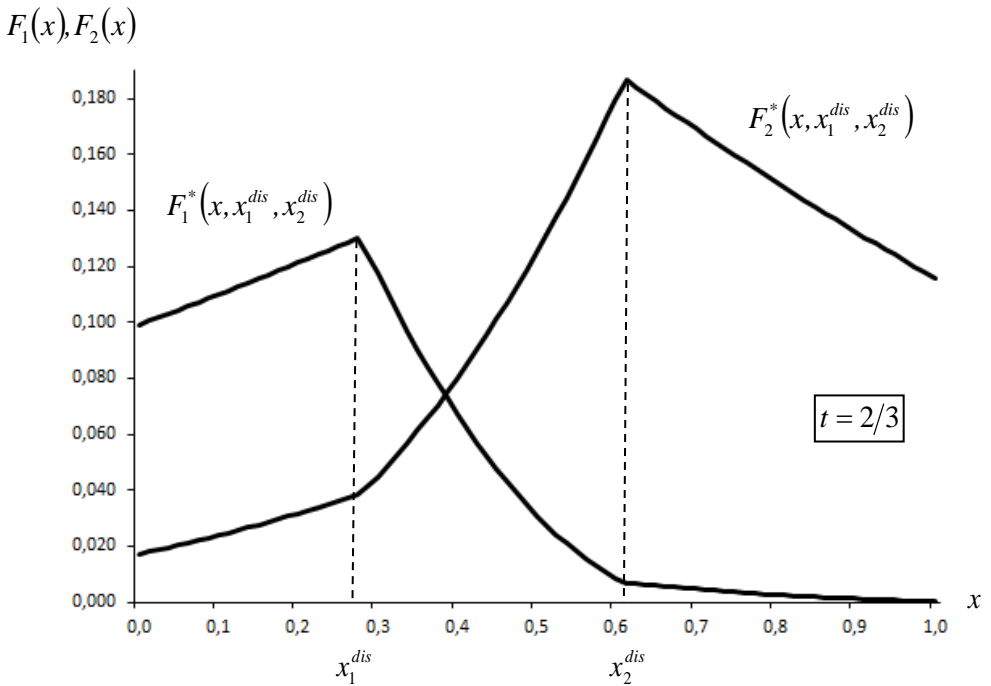


Fig. 4 – Equilibrium profits of firms under differentiation

Conclusions

The paper explores the spatial duopoly of firms under Stackelberg competition, when one of the firms is the leader in term of supply volume. The equilibrium spatial strategies of firms are found. In the process of the analysis of equilibrium stability, it is proved that the transport tariff is a bifurcation parameter for firms. It was found that the change in the central agglomeration strategy to the differentiation strategy occurs at the point of transcritical bifurcation. The conditions for full coverage of the markets for both strategies are defined. It is obtained that the information asymmetry leads to asymmetry of equilibrium locations of firms. It is established that under differentiation strategy, the follower can due to the space factor overcome information asymmetry in the nearest markets and get a profit more than the leader. It is proved that spatial differentiation enhances a market power of firms and allows monopolization of neighboring markets.

The purpose of further research is to analyze the competitive interaction of firms in the Hotelling's linear city model under the conditions of other asymmetry types.

REFERENCES

- Anderson, S. (1987) Spatial competition and price leadership // *International Journal of Industrial Organization*, Vol. 5, pp. 369–398.
- Brenner, S. (2005) Hotelling Games with Three, Four, and More Players // *Journal of Regional Science*, Vol. 45, No. 4, pp. 851–864.
- Patri, S. and A. Sacco (2017) Sequential Entry in Hotelling Model with Location Costs: A Three-Firm Case // *Spatial Interaction Models: Facility Location Using Game Theory*, pp. 261-272.
- D'Aspremont, C., Gabszewicz, J. J. and J.-F. Thisse (1979) On Hotelling's «Stability in Competition» // *Econometrica*, Vol. 47, No. 5, pp. 1145–1150.
- Economides, N. (1986) Minimal and Maximal Product Differentiation in Hotelling's Duopoly // *Economics Letters*, Vol. 21, pp. 67–71.
- Gupta, B., Pal, D. and J. Sarkar (1997) Spatial Cournot competition and agglomeration in a model of location choice // *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 27, No. 3, pp. 261–82.
- Hamilton J. H., Klein, J. F., Sheshinski, E. and S. M. Slutsky (1994) Quantity competition in a spatial model // *Canadian Journal of Economics*, Vol. 27, pp. 903–917.
- Hamilton, J. H., Thisse, J.-F. and A. Weskamp (1989) Spatial discrimination, Bertrand vs. Cournot in a model of location choice // *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 19, pp. 87-102.
- Hotelling, H. (1929) Stability in Competition // *The Economic Journal*, Vol. 39, No. 153, pp. 41-57.
- Irmen, A. and J.-F. Thisse (1998) Competition in Multi-Characteristics Spaces: Hotelling Was Almost Right // *Journal of Economic Theory*, Vol. 78, No. 1, pp. 76–102.
- Mazalov, V. and M. Sakaguchi (2003) Location Game on the Plane // *International Game Theory Review*.
- Neven, D. J. (1986) On Hotelling's competition with non-uniform consumer distribution // *Economics Letters*, Vol. 21, pp. 121-126.
- Scrimatore, M. (2011) Spatial discrimination, product substitutability and welfare // *Bulletin of Economic Research*, Vol. 63, pp. 231–244.
- Tabuchi, T. and J.-F. Thisse (1995) Asymmetric Equilibria in Spatial Competition // *International Journal of Industrial Organization*, Vol. 13, pp. 213–227.

Стаття надійшла до редакції 29.10.2018.

РЕФЕРАТИ / ABSTRACTS

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ
INFORMATION TECHNOLOGY IN ECONOMY

УДК 622.83

Методические подходы к геоинформационному анализу эколого-техногенных угроз для углепромышленных районов Донбасса (на примере ПАО "Лисичанскуголь" и ГП "Первомайскуголь") / Кодрик А.И., Яковлев Е.А., Чумаченко С.Н., Парталян А.С. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – № 4. – С. 5–20.

Предложен подход для проведения геоинформационного анализа эколого-техногенных угроз для углепромышленных районов Донбасса (на примере природно-техногенных геосистем “углепромышленная агломерация – окружающая природная среда” ПАО “Лисичанскуголь” и ГП “Первомайскуголь”).

UDC 622.83

Methodologic approaches for geoinformative analyses of ecological-technogenic hazards within coal mine districts of Donbass (on base of private enterprise “Lysychanskcoal” and state enterprise “Pervomayskcoal”) / Kodryk A., Yakovliev Y., Chumachenko S., Partalyan A. // Mathematical modeling in economics. – 2018.– № 4. – P. 5–20.

An approach is proposed for conducting geo-information analysis of environmental and technological threats for the coal-mining areas of Donbass (using the example of natural-industrial geosystems “coal-rich agglomeration – environment” of private enterprise “Lisichanskugol” and state enterprise GP “Pervomaiskugol”).

УДК 004.659

Атрибутивный поиск геопространственных данных и информации про геопространственные объекты в трансдисциплинарной информационной среде / Подлипаев В.А., Шумейко В.А., Атрасевич А.В. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – № 4. – С. 21–26.

Приведён один из подходов поиска необходимых данных из разных информационных ресурсов. Использование этих ресурсов осуществляется путём формирования информационной среды на основе трансдисциплинарности. Этот подход предложено с целью повышения оперативности информационного обеспечения непространственного анализа.

UDC 004.659

Attributive search of geospatial data and information about geospatial objects in the transdisciplinary informational environment / Podlipaiev V.O., Shumeiko V.O., Atrasevych O.V. // *Mathematical modeling in economy*. – 2018. – № 4. – P. 21–26.

One of the approaches to finding the necessary data from heterogeneous information resources is given. The use of these resources is carried out through the formation of an information environment based on transdisciplinarity. This approach is proposed in order to increase the efficiency of the information support of geospatial analysis.

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

УДК 504.062 + 528.8

Оценка влияния твёрдого стока с сельскохозяйственных участков на экологические показатели прилегающих водоёмов / Гребень А.С., Трофимчук А.М. // *Математическое моделирование в экономике*. – 2018. – № 4. – С. 27–34.

Рассмотрена проблема определения направлений и объёмов выноса твёрдого стока с сельскохозяйственных угодий в результате избыточного употребления агрохимических удобрений под влиянием метеорологических факторов с привлечением комплексного подхода мониторинга ситуации по данным дистанционных и контактных исследований.

UDC 504.062 + 528.8

Evaluation of the influence of solid runoff from agricultural plots on the environmental performance of adjacent water bodies / Greben A., Trofymchuk O. // *Mathematical modeling in economy*. – 2018. – № 4. – P. 27–34.

The problem of determining the directions and volumes of removal of solid runoff from agricultural land as a result of excessive use of agrochemical fertilizers under the influence of meteorological factors with the involvement of an integrated approach to monitoring the situation according to remote and contact studies is considered.

УДК 519.6, 550.8

Погрешность и эквивалентные решения обратной задачи электрометрии скважин / Миронцов Н.Л. // *Математическое моделирование в экономике*. – 2018. – № 4. – С. 35–48.

Рассмотрены вопросы связи погрешности каротажа с погрешностью решения обратной задачи. Описан способ определения погрешности обратной задачи в зависимости от погрешности каротажа для заданной модели пласта. Приведены примеры определения погрешности обратной задачи для реального скважинного материала.

UDC 519.6, 550.8

Operational margin and equivalent solutions of the wells electrometry inverse problem / Myrontsov M.L. // *Mathematical modeling in economy*. – 2018. – № 4. – P. 35–48.

The matter of the connection between the logging error and the error of solving the inverse problem was addressed. The method of determining the operational margin of the given model inverse problem depending on the error of logging is described. Determining the operational margin of solving the inverse problem for the well material are given as examples.

УДК 519.6, 550.8

Онтологическое представление задачи ранжирования альтернатив / Горборуков В.В., Стрижак О.С., Франчук О.В., Шаповалов В.Б. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – № 4. – С. 49–69.

Рассматривается технологическая проблема формирования альтернативных представлений проблемных ситуаций в операционной среде систем поддержки принятия решений. Описывается процесс онтологического представления альтернатив. Определяется онтология задачи выбора, как платформа формирования альтернатив для решения задачи ранжирования. Описывается процесс нормализации критериев, как определенных интерпретаций свойств понятий предметной области, в терминах которой решается задача ранжирования. Представлены табличное и графическое отображения состояний решения задачи ранжирования альтернатив.

UDC 519.6, 550.8

Ontological representation of the ranking alternatives task / Gorborukov V., Stryzhak O., Franchuk O., Shapovalov V. // Mathematical modeling in economy. – 2018. – № 4. – P. 49–69.

The technological problem of forming alternative representations of problem situations in the operating environment of decision support systems is considered. The ontology of the selection task as a platform for forming alternatives for solving the ranking task is determined. The process of criteria normalization as certain interpretations of the properties of concepts in the subject domain, in terms of which the ranking problem solves, is described. A tabular and graphical display of the states of the solution of the alternative ranking task is presented.

АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ ANALYSIS, EVALUATION AND FORECASTING IN ECONOMY

УДК 004.942 ; 626/627 ; 504.05

Трансформации минимального стока р. Случь и их влияние на Новоград-Волынский водохранилище как объект местной критической инфраструктуры / Корбутяк В.М., Стефанишин Д.В. // Математическое моделирование в экономике. – 2018. – № 4. – С. 70–81.

Проанализированы факторы, определяющие трансформации минимального стока р. Случь, негативно влияющие на состояние Новоград-Волынского водохранилища как объекта критической инфраструктуры, в частности испарение с водных поверхностей искусственных водоемов (прудов, водохранилищ), расположенных в бассейне реки выше по течению. По данным дистанционного зондирования Земли выполнено общую оценку условий формирования минимального стока р. Случь в створе Новоград-Волынского водохранилища и построено геоинформационную гидрологическую модель водосбора реки с разделением территории на локальные водосборы. Идентификацию водных зеркал выполнено с помощью модифицированного нормализованного водного индекса. Получено приближенную оценку возможных потерь минимального стока в результате испарения.

UDC 004.942 ; 626/627 ; 504.05

Transformations the minimum runoff of the Sluch River and their influence on Novohrad-Volynskiy reservoir as an object of local critical infrastructure / Korbutiak V.M., Stefanyshyn D.V. // *Mathematical modeling in economy.* – 2018. – № 4. – P. 70–81.

Analyzed are the principal factors of transformations of the minimum runoff of the Sluch River that impact negatively on state of the Novohrad-Volynskiy reservoir as an object of critical infrastructure in particular evaporation from water surfaces of the artificial water bodies (ponds, reservoirs) located in the upstream within the river's drainage area. Based on remote sensing data the general assessment of conditions of the Sluch River minimum runoff forming for the Novohrad-Volynskiy reservoir were made and geoinformation hydrological model the river catchment with division the territory into local catchment areas was created. Identification the aqueous surfaces was carried out using the Modified Normalized Water Index. An approximate estimation of possible losses of the minimum runoff due to evaporation is obtained.

УДК 519.865:338.518

Просторові стратегії фірм в умовах конкуренції Штакельберга / Мельников С.В. // *Математичне моделювання в економіці.* – 2018. – № 4. – С. 82–93.

У роботі досліджена просторова дуополія фірм в умовах конкуренції Штакельберга, коли одна з фірм є лідером за обсягом продукції. Знайдено рівноважні просторові стратегії фірм. В ході аналізу стійкості рівноваги доведено, що транспортний тариф є біфуркаційним параметром для фірм. Знайдено, що зміна стратегії центральної агломерації на стратегію диференціації відбувається в точці транскритичної біфуркації. Визначено умови повного покриття ринку для обох стратегій. Отримано, що інформаційна асиметрія призводить до асиметрії рівноважного розташування фірм. Встановлено, що при диференціації послідовник може на прилеглих ринках подолати інформаційну асиметрію за рахунок чинника простору й отримати більший прибуток, ніж у лідера.

УДК 519.865:338.518

Пространственные стратегии фирм в условиях конкуренции Штакельберга / Мельников С.В. // *Математическое моделирование в экономике.* – 2018. – № 4. – С. 82–93.

В работе исследована пространственная дуополия фирм в условиях конкуренции Штакельберга, когда одна из фирм является лидером по объему продукции. Найдены равновесные пространственные стратегии фирм. В ходе анализа устойчивости равновесия доказано, что транспортный тариф является бифуркационным параметром для фирм. Найдено, что изменение стратегии центральной агломерации на стратегию дифференциации происходит в точке транскритической бифуркации. Определены условия полного покрытия рынка для обеих стратегий. Получено, что информационная асимметрия приводит к асимметрии равновесного расположения фирм. Установлено, что при дифференциации последователь может на прилегающих рынках преодолеть информационную асимметрию за счет фактора пространства и получить прибыль больше, чем у лидера.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Атрасевич Олександр Валентинович – кандидат технічних наук, науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Горбурков Вячеслав Вікторович – молодший науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Гребень Олександр Сергійович – старший викладач кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі Національного аерокосмічного університету імені М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» (НАУ «ХАІ») (Україна, м. Харків).

Кодрік Анатолій Іванович – кандидат технічних наук, заступник начальника науково-дослідного центру інноваційних технологій Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту (Україна, м. Київ).

Корбутяк Василь Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри землеустрою, кадастру, моніторингу земель та геоінформатики Національного університету водного господарства та природокористування (НУВГП) (Україна, м. Рівне).

Мельников Сергій Валерійович – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри «Підприємництво і туризм» Інституту морського бізнесу Одеського національного морського університету (Україна, м. Одеса).

Миронцов Микита Леонідович – доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Паргалаян Андрій Сергійович – заступник начальника відділу екологічної безпеки та цивільного захисту Управління екологічної безпеки та протимінної діяльності Міністерства оборони України (Україна, м. Київ).

Подліпас Вячеслав Олександрович – кандидат технічних наук, науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Стефанишин Дмитро Володимирович – доктор технічних наук, провідний науковий співробітник, професор кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки Національного університету водного господарства та природокористування (НУВГП) (Україна, м. Рівне).

Стрижак Олександр Євгенович – доктор технічних наук, заступник директора з наукової роботи Національного центру «Мала академія наук 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).

Франчук Олег Васильович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна м. Київ).

Чумаченко Сергій Миколайович – доктор технічних наук, в.о. завідувача кафедри інформаційних систем Національного університету харчових технологій (Україна, м. Київ).

Шаповалов Віктор Борисович – аспірант Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Шумейко Віктор Олександрович – кандидат технічних наук, науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна, м. Київ).

Яковлев Євгеній Олександрович – доктор технічних наук, головний науковий співробітник 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 27.12.2018. Формат 70X108/16. Папір офсетний.
Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 10.1
Обл.-вид. арк. 11.6 Тираж 300 примірників Замовлення №

КИЇВ 2018