

**Міністерство освіти і науки України  
Київський національний університет будівництва і архітектури  
Національна академія наук України  
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору**

---

**Ministry of Education and Science of Ukraine  
Kyiv National University of Construction and Architecture  
National Academy of Sciences of Ukraine  
Institute of Telecommunications and Global Information Space**

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА  
ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

---

**ENVIRONMENTAL SAFETY AND  
NATURAL RESOURCES**

**Збірник наукових праць**

Випуск 2 (30), квітень-червень 2019 р.

Заснований у 2008 р.  
Виходить 4 рази на рік

---

**Academic journal**

Issue 2 (30), April-June 2019

Founded in 2008  
The journal is published 4 volume a year

**КИЇВ 2019**

---

**KYIV 2019**

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головні редактори: **О.С. Волошкіна**, д-р техн. наук, проф.  
**О.М. Трофимчук**, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАНУ

### Члени редколегії:

<b>Биченок М.М.</b> , д-р техн. наук	<b>Олійник О.Я.</b> , д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАНУ
<b>Бойко І.П.</b> , д-р техн. наук, проф.	<b>Павлишин В.І.</b> , д-р геол.-мін. наук, проф.
<b>Довгий С.О.</b> , д-р фіз.-мат. наук, проф., академік НАНУ	<b>Приймак О.В.</b> , д-р техн. наук, проф.
<b>Калюх Ю.І.</b> , д-р техн. наук, проф.	<b>Рудько Г.І.</b> , д-р техн. наук, д-р геол.-мін. наук, д-р геогр. наук, проф.
<b>Качинський А.Б.</b> , д-р техн. наук, проф.	<b>Стрижак О.Є.</b> , д-р техн. наук
<b>Коржнєв М.М.</b> , д-р геол.-мін. наук, проф.	<b>Триснюк В.М.</b> , д-р техн. наук
<b>Кочетов Г.М.</b> , д-р техн. наук, проф.	<b>Яковлев Є.О.</b> , д-р техн. наук
<b>Кривомаз Т.І.</b> , д-р техн. наук, проф.	

## МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА РАДА

<b>М.-Й. Валері</b> , професор, Польща	<b>М.Г. Мустафаєв</b> , д-р аграрних наук, член-кор. РАЕ, Азербайджан
<b>Н. Касаглі</b> , професор, Італія	<b>Я. Пекутін</b> , професор, Польща
<b>Н. Маргвелашвілі</b> , PhD, Австралія	<b>Пінг Лу</b> , професор, Китай
<b>Д. Мінтер</b> , професор, Великобританія	<b>Г. Собчук</b> , професор, Польща
<b>А. Мішо</b> , дослідник, Франція	

---

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Київського національного університету будівництва і архітектури  
(протокол № 24 від 21.06.2019 р.)

Збірник наукових праць включено до Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук за напрямом «технічні науки» (Наказ Міністерства освіти і науки України від 22.12.2016 № 1604)

## ОСНОВНІ ТЕМАТИЧНІ РОЗДІЛИ ЗБІРНИКА

- Екологічна безпека
- Інформаційні ресурси та системи
- Основи природокористування
- 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  
E-mail: itelua@kv.ukrtel.net

Свідоцтво про державну реєстрацію  
КВ № 14146-3117 Р від 27.05.2008 р.

Електронна версія збірника в Інтернеті  
<http://www.es-journal.in.ua> українською  
та англійською мовами



Creative Commons «Attribution» 4.0 WorldWide

## CONTENTS

### ENVIRONMENTAL SAFETY

<b>Azimov O.T., Trofymchuk O.M., Kuraeva I.V., Karmazinenko S.P.</b> Estimations of heavy metals in soils and different landscape components within the municipal solid waste disposal areas.....	5
<b>Azarov S.I., Zadunaj O.S.</b> Modeling of evolution nonlinear ecosystem.....	18
<b>Demianiuk A.V., Stefanyshyn D.V.</b> Identification of Earthen dam seepage regime under condition of data ambiguity .....	30

### NATURAL RESOURCES

<b>Trofymchuk O.M., <u>Krasovsky G.Ya.</u>, <u>Radchuk V.V.</u>, Trysnyuk V.M., Radchuk I.V., Kreta D.L., Zagorodnia S.A, Sheviakina N.A., Okhariev V.O., Trysnyuk T.V., Shumeiko V.O., Atrasevych O.V., Vishnyakov V.Y.</b> Field research of ecological parameters in Bakota bay area.....	44
<b>Rosalyn Maria Eva, Kurniawan Dwinanto</b> The solution to the plastic usage problems; a strong campaign for innovative waste management .....	56

### INFORMATION RESOURCES AND SYSTEMS

<b>Chepkov I.B., Zubariiev V.V., Sverhunov O.O., Zubariiev O.V.</b> On the development of damage of information system operations and methodological issues of assessment of the efficiency of information security systems.....	67
<b>Stryzhak O.Y., Potapov H.M., Prychodniuk V.V., Chepkov R.I.</b> Evolution of management – from situational to transdisciplinary.....	91
<b>Sirenko A.P.</b> Formation by optimal on Pareto resolve of the problems of ground-based failure in conditions of seismic danger .....	113
<b>INFORMATION FOR AUTHORS</b> .....	123

## ЗМІСТ

### ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

- Азімов О.Т., Трофимчук О.М., Курасва І.В., Кармазиненко С.П.**  
Оцінка вмісту важких металів у ґрунтах та інших компонентах ландшафту в районах захоронення твердих побутових відходів..... 5
- Азаров С.І., Задунай О.С.**  
Моделювання еволюції нелінійних екосистем..... 18
- Дем'янюк А.В., Стефанишин Д.В.**  
Ідентифікація режиму фільтрації на земляній греблі в умовах неповноти даних..... 30

### ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

- Трофимчук О.М., Красовський Г.Я., Радчук В.В., Триснюк В.М., Радчук І.В., Крета Д.Л., Загородня С.А., Шевякіна Н.А., Охарєв В.О., Триснюк Т.В., Шумейко В.О., Атрасевич О.В., Вишняков В.Ю.**  
Експедиційні дослідження параметрів екологічного стану затоки Бакота.. 44
- Розалін М.Є., Курніаван Д.**  
Вирішення проблеми використання пластику; потужна кампанія за інноваційне управління відходами..... 56

### ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ

- Чепков І.Б., Зубарєв В.В., Свергунов О.О., Зубарєв О.В.**  
Щодо розвитку загроз функціонування інформаційних систем і методологічні питання оцінки ефективності системи забезпечення інформаційної безпеки..... 67
- Стрижак О.Є., Потапов Г.М., Приходнюк В.В., Чепков Р.І.**  
Еволюція управління – від ситуаційного до трансдисциплінарного..... 91
- Сіренко А.П.**  
Формування оптимальних по Парето рішень відмов ґрунтової основи в умовах сейсмічної небезпеки..... 113
- ДО ВІДОМА АВТОРІВ..... 123**

## ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ENVIRONMENTAL SAFETY

UDK 631.4:(550.42:546.95):628.542](477)

**Oleksandr T. Azimov**<sup>1</sup>, D. S. (Geology), Leading Researcher  
ORCID ID 0000-0002-5210-3920 *e-mail*: [azimov@casre.kiev.ua](mailto:azimov@casre.kiev.ua)

**Oleksandr M. Trofymchuk**<sup>2</sup>, D. S. (Engineering), Professor, Corresponding Member of NASU, Director  
ORCID ID 0000-0003-3782-4209 *e-mail*: [itelua@kv.ukrtel.net](mailto:itelua@kv.ukrtel.net)

**Iryna V. Kuraeva**<sup>3</sup>, D. S. (Geology), Professor, Head of Department  
ORCID ID 0000-0003-3113-7782 *e-mail*: [ki4412674@gmail.com](mailto:ki4412674@gmail.com)

**Sergii P. Karmazinenko**<sup>4</sup>, PhD, Senior Scientist  
ORCID ID 0000-0001-8268-7851 *e-mail*: [karmazinenko78@gmail.com](mailto:karmazinenko78@gmail.com)

<sup>1</sup>Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of IGS of NASU, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Institute of Telecommunications and Global Information Space of NASU, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NASU, Kyiv, Ukraine

<sup>4</sup>Institute of Geography of NASU, Kyiv, Ukraine

### ESTIMATIONS OF HEAVY METALS IN SOILS AND DIFFERENT LANDSCAPE COMPONENTS WITHIN THE MUNICIPAL SOLID WASTE DISPOSAL AREAS

**Abstract.** *The comprehensive geoecological study of the area closed to the north-western part of Landfill No 5 for the municipal solid waste disposal shows the ecologically negative impact on the environment. It is determined that the existing soils are affected by the significant geochemical transformation. They are characterized by the considerable accumulations of the heavy metals (HMs). In comparison with the conventional pure soils the soil contents of Cu, Zn, Ni, Cr and Pb are 8, 12, 3, 2, 17 times more, respectively.*

*The anomalous high HMs pollution for the bottom deposits is identified: for Zn – in 800 mg/kg that is 14 times more than maximum allowable concentrations (MAC); for Cu – 150 mg/kg that is 4.5 times more than MAC. Average Pb content there exceeds its MAC and is equal to 72 mg/kg. Therefore, the bottom deposits have the hazardous level of pollution.*

*It is shown that the elements of considerable accumulations in grass vegetation are Cu, Cr and Ni at the biological absorption coefficient more 2.0.*

*The physical and chemical studies of surface waters show that the contents of microelements (F, Cr, Ni, Cu, Fe<sub>tot.</sub> and Pb) there don't exceed the MAC, but they are higher than the background values.*

*The comparison of the average chemical composition for the ground water samples from the wells of the Landfill area and the regulatory standards indicates that the standard general sanitary criteria for pollution level of these waters belong to the middle and high levels with the considerable exceeds of the MACs for Fe and Ni.*

**Keywords:** Landfill; solid waste; heavy metals; landscape; soil; geochemical analysis

**О.Т. Азімов<sup>1</sup>, О.М. Трофимчук<sup>2</sup>, І.В. Курасва<sup>3</sup>, С.П. Кармазиненко<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України, м. Київ, Україна  
<sup>2</sup>Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна

<sup>3</sup>Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України, м. Київ, Україна

<sup>4</sup>Інститут географії НАН України, м. Київ, Україна

## **ОЦІНКА ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТАХ ТА ІНШИХ КОМПОНЕНТАХ ЛАНДШАФТУ В РАЙОНАХ ЗАХОРОНЕННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ**

**Анотація.** Комплексними геоекологічними дослідженнями району, прилегло до північно-західної частини полігону № 5 з поховання твердих побутових відходів, встановлено екологічно негативний його вплив на довкілля. Виявлено, що наявні ґрунти зазнали значної геохімічної трансформації. Вони характеризуються значним накопиченням важких металів (ВМ). Порівняно з умовно чистими ґрунтами вміст *Сu* в них у 8 разів більше, *Zn* – у 12, *Ni* – у 3, *Cr* – у 2, *Pb* – в 17 разів.

Встановлено аномально високе забруднення донних відкладів ВМ: цинком – до 800 мг/кг (у 14 разів більше гранично допустимих концентрацій – ГДК), міддю – до 150 мг/кг (у 4,5 рази вище ГДК). Середній вміст свинцю в них перевищує ГДК і становить 72 мг/кг. Отже, донні відклади характеризуються небезпечним рівнем забруднення.

Виявлено, що до елементів значного накопичення у трав'янистій рослинності належать *Сu*, *Cr*, *Ni* з коефіцієнтами біологічного поглинання понад 2,0.

За результатами фізико-хімічних досліджень поверхневих вод визначено, що вміст в них мікроелементів (*F*, *Cr*, *Ni*, *Сu*, *Fe*<sub>вал.</sub>, *Pb*) не перевищує ГДК, однак, він вище фонових значень.

Порівняння середнього хімічного складу проб ґрунтових вод зі свердловин району полігону з нормативними показниками свідчить, що загальносанітарні показники ступеня забруднення перших з них належать до категорії середнього і високого ступеня забруднення зі значним перевищенням ГДК по *Fe* і *Ni*.

**Ключові слова:** полігон; побутові відходи; важкі метали; ландшафт; ґрунт; геохімічний аналіз

### **Актуальність дослідження**

Вивчення еколого-геохімічного стану об'єктів довкілля територій, що перебувають під впливом різноманітних викидів, пов'язаних з твердими побутовими відходами (ТПВ), у даний час є дуже актуальним. В Україні налічується близько 6 тис. сміттєзвалищ і полігонів загальною площею понад 9 тис. га, конструкції більшості з яких не відповідають санітарно-гігієнічним нормам. Наслідки впливу полігонів ТПВ на навколишнє середовище і на здоров'я населення, що живе поблизу цих територій, викликають серйозні побоювання [1–8 та ін.].

Найбільшого забруднення зазнають підземні та поверхневі води, ґрунти і поверхневі відклади, рослинність. Комплексні дослідження природних утворень, прилеглих до таких полігонів, необхідні для їх об'єктивної еколого-геохімічної оцінки. Геохімічні процеси, які відбуваються на таких територіях, призводять до значної трансформації екологічного стану поверхневих відкладів, природних вод, біогеохімічних показників тощо.

**Мета нашого дослідження** – визначення основних геохімічних показників біоосних систем району захоронення ТПВ на прикладі *Київського полігону № 5*. Він введений в експлуатацію у 1986 році. З усіх відходів м. Києва (1,2 млн т на рік) на ньому захоронюється понад 400 тис. т. Наразі на полігоні № 5 захоронено близько 7 млн т ТПВ. За приблизно 33 роки експлуатації потужностей полігону вже недостатньо, в його тілі під дією опадів накопичився фільтрат. З 2006 р. йде мова про повне закриття полігону № 5 через його критичний екологічний стан, насамперед пов'язаний з витіканням фільтрату в землю та забруднення ним довкілля, передусім підземних вод.

### **Характеристика об'єкта дослідження**

Полігон № 5 розміщений приблизно в 11 км на південь від житлово-промислової забудови південної частини м. Києва та в 4,5 км на північний захід від с. Великі Дмитровичі Обухівського району Київської області, безпосередньо поблизу західної околиці с. Підгірці, в одному кілометрі від неї. У 500 м західніше полігону вже простежується контур с. Креничі. ТПВ складаються в межах центральної частини вододільної поверхні, яка з півночі обмежена Ходосівською балкою урочища «Марусин Яр» (рис. 1). Полігон складається з двох майданчиків (або черг, карт) складування – «А» та «Б», на яких під ТПВ відведено площу 35,75 га. Загальна площа полігону становить 63,7 га.

Стосовно *геологічної будови* Київський полігон № 5 локалізований в межах розвитку неогенових (N) та четвертинних (Q) утворень. Сучасний ґрунт складений алювіальними різновидами, гумусованими суглинками та супісками. Товщина їх складає 0,3–1,0 м.

За *ландшафтно-геохімічним районуванням* територія полігону № 5 розташована в зоні зі здатністю до самоочищення та акумуляції [9]. Розвинені ці ландшафти на лесах і кристалічних породах. В їх межах добре виявляється низхідна і висхідна міграція хімічних елементів, а також площовий змив важких металів (ВМ) з ґрунтовим шаром і розвантаженням ґрунтових вод у зниженій частині рельєфу (долини річок, днища ярів). Ці процеси сприяють очищенню ландшафтів від техногенного забруднення. Разом з тим, ландшафти цього класу зазнають значних еколого-геохімічних навантажень внаслідок забруднення ВМ і токсичними речовинами, що надходять у довкілля з відходами.

### **Методика дослідження**

Продовжуючи розпочаті раніше роботи, які стосувалися північно-східної частини полігону [5–8], у листопаді 2018 року виконано **польові рекогносцирувальні комплексні дослідження північно-західної його частини і прилеглих до неї площ з наступним лабораторно-камеральним аналізом** отриманих матеріалів (рис. 1–3). Вони включали такі види робіт:

- візуальний аналіз гідролого-геоморфологічних особливостей території досліджень;
- відбір проб з різних компонентів ландшафту в межах 6 площадок спостережень і подальший їх геохімічний аналіз:
  - ґрунту з інтервалу глибин 0–5 см (у межах усіх 6 площадок спостережень);
  - поверхневої води (у межах площадок спостережень №№ 1, 5, 6);
  - донних відкладів (у межах площадок спостережень №№ 5 і 6);
  - рослинності (у межах площадок спостережень №№ 3, 4, 5, 6).

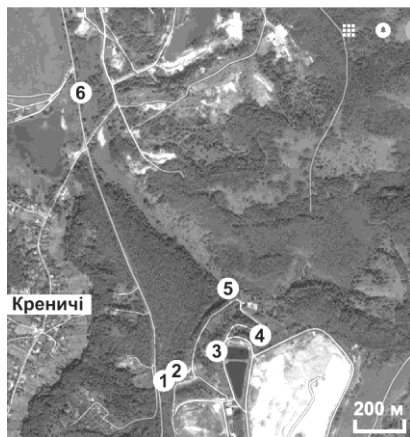


Рис. 1 – Картосхема розташування площадок спостережень вздовж рекогносцирувального поперечно-поздовжнього профілю в зоні впливу північно-західної частини полігону № 5. Як підложка використано космічний знімок, отриманий з Інтернет-джерела [10].



Рис. 2 – Фотографічне зображення північно-західного схилу черги «А» полігону № 5 і прилеглого основного ставка-фільтратонакопичувача, виконане з району площадки спостережень № 3

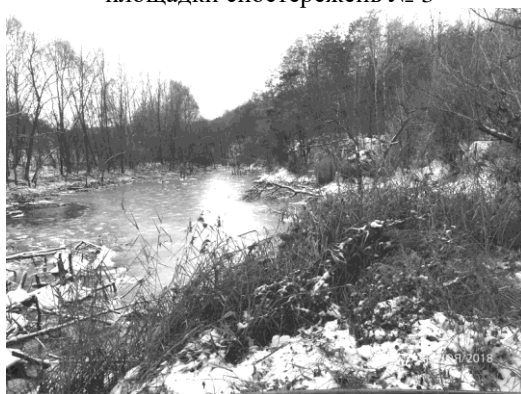


Рис. 3 – Фотографічне зображення штучного ставка у нижній частині балки, що облямовує полігон № 5 із заходу і північного заходу (район площадки спостережень № 5)

Крім цього, виконано фотографування місць відбору проб і прилеглих до них районів (зроблено 65 фотографій), що характеризують відповідну ландшафтну обстановку (деякі з них представлені на рис. 2, 3).

Спостереження з відбором зазначених проб у натурних умовах виконані уздовж **поперечно-поздовжнього профілю** на п'яти основних площадках, що



приурочені до відмінних ландшафтно-геологічних умов (рис. 1). Профіль розпочинався у днищі балки біля її західного, крутого схилу (з кутами падіння близько 45–50°), уздовж якого спостерігався тимчасовий потічок у рівчаку з напрямком течії на північ (площадка спостережень № 1). Ця балка з заходу і північного заходу обмежує розлогу вододільну поверхню, на якій розміщені черга «Б» полігону № 5 та його основний ставок-фільтратонакопичувач. На східному боці потічка була закладена площадка спостережень № 2. За результатами візуальних досліджень геолого-геоморфологічні умови площадок спостережень №№ 1 і 2 однакові.

Далі профіль наземних досліджень продовжувався у північно-східному напрямку поперек балки та її східного крутого схилу. Останній поступово переходив у західний, дуже крутий біля свого верхів'я схил вододільного плато (кути падіння схилу біля верхів'я становили до 50–60°). Саме в межах цього плато розташована черга «А» та основний ставок-фільтратонакопичувач полігону № 5 (рис. 1, 2). На плато в районі північно-західного контуру ставка закладено площадку спостережень № 3. Площадку спостережень № 4 закладено в межах північно-західного схилу вододілу, неподалік відповідного контуру черги «А» полігону.

Потім профіль різко змінив своє простягання з північно-східного на північно-західне, і в районі дамби, що перегороджує заповнену водоймою балку (в її днищі гіпсометрично вище розташовані площадки спостережень №№ 1 і 2), було закладено площадку спостережень № 5 (рис. 1, 3). Закінчувався профіль площадкою спостережень № 6 в 1 км від північно-західного контуру полігону, тобто фактично вже в межах фону (рис. 1).

Як і в попередніх дослідженнях [5–8], у роботі застосовано комплекс методів. Більш повна характеристика комплексу наведена у публікаціях [5, 7]. Зокрема, *опробування ґрунту* з інтервалу глибин 0–5 см здійснювалося за методикою конверта відповідно до вимог ГОСТ 17.4.4.02–84 [11].

*Проби поверхневої води* об'ємом 1,5 л кожна відібрані відповідно до вимог ГОСТ Р 51592-2000 [12]. З однієї з водойм полігону № 5 та з однієї з району його впливу взято, згідно з ГОСТ 17.1.5.01-80 [13], *проби донних відкладів*.

*Опробування* представницьких видів *рослинності* на території досліджень проведено паралельно з відбором ґрунтових проб. На площадці спостережень № 3 рослинність представлена осокою (*Carex*), на №№ 4 і 6 – різнотрав'ям, на № 5 – пирієм повзучим (*Agropyrum repens*). На площадці спостережень № 6 було взято пробу опалого листя осики (*Populus tremula*).

Для визначення вмісту ВМ у ґрунтах, рослинності, донних відкладах використано *фізико-хімічні* (атомно-абсорбційний, спектральний) та *хімічний* (сілікатний аналіз) *методи* дослідження. Вивчення форм знаходження ВМ у ґрунтах виконано методом послідовних витяжок за методикою А.І. Самчука [14].

Коефіцієнти біологічного поглинання (КБП) елементів розраховано за формулою І.А. Авессаломової [15].

## Викладення основного матеріалу та обговорення

Особливе значення при комплексному вивченні територій розміщення ТПВ мають *ґрунтові відклади*. Слід відмітити, що об'єктивним показником техногенно забруднених ґрунтів є вміст у них рухомих форм поллютантів.

Ґрунти на територіях, що не зазнають техногенного забруднення (фонові), належать до високородючих з позитивними фізико-хімічними характеристиками [16].

За результатами проведених нами аналітичних досліджень встановлено, що ґрунтові відклади, які перебувають під впливом північно-західної частини полігону № 5, зазнали значної геохімічної трансформації, як і ті, на які впливає діяльність північно-східної його частини [5–8]. Зокрема, однією з основних характеристик техногенних ґрунтів є їхня буферність. Вона відображає здатність ґрунтів протистояти антропогенному забрудненню. Для оцінки цієї ознаки ґрунтів використовується коефіцієнт буферності ( $K_{\sigma}$ ) [14]. Коефіцієнти буферності досліджених ґрунтів у районі полігону ТПВ та їхні фізико-хімічні властивості, а також порівняння їх з аналогічними показниками для фонових ґрунтів представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Фізико-хімічні властивості фонових і техногенно забруднених ґрунтів у районі полігону № 5

Ґрунти	Поглинені катіони, мг-екв. на 100 г	$C_{орг.}$ , %	pH (водн.)	$K_{\sigma}$	Вміст ВМ, мг/кг
Темно-сірі опідзолені на лесах (фонові)	32,82	8,21	7,2	20,1	Cu 22 Zn 20 Ni 15 Cr 50 Pb 12
Техногенно забруднені	14,26	2,5	6,5	4,2	Cu 180 Zn 250 Ni 42 Cr 100 Pb 200

Отже, наведені дані черговий раз підтверджують факти, що в техногенно забруднених ґрунтах відбувається зменшення вмісту поглинених катіонів і вмісту  $C_{орг.}$ . Також у них значно зменшується  $K_{\sigma}$ .

Одним з найбільш важливих показників ґрунтів є накопичення в них ВМ. Порівняно з умовно чистими (фоновими) ґрунтами [16] вміст Cu у досліджених ґрунтах району полігону № 5 у 8 разів більше, Zn – у 12 разів, Ni – у 3, Cr – у 2, Pb – в 17 разів.

Як ми бачимо, вплив полігону ТПВ призвів до порушення природного співвідношення форм знаходження ВМ у ґрунтах. У фонових ґрунтах домінують міцнозв'язані форми (60–90% від загального вмісту). Унаслідок забруднення ВМ у ґрунтах збільшується кількість рухомих форм (водорозчинна та іонообмінна): Zn – в 4 рази, Ni – у 5 разів, Cu – у 6 разів, Pb – у 8 разів. Це відбувається внаслідок надходження у ґрунти ВМ у вигляді оксидів та інших сполук, їх підвищена міграційна здатність пояснюється істотним зниженням коефіцієнта буферності ґрунтів та зменшенням ємності ґрунтово-поглинального комплексу.

За результатами фізико-хімічних досліджень відібраних проб проаналізовано макро- і мікрокомпонентний склад *поверхневих вод* частини території полігону з захоронення ТПВ № 5, яка розглядається, а також

водойми за його межами. Виявлено, що досліджені води належать до сульфатно-кальцієвого типу. Їхня мінералізація змінюється від 865 до 1220 мг/дм<sup>3</sup>. Середній вміст у них Cl<sup>-</sup> становить 22 мг/дм<sup>3</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> – 8,2 мг/дм<sup>3</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – 283 мг/дм<sup>3</sup>; жорсткість вод – 12,2 мг-екв./дм<sup>3</sup>.

Середній вміст мікроелементів у досліджених водах складає, мг/дм<sup>3</sup>: F – 0,35, Cr – 0,005, Ni – 0,004, Cu – 0,004, Fe<sub>заг.</sub> – 0,72, Pb – 0,0009. Вміст цих мікроелементів не перевищує гранично допустимі концентрації (ГДК), однак, він вище фонових значень [17].

З викладеного можна зробити висновок, що обладнання із системою переробки (очищення) токсичного фільтрату, яке працює на полігоні, функціонує задовільно протягом періоду, що безпосередньо передувало нашим дослідженням. Очевидно рідина, яка залишалася після очищення фільтрату і розпилення її по площі полігону, за відсутності рясних атмосферних опадів лише в незначній кількості розтікалася по окрузі й до поверхневих вод довкілля майже не потрапляла.

Натомість хімічний склад **донних відкладів**, відібраних у районі площадки спостережень № 5 зі штучного ставка у нижній частині балки, що облямовує полігон поховання ТПВ з заходу і північного-заходу, змінюється з глибиною. При збільшенні глибини спостерігається зростання вмісту органічних речовин у складі цих відкладів, що визначається поверхневим зливом з карт звалища.

Валовий вміст ВМ у донних відкладах варіює у широких межах, що залежить від техногенних факторів. Так, у районі площадки спостережень № 5 виявлено аномально високе забруднення цинком – 800 мг/кг, що в 14 разів більше ГДК [17–19]. Варіації вмісту цинку в донних відкладах змінюються в межах 60–800 мг/кг.

Тут же спостерігається підвищений вміст міді – 150 мг/кг, що в 4,5 рази вище ГДК. Варіації вмісту міді змінюються в діапазоні від 50 до 150 мг/кг.

Середній вміст свинцю в донних відкладах площадки № 5 також перевищує ГДК і становить 72 мг/кг. Концентрація свинцю варіює від 60 до 180 мг/кг.

Таким чином, відповідно до критеріїв забруднення [20] донні відклади району полігону № 5 за концентраціями забруднюючих речовин характеризуються небезпечним рівнем забруднення. Не викликає сумніву, що накопичення в них зазначених політантів стало наслідком їх вносу з тіл власне карт «А» та «Б» внаслідок технологічних порушень, вочевидь численних, протягом тривалої діяльності полігону захоронення ТПВ поблизу с. Підгірці.

Забруднення **грунтових вод** макро- і мікроелементами і зміна їх фізико-хімічних показників підтверджується наявними даними про їхній хімічний склад зі свердловин полігону № 5. Результати досліджень представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Порівняння середнього хімічного складу ґрунтових вод зі свердловин полігону № 5 з нормативами (мг/л)

	pH	Сухий залишок	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Хлориди	Сульфати	Завислі речовини	Fe <sub>заг.</sub>	Cu <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Ni <sup>2+</sup>
Середні дані по свердловинах	7,8	292,0	2,8	2,1	44,2	9,6	120,3	5,2	0,3	0,25	0,35	0,21
ГДК	6,5–8,5	1000,0	3,5	20,0	350,0	500,0	0,75	0,3	1,0	1,0	0,5	0,1

Отже, за даними обстежень спостерігається значне перевищення у пробах ґрунтових вод, відібраних зі свердловин у районі полігону, ГДК по залізу і нікелю. Розрахунки показали, що у порівнянні з нормативними [21] загальносанітарні показники ступеня забруднення ґрунтових вод території досліджень належать до категорії середнього і високого ступеня забруднення. Це може свідчити про таке. По-перше, або мають місце ненадійність і прориви захисних плівок (протифільтраційних екранів) у тілі власне карт полігону та субвертикальні проникнення (витоки) фільтрату з трьох наявних на ньому величезних фільтратних озер (або ставків-фільтратонакопичувачів) до довколишніх ґрунтових (підземних) вод. Або ж, по-друге, забруднення ґрунтових вод може бути спричинене іншими факторами імовірно антропогенного походження. Це питання потребує більш ретельного дослідження у подальшому.

Таким чином, використання ґрунтових вод для господарсько-побутових потреб населення прилеглих до полігону № 5 сіл повинно бути дуже обмеженим, тому що це загрожує його здоров'ю. Разом з тим відомо [22], що водопостачання мешканців с. Підгірці здійснюється за допомогою двох артезіанських свердловин з бучацького водоносного горизонту, приналежного до бучацького регіоярусу еоцену палеогенової системи (P<sub>2</sub>b<sub>с</sub>). Отож вважаємо, що вкрай необхідно здійснювати геохімічний і бактеріологічний аналіз цієї води у моніторинговому режимі.

**Рослинність** також зазнає негативного екологічного впливу від діяльності полігону № 5. Зокрема, відмічається зміна біогеохімічних показників досліджених зразків трав'янистої рослинності, що зростає на полігоні. Так, до елементів значного накопичення в рослинності належать мідь, хром, нікель з КБП понад 2,0.

## Висновки та перспективи подальших робіт

У результаті комплексних еколого-геохімічних досліджень компонентів ландшафту в районі північно-західної частини **полігону № 5** з поховання ТПВ, що розташований у межах вододільного плато поблизу с. Підгірці Київської області, встановлено екологічно **негативний його вплив на довкілля**, насамперед на ґрунтові відклади. Зокрема, у **ґрунтах** зафіксовано зменшення вмісту поглинених катіонів і вмісту  $S_{орг.}$ . Натомість ці техногенні ґрунти характеризуються значним накопиченням ВМ. Порівняно з умовно чистими (фоновими) ґрунтами вміст Cu у досліджених ґрунтах району полігону у 8 разів більше, Zn – у 12 разів, Ni – у 3, Cr – у 2, Pb – в 17 разів. Унаслідок забруднення ВМ у ґрунтах збільшується кількість рухомих форм (водорозчинна та іонообмінна): Zn – в 4 рази, Ni – у 5 разів, Cu – у 6 разів, Pb – у 8 разів.

Валовий вміст ВМ у **донних відкладах** району полігону № 5 варіює у широких межах, що залежить від техногенних факторів. Так, виявлене аномально високе забруднення цинком – 800 мг/кг (у 14 разів більше ГДК), підвищений вміст міді – 150 мг/кг (у 4,5 рази вище ГДК). Середній вміст свинцю в них також перевищує ГДК і становить 72 мг/кг. За цими концентраціями донні відклади належать до небезпечного рівня забруднення.

За результатами фізико-хімічних досліджень мікрокомпонентного складу відібраних проб **поверхневих вод** виявлено, що вміст в них мікроелементів (F, Cr, Ni, Cu, Fe<sub>зар.</sub>, Pb) не перевищує ГДК, однак, він вище фонових значень.

Разом з тим порівняльний аналіз середнього хімічного складу проб **грунтових вод** зі свердловин району полігону з нормативними показниками засвідчив, що загальносанітарні показники ступеня забруднення перших з них належать до категорії середнього і високого ступеня забруднення. Зокрема, у них відмічається значне перевищення ГДК по Fe і Ni. Отже, використання ґрунтових вод довкола території полігону № 5 для господарсько-побутових потреб населення повинно бути дуже обмеженим.

Для **подальшого комплексного вивчення** та об'єктивної оцінки еколого-геохімічного стану розглянутих об'єктів довкілля необхідно поповнити довідкові відомості про особливості полігону № 5, провести моніторингові дослідження по регулярній мережі наземного опробування (літо-, гідро-, біогеохімічного) та за даними дистанційної зйомки. Так, для більш повного охоплення за площею території робіт потрібно підібрати й отримати зроблені субсинхронно з наземними дослідженнями інформативні (просторове, спектральне розрізнення) матеріали багатозональних космічних зніманих, виконати гіперспектральну зйомку з борту безпілотного літального апарата по достатній кількості профілів і точок спостережень.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Горох Н.П. Экологическая оценка вредных веществ при комплексной утилизации муниципальных отходов / Н.П. Горох // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. – Харьков, 2005. – № 63. – С. 172–181.
2. Буц Ю.В. До питання екологічної небезпеки полігонів твердих побутових відходів для компонентів геосистем (на прикладі досліджень щодо концентрацій важких металів у складових геосистем) / Ю.В. Буц, А.Н. Некос // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Зб. наук. пр. – Харків, 2012. – Вип. 16. – С. 22–25.
3. Baum R.L. Introduction: Hazard Mapping / R.L Baum, T. Miyagi, S. Lee, O.M. Trofymchuk // Landslide Science for a Safer Geoenvironment. Vol. 2: Methods of Landslide Studies. Eds. Sassa K., Canuti P., Yin Y. – Cham: Springer, 2014. – P. 395–396. – DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-05050-8\\_61](https://doi.org/10.1007/978-3-319-05050-8_61).
4. Самойлік М.С. Екологічні аспекти впливу полігонів твердих побутових відходів на навколишнє середовище. Фільтрат / М.С. Самойлік, А.В. Молчанова // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2017. – № 1-2. – С. 88–91.
5. Azimov O.T. (2018) Reconnaissance integrated geocological study of the disposal region for municipal solid waste with the aim of environmental assessment / O.T. Azimov, V.G. Bakhmutov, Yu.Yu. Voytyuk, Ye.M. Dorofey, S.P. Karmazynenko, I.V. Kuraeva // 12th International Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (13-16 November 2018, Kyiv, Ukraine), Extended Abstracts, doi: 10.3997/2214-4609.201803142 (available at: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=95152>).
6. Азімов О.Т. Моніторинг територій полігонів твердих побутових відходів з використанням дистанційних технологій / О.Т. Азімов, О.В. Томченко, С.П. Кармазиненко, І.В. Кураєва, Ю.Ю. Войтюк // Формування програм щодо поводження з відходами для об'єднаних територіальних громад: проблемні питання та кращі практики: Зб. матеріалів Нац. форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (Київ, 22-23 листоп. 2018 р.). – К.: Центр еколог. освіти та інформації, 2018. – С. 84–87.
7. Азімов О.Т. Еколого-геохімічна оцінка об'єктів довкілля територій поховання твердих побутових відходів / О.Т. Азімов, І.В. Кураєва, Ю.Ю. Войтюк, А.І. Самчук, С.П. Кармазиненко, В.Г. Бахмутов // Пошукова та екологічна геохімія. – 2018. – № 1 (19). – С. 22–26.

8. Азимов А.Т. Анализ результатов комплексных геохимических исследований образцов компонентов ландшафта из зоны влияния мест захоронения твердых бытовых отходов / А.Т. Азимов, С.П. Кармазиненко, И.В. Кураева, Ю.Ю. Войтюк // Сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф. «Отходы, причины их образования и перспективы использования» (г. Краснодар, 26-27 марта 2019 г.) / Сост. Л.С. Новопольцева; под ред. И.С. Белюченко. – Краснодар: КубГАУ, 2019. – С. 198–200. – Режим доступа: <http://www.ecokavkaz.ru/media/docs/conf/conf2019.pdf>.
9. Ландшафтно-геохимическая карта Украины. Масштаб 1:1 500 000 / Сост. В.И. Почтаренко, В.П. Иванчиков / Гл. ред. А.И. Зарицкий. – Киев: Гос. комитет Украины по геологии и использованию недр, Гос. геол. предприятие «Геопрогноз», 1994.
10. <https://www.google.com/maps>.
11. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа: ГОСТ 17.4.4.02–84. – [Действующий от 1986–01–01]. – М.: Стандартинформ, 2008. – 8 с.
12. Вода. Общие требования к отбору проб: Государственный стандарт РФ ГОСТ Р 51592-2000 (принят и введен в действие постановлением Госстандарта РФ от 21 апреля 2000 г. № 117-ст.). – [Дата введения 1 июля 2001 г.]. – М.: Изд-во Госстандарт, 2000. – 12 с.
13. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность: ГОСТ 17.1.5.01-80. – [Действующий с 01.01.1982]. – М.: Госстандарт СССР, 1981. – 7 с.
14. Самчук А.И. Физико-химические условия образования мобильных форм токсичных металлов в почвах / А.И. Самчук, Г.Н. Бондаренко, В.В. Долин, Ю.Я. Сущик, И.Ф. Шраменко, Б.Ф. Мицкевич, О.С. Егоров // Минералогический журнал. – 1998. – Том 20, № 2. – С. 48–59.
15. Авессаломова И.А. Геохимические показатели при изучении ландшафтов. Учебно-методическое пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 108 с.
16. Жовинский Э.Я., Кураева И.В. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины. – Киев: Наук. думка, 2002. – 213 с.
17. Никитин Д.П., Новиков Ю.В., Рошин А.В., Жилев Ю.Д., Марченко Д.Г., Ясинский А.А. Справочник помощника санитарного врача и помощника эпидемиолога / Под ред. Д.П. Никитина, А.И. Заиченко. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Медицина, 1990. – 512 с.
18. Методические рекомендации по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве. – [2-е изд.]. – М.: Минздрав СССР, 1982. – 59 с.
19. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения: ГОСТ 17.4.1.02–83. – [Дата введения 01.01.1985]. – М.: Стандартинформ, 2008. – 4 с.
20. Андросова Н.К. Геолого-экологические исследования и картографирование (Геоэкологическое картирование): Учебное пособие. – М.: Из-во Рос. ун-та дружбы народов, 2000. – 98 с.
21. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения: СанПиН № 4630–88. – [Вводится вновь с 1.01.1989 г.]. – М.: Минздрав СССР, 1988. – 59 с.
22. Олійник В., Чубенко О., Грановський О., Гуржий Д., Заброда А., Чуприна М., Іванова І., Кудлай О., Чубенко О., Ладановський В. Внесення змін до генерального плану с. Підгірці Обухівського району Київської області. Договір № 29/08-ГП від 03.10.2016 р. / ТОВ «ПРОЕКТГЕНПЛАН». – Арх. № ГП-29/08-009. – К., 2018. – Том I. – 102 с.

*Стаття надійшла до редакції 21.03.2019 і прийнята до друку після рецензування 23.04.2019*

## REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Horokh, N.P. (2005) Ekolohycheskaia otsenka vrednykh veshchestv pry kompleksnoi utylyzatsyy minitsypalnykh otkhodov. *Kommunalnoe khoziaistvo horodov – Municipal economy of cities: Scientific & technical collection (Ukraine)*, Kharkov, No 63, 172–181 (in Russian).
2. Buts, Yu., & Nekos, A. (2012) On environmental hazards for the geosystems' components on testing grounds for municipal solid waste (research on heavy metal concentrations in components of geosystems). *Problemy bezperervnoi heohrafichnoi osvity i kartografii – Problems of Continuous Geographic Education and Cartography: Scientific journal (Ukraine)*, Kharkiv: V.N. Karazin Kharkiv National University, Issue 16, 22–25 (in Ukrainian).
3. Baum, R.L., Miyagi, T., Lee, S., & Trofymchuk, O.M. (2014) Introduction: Hazard Mapping. In: Sassa, K., Canuti, P., & Yin, Y. (Eds.) *Landslide Science for a Safer Geoenvironment. Vol. 2: Methods of Landslide Studies*. Cham: Springer, 395–396, doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-05050-8\\_61](https://doi.org/10.1007/978-3-319-05050-8_61).
4. Samoilyk, M.S., & Molchanova, A.V. (2017) Ecological aspects of influence of solid domestic wastes on the environment. Filtrate. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii – Bulletin of Poltava State Agrarian Academy (Ukraine)*, No 1-2, 88–91 (in Ukrainian).
5. Azimov, O.T., Bakhmutov, V.G., Voytyuk, Yu.Yu., Dorofey, Ye.M., Karmazynenko, S.P., & Kuraeva, I.V. (2018) Reconnaissance integrated geoecological study of the disposal region for municipal solid waste with the aim of environmental assessment. *12th International Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (13-16 November 2018, Kyiv, Ukraine)*, Extended Abstracts, doi: 10.3997/2214-4609.201803142 (available at: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=95152>).
6. Azimov, O.T., Tomchenko, O.V., Karmazynenko, S.P., Kuraeva, I.V., & Voytyuk, Yu.Yu. (2018) Monitoring the municipal solid waste landfill areas using the remote sensing technologies. *Program development on the waste management for the united territorial communities: key problematic issues and the best practices: Proceedings of National Forum “Waste management in Ukraine: legislation, economics, technologies” (Kyiv, 22-23 November 2018)*. Kyiv: Centre for the ecological education and information, 84–87 (in Ukrainian).
7. Azimov, O.T., Kuraeva, I.V., Voytyuk, Yu.Yu., Samchyk, A.I., Karmazynenko, S.P., & Bakhmutov, V.G. (2018) Ecological-geochemical assessment of the territories for the municipal solid waste disposal. *Poshukova ta ekolohichna geokhimiia – Exploration and Environmental Geochemistry (Ukraine)*, No 1 (19), 22–26 (in Ukrainian with English summary).
8. Azimov, O.T., Karmazynenko, S.P., Kuraeva, I.V., & Voytyuk, Yu.Yu. (2019) Analysis of the results of the complex geochemical investigations of samples for the landscape components within the affected zone of municipal solid waste disposal areas. In: *Proceedings of International Scientific Ecological Conference “Waste, the reasons of their formation and prospects of utilization” (Krasnodar city, 26-27 March 2019)* / Compiler Novopolitseva L.S.; Ed. Beliuchenko I.S. Krasnodar: Kuban State Agrarian University, 198–200 (available at: <http://www.ecokavkaz.ru/media/docs/conf/conf2019.pdf>) (in Russian).
9. Pochtarenko, V.I., & Ivanchikov, V.P. (1994) *Landscape geochemical map of Ukraine. Scale of 1:1 500 000* / Ch. Ed. Zaritskiy, A.I. Kyiv: State Committee of Ukraine for Geology and the Use of Subsurface Resources, State Geological Enterprise «Geoprognoz» (in Russian).
10. <https://www.google.com/maps>.
11. *Environmental protection. Soils. Methods of sampling and preparing of samples for the chemical, bacteriological, and helminthological analyses: GOST 17.4.4.02–84* (2008). [Acting after 1986–01–01]. Moscow: Standardinform (in Russian).

12. *Water. General requirements to collection of samples. State Standard, Russian Federation GOST R 51592-2000* (2000) (adopted and brought into action by the decision of Gosstandart of Russia after 21 April, 2000, N 117 particle). [Date of Entry – 1 July, 2001]. Moscow: Gosstandart Press (in Russian).
13. *Nature protection. Hydrosphere. General requirements for sampling of bottom sediments of water objects for their pollution analysis: GOST 17.1.5.01-80* (1980). [Acting after 01.01.1982]. Moscow: Gosstandart of USSR (in Russian).
14. Samchuk, A.I., Bondarenko, G.N., Dolin, V.V., Sushchik, Yu.Ya., Shramenko, I.F., Mitskevich, B.F., & Egorov, O.S. (1998) Physical and chemical conditions promoting formation of mobile forms of toxic metals in soils. *Mineralogicheskii zhurnal – Mineralogical journal (Ukraine)*, Vol. 20, No 2, 48–59 (in Russian with English summary).
15. Avessalomova, I.A. (1987) *Geochemical indices in landscape investigation. Educational learning guide*. Moscow: Moscow State University Press (in Russian).
16. Zhovynskiy, E.Ya., & Kuraeva, I.V. (2002) *Geochemistry of heavy metals in the soils of Ukraine*. Kyiv: Naukova dumka (in Russian).
17. Nikitin, D.P., Novikov, Yu.V., Roschin, A.V., Zhilov, Yu.D., Marchenko, D.G., & Yasinskiy, A.A. (1990) *Manual of health assistant and epidemiologist assistant* / Eds. Nikitin, D.P., & Zaichenko, A.I. 2nd Ed., revised and enlarged. Moscow: Meditsina (in Russian).
18. *Recommended practice on hygienic substantiation of the TLV for the chemical compounds in soils* (1982). 2nd Ed. Moscow: MOH of USSR (in Russian).
19. *Nature protection. Soils. Classification of chemicals for pollution control: GOST 17.4.1.02–83* (2008). [Date of Entry – 01.01.1985]. Moscow: Standardinform (in Russian).
20. Androsova, N.K. (2000) *Geological-ecological studies and mapping (Geoecological mapping): Educational guidance*. Moscow: Russian Peoples' Friendship University Press (in Russian).
21. *Sanitary Regulations for Protection of Surface Water from Pollution: SANPIN 4630–88* (1988). [Adopted again after 1.01.1989]. Moscow: MOH of USSR (in Russian).
22. Oliinyk, V., Chubenko, O., Hranovsky, O., Hurzhyi, D., Zabroda, A., Chupryna, M., Ivanova, I., Kudlai, O., & Ladanovsky, V. (2018) *Making changes to the General Plan for the Pidhirtsi village, Obukhiv Raion, Kyiv's Oblast. Agreement N 29/08-GP on 03.10.2016* / Archives. N GP-29/08-009. Vol. I. Kyiv: Association «Proektgenplan» (in Ukrainian).

*The article was received 21.03.2019 and was accepted after revision 23.04.2019*

#### **Азімов Олександр Тельманович**

доктор геологічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України

**Адреса робоча:** 01054 Україна, м. Київ, вул. О. Гончара, 55-б

**e-mail:** [azimov@casre.kiev.ua](mailto:azimov@casre.kiev.ua)

ORCID ID 0000-0002-5210-3920

#### **Трофимчук Олександр Миколайович**

доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НАН України, директор Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

**Адреса робоча:** 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

**e-mail:** [itelua@kv.ukrtel.net](mailto:itelua@kv.ukrtel.net)

ORCID ID 0000-0003-3782-4209



**Курасва Ірина Володимирівна**

доктор геологічних наук, професор, завідувач відділу геохімії техногенних металів та аналітичної хімії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України

**Адреса робоча:** 03680 Україна, м. Київ, проспект Академіка Палладіна, 34

**e-mail:** *ki4412674@gmail.com*

ORCID ID 0000-0003-3113-7782

**Кармазиненко Сергій Петрович**

кандидат географічних наук, старший науковий співробітник Інституту географії НАН України

**Адреса робоча:** 01030 Україна, м. Київ, вул. Володимирська, 44

**e-mail:** *karmazinenko78@gmail.com*

ORCID ID 0000-0001-8268-7851

УДК 049.3:574.4:581.526

**Sergii I. Azarov**<sup>1</sup>, D. S., Senior Research Associate  
ORCID ID 0000-0002-9951-8867 *e-mail*: [azarov@kinr.kiev.ua](mailto:azarov@kinr.kiev.ua)

**Oleksii S. Zadunaj**<sup>2</sup>, Head of the Center, Postgraduate  
ORCID ID 0000-0001-8589-1604 *e-mail*: [a.zadunaj@gmail.com](mailto:a.zadunaj@gmail.com)

<sup>1</sup>Institute for Nuclear Research of NASU, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>State Research Institute of Special Communications and Information Protection, Kyiv, Ukraine

## MODELING OF EVOLUTION NONLINEAR ECOSYSTEM

**Abstract.** *The term «synergy», introduced in scientific literature by G. Haken, means «joint action, selforganization, the special effects of the joint action in complex systems». Synergetics as a methodology considers irreversibility as a condition for the development of systems, and the "imbalance" of systems as an imperative of development, and this is its fundamental difference from cybernetics, from the theory of operations research and from the general theory of systems. Synergy is usually called mathematical dialectics. The theory of synergetics and the theory of self-organization, in contrast to dialectics, have a powerful formalization apparatus, a set of basic and derivative models, including in the form of differential equations in time derivatives of the second order, in the form of fractals with fractional dimension, hamiltonians, taking into account the prehistory and long memory, mathematical models taken from the theory of bifurcations. The purpose of synergetics – the identification of general ideas, general methods and general laws in various fields of natural science.*

*At the same time new concepts have been developing about dissipative structures generating under no equilibrium conditions as a result of the exchange of energy (and substance) with the environment when approaching the external energy to the material. This scientific direction was headed by I.R. Prigogine. Nonlinear Science opens up new possibilities in the study of the conduct of real complex dynamic ecosystems. Nonlinear dynamics is a new science studying the evolution of the real nonlinear ecosystems, where along with determinism appears dynamic chaos. Shows the role of mathematical modeling in the study of nonlinear ecologic systems. Evolutionary change in complex ecosystems due to the phenomenon of self-organization and are associated with a decrease in entropy, which is achieved by the increasing complexity of the structural organization of the ecosystem.*

**Keywords:** *synergetic; nonlinear dynamics; complex structures; self-organization ecosystems*

**С.І. Азаров<sup>1</sup>, О.С. Задунай<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Інститут ядерних досліджень НАН України, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Державний науково-дослідний інститут спеціального зв'язку та захисту інформації, м. Київ, Україна

## МОДЕЛЮВАННЯ ЕВОЛЮЦІЇ НЕЛІНІЙНИХ ЕКОСИСТЕМ

**Анотація.** *Термін «синергетика», введений в наукову літературу Г. Хакеном, означає «спільна дія, самоорганізованість, особливий ефект від спільної дії в складних системах». Синергетика як методологія розглядає незворотність*

як умову розвитку систем, а «нерівновагу» систем – як імператив розвитку, і це її корінна відмінність від кібернетики, від теорії дослідження операцій і від загальної теорії систем. Синергетику зазвичай називають математичною діалектикою. Теорія синергетики і теорія самоорганізації, на відміну від діалектики, мають потужний апарат формалізації, набір базових і похідних моделей, у тому числі у вигляді диференціальних рівнянь в часткових похідних другого порядку, у формі фракталів з дробовою розмірністю, гамільтоніанів, що враховують передісторію і довгу пам'ять, математичних моделей, які взяті з теорії біфуркацій. Мета синергетики – виявлення загальних ідей, загальних методів і загальних закономірностей в самих різних областях природознавства.

Одночасно розвивалися нові уявлення про дисипативні структури, що утворюються в нерівноважних умовах у результаті обміну енергією (і речовиною) з навколишнім середовищем під час підведення зовнішньої енергії до матеріалу. Цей науковий напрям очолив І.Р. Пригожин. Нелінійна наука відкриває нові можливості у вивченні поведінки реальних складних динамічних екосистем. Нелінійна динаміка – це нова наука, що вивчає еволюцію реальних нелінійних екосистем, у яких поряд із детермінізмом з'являється динамічний хаос.

**Ключові слова:** синергетика; нелінійна динаміка; складні структури; самоорганізація екосистеми

## Вступ

Характерною рисою сучасного етапу розвитку екологічної науки є її математизація. Це, насамперед, пов'язано з тим, що типи екосистем, які розглядаються в сучасній екологічній теорії, є істотно більш розвиненими, що призводить до більш складних закономірностей функціонування і, зокрема, до можливостей катастрофічних змін і хаотичної поведінки. Зміни, що відбуваються в нестійких динамічних екосистемах, можуть бути зрозумілі або осмислені тільки за допомогою математики і знаходяться за межами наших інтуїтивних уявлень. У дослідженнях з нелінійної динаміки показано [1], що малі зрушення параметрів можуть приводити до структурних змін динамічних систем. Складно організовані просторові, часові або просторово-часові структури можуть виникати з хаотичних станів, і в таких самоорганізованих системах виявляються еволюційні процеси, що приводять до ще більшого розмаїття і ускладнення структур [2]. Для розглянутих нелінійних екосистем характерні складні явища, такі як регулярні коливання і хаос. Навіть у відносно простих нелінійних динамічних екосистемах може спостерігатися спонтанне утворення складно організованих структур.

Принципово новий напрям у розвитку екологічної науки полягає у відмові від класичних уявлень і формуванні нових уявлень екологічної теорії. До числа принципів функціонування екосистем, здатних до самоорганізації, відносяться нелінійність, нерівноважність, незамкнутість, тобто категорії, протилежні класичній екологічній теорії. Цей напрямок спирається на досягнення теорії самоорганізації і нерівноважної термодинаміки [3], а також синергетики [4], де в якості математичного апарату досліджень використовують такі поняття, як флуктуації, фазові переходи, метастабільність, нестационарність, автокаталіз, авторегресії, автохвильовість, біфуркаційність, фрактали і катастрофи та ін.

## Загальні відомості про синергетику та нелінійну динаміку

Синергетика як наукова парадигма в загальній картині світу виділяє нестабільність, нестійкість і незворотність як імператив розвитку в об'єктивному світі, як головні рушійні сили в еволюції в природі. Синергетика як методологія розглядає незворотність як умову розвитку систем, а «нерівновагу» систем – як імператив розвитку, і це її корінна відмінність від кібернетики, від теорії дослідження операцій і від загальної теорії систем. І це антиномія класичній науці, яка фетишизує стаціонарність, стійкість, оборотність. Синергетику зазвичай називають математичною діалектикою. Теорія синергетики і теорія самоорганізації, на відміну від діалектики, мають потужний апарат формалізації, набір базових і похідних моделей, у тому числі у вигляді диференціальних рівнянь в часткових похідних другого порядку, у формі фракталів з дробовою розмірністю, гамільтоніанів, що враховують передісторію і довгу пам'ять, математичних моделей, які взяті з теорії біфуркацій. Головний постулат синергетики як науки: «Світ розвивається (саморозвивається, самоорганізується) в результаті колективної спільної дії (взаємодії) всіх складових цього світу». Мета синергетики – виявлення загальних ідей, загальних методів і загальних закономірностей в самих різних областях природознавства.

Залучення до синергетики теорії біфуркацій Анрі Пуанкаре, теорії фракталів Бенуа Мандельброта і теорії катастроф Уїтні-Тома-Арнольда, а також узагальнення їх в органічному симбіозі в теорії самоорганізації І. Пригожина [5] надає проблемі безліч шляхів розвитку природи і новий ключ до її розуміння, а з ним – і нові можливості для прогнозування зміни навколишнього середовища. Самоорганізація відрізняється від процесу організації тим, що сутність процесу тут пояснюється вже природою самої системи (а не дією зовнішніх факторів). Тобто система є такою, що самоорганізується, якщо вона без додаткового впливу ззовні набуває певної просторової, тимчасової або функціональної структури. Самоорганізація як феномен властива також і екосистемам, які вивчає теорія синергетики. Цей напрямок все частіше позначається як екологічна синергетика (від грец.- Synergetikos – спільний, узгоджено діючий) – вчення про ефекти спільних дій елементів у відкритих складних екосистемах, які підкоряються принципу «порядок з хаосу». У роботах [5–7] показано, що вплив навколишнього середовища сприяє формуванню мультиплікативних зв'язків, в результаті чого властивості узагальненої моделі екосистеми можуть принципово відрізнитися від властивостей вихідної. Отримані результати дозволяють по-новому поглянути на питання еволюції нелінійних екосистем. Через відкритість таких екосистем вони здатні обмінюватися з навколишнім середовищем речовиною, енергією та інформацією. Саме завдяки зазначеним потокам, що протікають крізь них, і відбувається самоорганізація, пов'язана зі структурною зміною екосистеми.

Тому функціонування нелінійної екосистеми необхідно описувати в рамках енергетичного балансу і з урахуванням кінетики, які відображають взаємодію компонентів, що входять в екосистему. В результаті такої взаємодії частина енергії буде витратитись на зміну характеру їх поведінки, а інша частина – на зміну їх внутрішнього стану. У відкритій екосистемі найбільш важливим стає баланс між припливом енергії ззовні і віддачею її в зовнішнє середовище.

Екосистема буде здатна проявляти стійкість і підтримувати енергетичний баланс за рахунок змін, що відбуваються в ній, одні з яких спрямовані на поглинання, а інші – на віддачу енергії. Зміна балансу енергії може привести до того, що екосистема реагуватиме на це будь-якою зміною свого структурного стану: вона або буде створювати нові зв'язки, або знищувати їх. Самоорганізація екосистеми відбувається навіть в разі агресивності оточуючого екосистему середовища. В останньому випадку екосистема мобілізується (самоорганізується) для вчинення опору. Самоорганізація екосистеми може відбуватися в результаті фазового переходу. Механізм спонтанної самоорганізації в мікрооб'єкті хаотичної екосистеми відповідно до ентропійного фактору може бути представлений як  $\Delta S = diS + deS$ , тобто загальна зміна ентропії визначається сумою змін внутрішньосистемної ентропії ( $diS$ ) і зміною ентропії за рахунок факторів зовнішнього середовища  $deS$ . При певному співвідношенні градієнта  $diS/deS$  загальна ентропія екосистеми в мікрооб'єктах може як зростати ( $\Delta S > 0$ ), так і бути менше 0 ( $diS/dt < deS/dt$ ), і відповідно формувати новий порядок на рівні фазових переходів II роду (фазових переходів Л. Ландау). Слід зазначити, що відповідно до феноменологічної теорії фазових переходів може забезпечуватися поява нових структур. Подібно розглянутим Л. Ландау у фізиці фазових переходів, екосистема також може містити кластери двох типів: одні кластери несуть нові властивості, інші не містять нових властивостей. Під впливом зовнішніх чинників в перехідній екосистемі будуть спостерігатись кількісні зміни співвідношення між кластерами цих двох типів. Наявність двох фаз, одна з яких є носієм інерційної складової, а друга – мутаційною, і є загальним законом розвитку нелінійних екосистем. Відповідно до принципу І. Пригожина [6] характер еволюції нелінійних екосистем визначається прагненням до зменшення ентропії, яке якраз і досягається ускладненням її структурної організації.

Формування додаткових мультиплікативних зв'язків тісно пов'язане з поняттям оптимальності, а також структурної пристосованості. Виходячи з цього, можна стверджувати, що ускладнення структури екосистеми тотожне оптимізації її властивостей шляхом структурної пристосованості. З іншого боку, в сучасній екологічній теорії все частіше стали використовувати поняття хаотична поведінка екосистем. Відомо, що «хаос» – поширена категорія міфології і філософії з часів античності, яка в XIX ст. була розвинена природничим розумінням статистичного (теплого) хаосу, а в XX ст. – ще й уявленнями про динамічний хаос в детермінованих системах і когнітивний хаос в теорії складності. Новий підвищений науковий інтерес до проблеми хаосу викликала робота І. Пригожина, яка вийшла в 1979 році [7].

Як відомо [5], в науці «хаос» позначається терміном «турбулентність», що представляє собою надзвичайно складне, але цілком закономірне явище. Турбулентність є поширеним в природі явищем самоорганізації, пов'язаним з регулярними або хаотичними переходами від безладдя до порядку і назад. Значний інтерес до турбулентних процесів в екологічній науці виник в 1960-х з появою синергетики, яку часто визначають як «науку про самоорганізацію» (мимовільне ускладнення структури екосистеми при повільній і плавній зміні її параметрів). Поведінку динамічних екосистем в турбулентних процесах найчастіше можна описати і виходячи з поняття «переривчастої рівноваги» в теорії «самоорганізованої критичності» [8]. Відповідно до цієї теорії динамічні

екосистеми без спеціального зовнішнього впливу приходять в якийсь критичний стан, який підтримується подіями різних масштабів. Складні екосистеми мають властивість в процесі своєї еволюції приходити до критичного стану, в якому невеликі зміни можуть сприяти розвитку ланцюгової реакції, в результаті якої екосистема опиняється в стані хаосу. У цьому стані динамічній екосистемі властива переривчаста, стрибкоподібна поведінка, яка характеризується поняттями «переривчастої рівноваги» («punctuated equilibrium»), «кризової нестабільності» («crisis instability») і «кризової стабільності» («crisis stability»), а також «катастрофи».

Поняття «катастрофа» в даному контексті означає різку якісну зміну стану в екосистемах при плавній кількісній зміні параметрів, від яких вона залежить. Однією з головних задач теорії катастроф є отримання так званої нормальної форми досліджуваної екосистеми навколо «точки катастрофи» і побудова на цій основі класифікації екосистем.

У синергетиці «хаос» оперує такими чіткими ключовими принципами [6, 7]:

- теорія «хаосу» додається до динамічних систем – систем з дуже великою кількістю рухомих компонентів;
- всередині цих систем існує неперіодичний порядок, зовні безладна сукупність даних може піддаватися упорядкуванню в разові моделі;
- подібні «хаотичні» системи виказують тонку залежність від початкових умов; невеликі зміни будь-яких умов на вході приведуть до дивергентних диспропорцій на виході;
- довго існуючі системи (змінні, параметри порядку та ін.) керують коротко існуючими системами.

Перераховані принципи дозволяють встановити загальні правила організації хаосу в екосистемах.

1. Хаос створюється природним шляхом за допомогою збільшення розмірів частини єдиної екосистеми, що самоорганізується, а потім, після досягнення якихось критичних меж, таким же чином гаситься.

2. Критичні межі стану екосистеми визначаються фізичними розмірами екосистеми і співвідносяться між собою експоненціальним чином.

3. Під час руху від безладу до впорядкованого стану екосистема регулярно повертається по замкнутій траєкторії дивного атратора Лоренца навколо точки, де вона вже колись була.

4. «Масштаб хаосу», або «розмір невизначеності стану» екосистеми, пропорційний фізичним розмірам екосистеми.

5. Еволюційні фази турбулентного розвитку в екосистемах супроводжуються акумулюванням в них енергії структурної складності.

6. У точках біфуркації, навпаки, слабке зниження стійкості в екосистемі супроводжується спадом, а швидке зростання – слабким зростанням.

7. Зовнішні впливи, спрямовані на скорочення фізичних розмірів екосистеми, її стабілізують, а спрямовані на збільшення – дестабілізують. Тому в точках біфуркації екосистеми її можна легко вивести з рівноваги слабкими енергетичними впливами, а впорядкувати практично неможливо, тобто її розвиток в певні моменти проходить через так звані точки біфуркації.

8. Створюючи штучний порядок в будь-якій області замкнутого простору в екосистемах, ми переважно генеруємо хаос в оточуючих його областях (гранично нестійкий стан, в тому числі і природну нестабільність).

Синергетика XXI століття використовує уявлення теорій самоорганізації, біфуркацій, фракталів, хаосу, катастроф і вирішує надскладні завдання прогнозування майбутніх змін в природі. Наприклад, на основі положень теорії синергетики в біології створена синергетична модель морфогенезу, що описує зародження, зростання, розвиток і смерть живих організмів з позитивним і негативним зворотними зв'язками. При цьому, за розвиток і мутації відповідає синергетичний позитивний зв'язок, а за збереження колишніх форм – негативний (кібернетичний) зворотний зв'язок.

На сьогодні розроблені математичні моделі міжвидової і внутрішньовидової боротьби у формі відбору за виживання і підбору, за продовження роду, зростання і розвитку популяцій в різних ареалах проживання з проявом якісних бар'єрів, порогових явищ, синергетичних ефектів і рефлексій. Це розвиток геномів живих організмів від найпростіших видів до найскладніших і найдосконаліших. Створена синергетична модель онтогенезу, науки про розвиток рослин і тварин з моменту зародження, яка охоплює всі зміни, трансформації та ефекти, яких зазнають живі організми від зародження до закінчення життя.

### Модельовання стійкості екосистеми

Модельовання має важливу роль в описі і розумінні часових еволюцій процесів в екосистемах [9]. Математичні моделі допомагають в інтерпретації перехідних процесів в екосистемах виявити особливості їх функціонування і забезпечити прогноз: «горизонт передбачуваності», що підтверджується або спростовується подальшими даними. Для побудови математичної моделі структурних змін, що відбуваються в узагальненій моделі нелінійної динаміки екосистеми, скористаємося кінетичною теорією фазових перетворень першого роду, яка заснована на флуктуаційній картині зародження фази і подальшому зростанні її виділень. Більшість моделей динаміки екосистем містять нелінійні функції, наприклад:

$$y = \sin x, \quad y = ax^2, \quad z = \sqrt{x} + by, \quad (1)$$

де  $a$  і  $b$  деякі числа, на відміну від лінійних  $y = ax$ ,  $z = ax + by$  і далі, для них несправедливий *принцип суперпозиції* (накладення), що дозволяє «зшивати» рішення більш складного завдання з рішень більш простих завдань. Ці рівняння описують ситуацію, в якій зміна зовнішніх впливів в  $k$  разів, на відміну від лінійних, не призведе до пропорційного відгуку екосистеми. По суті, нелінійність означає величезну різноманітність поведінки і багатство можливостей, порогові ефекти, множину рішень, існування хаотичних траєкторій, парадоксальний «антиінтуїтивний» відгук при зміні зовнішніх впливів. Розглянемо основні структури екосистеми, що відносяться до катастроф. В екосистемах під впливом внутрішніх і зовнішніх антропогенних факторів відбуваються незворотні фізико-хімічні процеси, що призводять до їх деградації. Знання змін від часу  $t$  комплексного параметра життєздатності екосистеми  $Y$  в залежності від небезпечних факторів  $X$  дозволяє визначити значення імовірності вихідної події:

$$q_i(t) = P\{Y_i(X, T) > Y_{igr}\}, \quad (2)$$

де  $q_i(t)$  – імовірність вихідної події,  $T$  – час існування екосистеми,  $Y_{igr}$  – граничне значення комплексного параметра стійкості екосистеми до антропогенного впливу, після якого може настати катастрофічна подія. Розглянемо сімейство функцій:

$$E: ZC \rightarrow R, \quad (3)$$

де  $R$  – ризик втрати життєздатності екосистеми;  $Z$  – деяке різноманіття, яке зазвичай є  $R^n$ ;  $C$  – наслідки (збитки) від вихідної події або інше різноманіття ( $R^r$ ). В теорії катастроф простір  $R^n$  носить назву простору станів, простір  $R^r$  – простір управління, число  $r$  – розмірність деформації. Тут під деформацією розуміються варійовані змінні. В математичному контексті (а іноді і в додатках)  $R^r$  називається простором деформації, а його точки (або їх координати) – параметрами деформації. Дуже важливо те, що відбувається з функціями поблизу початку координат, бо це відбивається на поведінці функцій на всьому просторі  $R^n \cdot R^r$ . Підмножина  $R^n \cdot R^r$ , визначена рівнянням

$$\frac{d}{dz} E_c(z) = 0, \quad (4)$$

називається різноманіттям катастроф, де  $E_c(z) = E(z, c)$  – множина всіх критичних точок потенціалів  $E_c$  із сімейства  $E$ . Відображенням катастрофи  $\chi$  називається обмеження на  $M$  природньої проекції

$$\pi: R^n \cdot R^r \rightarrow R^r, \quad \pi(x, c) = c. \quad (5)$$

Особливою множиною  $Z$  називається підмножина  $M$ , що складається з особливих точок відображення  $\chi$  – точок, де ранг похідної  $\frac{dx}{d\chi}$  менше, ніж  $r$ . Образ особливої множини  $\chi(Z)$  з  $C$  носить назву біфуркаційної множини  $B$  (рис. 1).

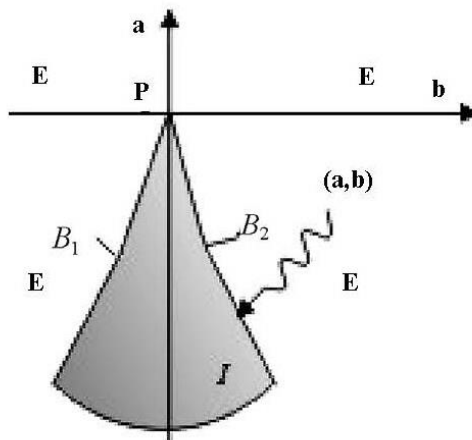


Рис. 1 – Геометрична інтерпретація рівноваги в екосистемах



Розділимо площину  $a, b$  (рис. 1) на п'ять підмножин: заштриховану область  $I$  – від слова *internal* – «всередині» кривої; область  $E$  – від слова *external* – «поза» кривою; дві гілки  $B_1$  і  $B_2$  кривої від слова *bifurcation* (біфуркація) і початок  $P$ . Точки  $(a, b)$ , що лежать в області  $I$ , характеризуються рівнянням, а точки, що лежать в області  $E$ , умовою. Тому, якщо точка  $(a, b)$  лежить в області  $E$ , то є один дійсний корінь; якщо точка  $(a, b)$  лежить в області  $I$ , то є три різних дійсних корені; якщо точка  $(a, b)$  лежить на кривих  $B_1$  і  $B_2$ , то є три дійсних корені, але два з них збігаються між собою; для  $B_1$  збіг відбувається з найменшим коренем, а для  $B_2$  – з найбільшим; якщо точка  $(a, b)$  збігається з  $P = (0, 0)$ , тобто  $a = b = 0$ , то є три співпадаючих дійсних корені і всі вони рівні 0. Один мінімум, якщо  $(a, b) \in E$ ; два мінімуми і один максимум, якщо  $(a, b) \in I$ ; один мінімум і одна точка перегину для  $(a, b) \in B_1$  або  $B_2$  і один мінімум для  $(a, b) = P$ . Біфуркаційна множина катастрофи в екосистемах – це множина точок.

$$(a, b) = (-3z^2, 2z^3). \tag{6}$$

Для заданої пари параметрів рівняння  $(a, b)$  критичні точки функції енергії

$$E_{ab}(z) = \frac{1}{4}z^4 + \frac{1}{2}az^2 + b \tag{7}$$

можна знайти з рівняння:

$$0 = \frac{d}{dz}E_{ab}(z) = z^3 + az + b. \tag{8}$$

Дроби в коефіцієнтах підбираються таким чином, щоб рівняння (6) і (8) виходили найпростішого виду. Кубічне рівняння по  $x$  має найбільше три і найменше один дійсний корінь. Природа коренів залежить від значень  $a$  і  $b$ , а саме від дискримінанту  $D = 4a^3 + 27b^2$  рівняння (8). Добре відомо, що якщо  $D < 0$ , є три різних дійсних корені, а якщо  $D > 0$ , то один дійсний і пара взаємно-сполучених комплексних коренів. При  $D = 0$  є три дійсних корені, але деякі з них збігаються між собою: якщо  $D = 0$  і  $a \neq 0$  або  $b \neq 0$ , то збігаються два корені, а якщо  $D = 0$  і  $a = b = 0$ , то збігаються всі три корені. Геометрично це означає, що природа коренів, а значить і рівновага системи, залежить від положення точки  $(a, b)$  відносно до кривої, визначеної в координатах  $a, b$  рівнянням:

$$4a^3 + 27b^2 = 0. \tag{9}$$

З точки зору динаміки мінімуми  $E_{ab}$  відповідають стійким рівновагам в екосистемах, а максимумами і перегиби – нестійким. Отже, якщо пара керуючих змінних  $(a, b)$  екосистеми лежить в області  $E$ , то є єдине положення стійкої рівноваги, а якщо в області  $I$ , то два стійких стану і один нестійкий. В теорії катастроф [10] показано, що  $Z$  – це множина точок  $(z, c)$  з  $M$ , в яких  $E_c(z)$  має вироджену критичну точку. Таким чином,  $V$  являє собою місце, де змінюється число і природа критичних точок і така зміна може відбутися лише при переході через вироджену критичну точку. Слід зазначити, що в більшості додатків теорії катастроф найбільш важливим є саме біфуркаційна множина,

так як вона лежить в просторі управління і відповідно «спостерігається», бо всі стрибки відбуваються на ній. Але в залежності від того, яке конкретне застосування розглядається, аналізується більше або менше геометричних характеристик катастрофи. Дослідження положень рівноваги саме по собі не може визначити, де будуть відбуватися стрибки в екосистемах, так як вони в принципі можливі в будь-якій точці  $(a, b)$ , над якою лежать два або більше положень рівноваги. Уявімо собі екосистему, що залежить від факторів антропогенного впливу на неї. Чим більше вплив антропогенних факторів на екосистему, тим менш стійкий її стан аж до катастрофічного стрибка. Таке значення параметра стану екосистеми називають точками розгалуження або точками біфуркації. Типова біфуркаційна діаграма, що допускає наочну інтерпретацію процесів, які відбуваються в екосистемах, і включає різні траєкторії, наведена на рис. 2.

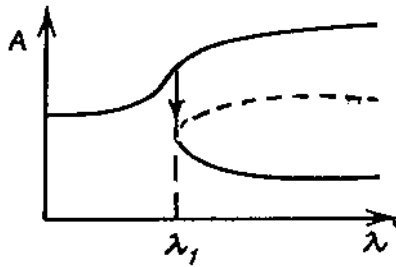


Рис. 2 – Біфуркаційна діаграма, що допускає наочну інтерпретацію процесів, які відбуваються в екосистемах, і включає різні траєкторії

Тут суцільна лінія відповідає стійкому стану екосистеми, а пунктирна – нестійкому, який може змінюватися під впливом антропогенних навантажень.

Визначити момент переходу екосистеми зі стійкої рівноваги в нестійкий стан, іменованій далі як «катастрофа» (стрибок), дуже складно. Геометрично це показано на рис. 3. Точка  $P$  характеризує поведінку екосистеми в точці, де рівновага змінюється зі стійкої (локальний мінімум енергії) на нестійку (локальний максимум).

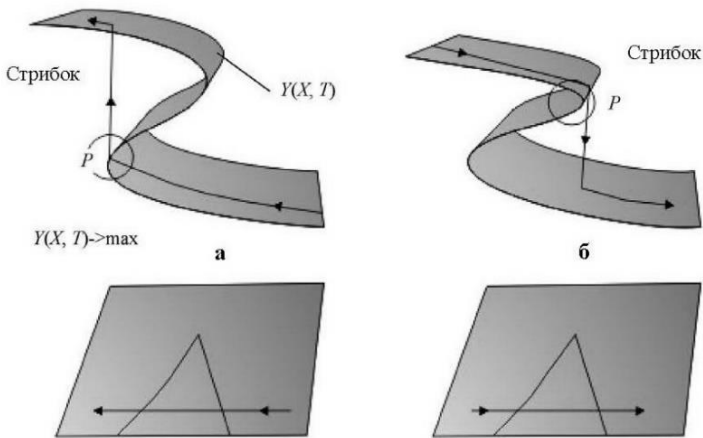


Рис. 3 – Стрибок стійкості екосистеми: а – зростаючий; б – регресний характер параметра  $Y(X, T)$

Згідно з принципом (максимального) зволікання: екосистема робить стрибок лише тоді, коли у неї не залишається іншого вибору. Однак при цьому необхідно враховувати наступний факт: екосистема може робити відповідні стрибки настільки швидко, що дозволяє знехтувати часом, який витрачається на це. Отже, при цьому для швидких змін регулюючих параметрів принцип зволікання порушується, тобто для кожної конкретної екосистеми в залежності від дії факторів, що збурюють, можливі різні моменти порушення стану рівноваги, які можуть призвести до катастрофи. Розглянутий тип катастрофи в екосистемі є найпростішим видом катастроф. Залежно від кількості і складності критичних точок поверхні різноманіття катастроф істотно ускладнюється аналіз рівнянь енергії  $E$ . Ілюстрацією цього може служити катастрофа хвоста ластівки, метелика, еліптичної, гіперболічної і параболічної омбілік. Одним з фундаментальних результатів нелінійної динаміки є усвідомлення принципів обмежень в області отримання прогнозу, так званого «горизонту передбачуваності», навіть для найпростішої екосистеми, оскільки вона має чутливість до початкових даних. Тобто, розглядаючи дві близькі траєкторії  $\vec{x}'(t)$   $\vec{x}''(t)$  в динамічній екосистемі, отримуємо

$$d \frac{\vec{x}}{dt} = \vec{f}(\vec{x}), \quad \vec{x}'(0) = a, \quad \vec{x}''(t) = \vec{a} + E, \quad (10)$$

Для безлічі моделей екосистем можна чисельно перевірити, а для деяких випадків строго довести, що відстань між нескінченно близькими спочатку траєкторіями в середньому експоненціально зростає

$$d(t) = |\vec{x}'(t) - \vec{x}''(t)| \sim |E| \exp(1t). \quad (11)$$

Величина 1, звана показником Ляпунова, що характеризує горизонт передбачуваності – час, на який можна дати прогноз поведінки досліджуваної екосистеми. Слід зазначити, що «клубок траєкторій» в екосистемах буде виглядати досить впорядкованим (рис. 4).

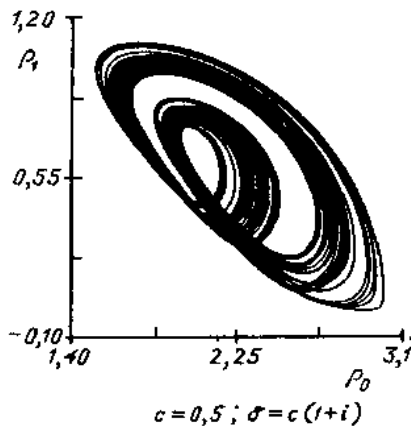


Рис. 4 – Характерний вид проекції хаотичного атратора в екосистемах

Зрозуміло, що це не означає, що після цього часу ми нічого не знаємо про екосистеми. Образно кажучи, якщо гранична множина являє собою «клубок» у фазовому просторі (див. рис. 4), то ми як і раніше достовірно знаємо, що точка, яка характеризує стан екосистеми, належить цьому «клубку», а не піде куди-небудь в іншу область фазового простору. Однак невідомо, в якому місці «клубка» буде знаходитися ця точка. «Горизонт передбачуваності» можна трактувати й інакше. Він дає характерний часовий масштаб, який визначає, коли (в які часи) відіб'ються зміни початкових даних на величину  $E$ . Він також показує, наскільки швидко екосистемою будуть «забуті» наслідки зовнішніх і внутрішніх впливів, якщо ми можемо змінити стан останньої на  $E$ . По суті, горизонт прогнозу характеризує «пам'ять» досліджуваної екосистеми.

## Висновки

З аналізу численних джерел інформації та наведених у даній роботі міркувань щодо моделювання еволюції реальних нелінійних екосистем в сучасних умовах можна зробити висновки, головні з яких такі.

- Умови критичного стану довкілля і великого ризику виникнення надзвичайних екологічних ситуацій і катастроф в країні вимагають застосування нового математичного апарату дослідження нелінійних екосистем, використовуючи такі поняття, як синергетика, флуктуації, фазові переходи, метастабільність, нестационарність, автокаталіз, авторегресії, автохвильовість, біфуркації, фрактали і катастрофи.

- На відміну від традиційних моделей, запропоновано моделювати адаптивні зворотні зв'язки в екосистемах за допомогою теорії синергетики, що дало змогу здійснювати динамічну перебудову структури екосистеми (атракторів, інваріантних різноманіть), які забезпечують множинну стійкість екосистеми з підвищенням її складності.

- Дана методологія відповідає відомим фактам про зростання стійкості екологічних систем з підвищенням їх складності й видової різноманітності.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Хакен Г. Синергетика / Г. Хакен; пер. с англ. В.И. Емельянова; под ред. Ю.Л. Климонтовича, С.М. Осовца. – Москва: Мир, 1980. – 403 с.
2. Хакен Г. Синергетика. Иерархия неустойчивости в самоорганизующихся системах и устройствах: пер. с англ. / Г. Хакен. – Москва: Мир, 1985. – 421 с.
3. Гленсдорф П. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций / П. Гленсдорф, И. Пригожин; пер. с англ. Н.В. Вдовиченко, В.А. Онищука; под ред. Ю.А. Чизмаджева. – Москва: Мир, 1973. – 280 с.
4. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам / Г. Хакен; пер. с англ. Ю.А. Данилова, А.В. Беркова. – 2-е изд., доп. – Москва: КомКнига: УРСС, 2005. – 245 с. – (Синергетика: от прошлого к будущему).
5. Пригожин И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой / Пригожин И., Стенгерс И.; пер. с англ. Ю.А. Данилова; общ. ред. В.И. Аршинова, Ю.Л. Климонтовича, Ю.В. Сачкова. – Москва: Прогресс, 1986. – 432 с.
6. Николис Г. Познание сложного. Введение / Г. Николис, И.Р. Пригожин; пер. с англ. В.Ф. Пастушенко. – Москва: Мир, 1990. – 342 с.
7. Пригожин И. Время, хаос, квант / Пригожин И., Стенгерс И. – Москва: Прогресс, 1994. – 272 с.

8. Эткинс П. Порядок и беспорядок в природе / П. Эткинс; пер. с англ. Ю.Г. Рудого. – Москва: Мир, 1987. – 224 с.
9. Азаров С.І. Моделювання стійкості екосистеми / Азаров С.І., Задунай О.С. // Екологічні науки. – 2018. – № 4 /2018 (23). – С. 5–9.
10. Арнольд В.И. Теория катастроф / В.И. Арнольд. – 3-е изд., доп. – Москва: Наука, 1990. – 127 с.

*Стаття надійшла до редакції 10.04.2019 і прийнята до друку після рецензування 07.05.2019*

## REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Khaken G. Sinergetika [Synergetics]. Moscow: Mir, 1980, 403 p. (in Russian).
2. Khaken G. Sinergetika. Ierarkhiya neustoychivosti v samoorganizuyuschikhsya sistemakh i ustroystvakh [Synergetics. Hierarchy of instability in self-organizing systems and devices]. Moscow: Mir, 1985, 421 p. (in Russian).
3. Glensdorf P. and Prigozhin I. Termodinamicheskaya teoriya struktury, ustoychivosti i fluktuatsiy [Thermodynamic theory of structure, stability and fluctuations]. Moscow: Mir, 1973, 280 p. (in Russian).
4. Khaken G. Informatsiya i samoorganizatsiya. Makroskopicheskiy podkhod k slozhnym sistemam [Information and self-organization. Macroscopic approach to complex systems]. 2-d edition. Moscow: KomKniga, URSS, 2005, 245 p. (in Russian).
5. Prigozhin I. and Stengers I. Poryadok iz khaosa. Novy dialog cheloveka s prirodoy [Order out of chaos. The new dialogue between human and nature]. Moscow: Progress, 1986, 432 p. (in Russian).
6. Nikolis G. and Prigozhin I.R. Poznanie slozhnogo. Vvedenie [Knowledge of the complex. Introduction]. Moscow: Mir, 1990, 342 p. (in Russian).
7. Prigozhin I. and Stengers I. Vremya, khaos, kvant [Time, chaos, quantum]. Moscow: Progress, 1994, 272 p. (in Russian).
8. Etkins P. Poryadok i besporyadok v prirode [Order and disorder in nature]. Moscow: Mir, 1987, 224 p. (in Russian).
9. Azarov S. and Zadunaj O. (2018). Modeling of ecosystem sustainability. Ekologichni nauky, № 4 (23), 5–9. (in Ukrainian).
10. Arnol'd V.I. Teoriya katastrof [Catastrophe theory]. 3-d edition. Moscow: Nauka, 1990, 127 p. (in Russian).

*The article was received 10.04.2019 and was accepted after revision 07.05.2019*

### **Азаров Сергій Іванович**

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Інституту ядерних досліджень НАН України

**Адреса робоча:** 03680 Україна, м. Київ, пр-т Науки, 47

**e-mail:** [azarov@kinr.kiev.ua](mailto:azarov@kinr.kiev.ua)

ORCID ID 0000-0002-9951-8867

### **Задунай Олексій Сергійович**

здобувач наукового ступеня кандидата технічних наук, начальник центру Державного науково-дослідного інституту спеціального зв'язку та захисту інформації

**Адреса робоча:** 03142 Україна, м. Київ, вул. М. Залізняка, 6

**e-mail:** [a.zadunaj@gmail.com](mailto:a.zadunaj@gmail.com)

ORCID ID 0000-0001-8589-1604

UDC 626/627; 504.75

**Alla V. Demianiuk**<sup>1</sup>, senior lecturer of Department of hydro construction and hydraulics

**Dmytro V. Stefanyshyn**<sup>1,2</sup>, Doctor of sciences (Eng.), Lead researcher of the Department of natural resources of the Institute of Telecommunications and Global Information Space of the NASU, associate professor, professor of the Department of hydro construction and hydraulics of the National University of Water and Environmental Engineering  
ORCID ID: 0000-0002-7620-1613 *e-mail*: [d.v.stefanyshyn@nuwm.edu.ua](mailto:d.v.stefanyshyn@nuwm.edu.ua)

<sup>1</sup>The National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

<sup>2</sup>Institute of Telecommunication and Global Information Space of NASU, Kyiv, Ukraine

## IDENTIFICATION OF EARTHEN DAM SEEPAGE REGIME UNDER CONDITION OF DATA AMBIGUITY

***Abstract.** One case of seepage regime identification in earthen dam on the basis of visual and instrumental observations is considered in terms of data ambiguity and uncertainty regarding either dam condition, soils permeability or seepage control and drainage features operability both in dam body and foundation. The technique of identification of dam fill hydraulic conductivity based on correlation analysis of piezometric readings is proposed. Contour maps of groundwater levels were examined. As well as simulation modelling was performed in order to determine the most probable seepage computational model of earth dam corresponding in the best way to monitoring data. While simulating special attention was being payed to seepage control and drainage features performance. Thus it was approved that earth dam seepage regime meets the criteria of safety against seepage.*

***Keywords:** ambiguity and uncertainty; earthen dam; identification; imperfect information; observational data; seepage; seepage regime; seepage computational model; simulation modelling*

### Introduction

Seepage through earthen dam body and foundation determines its operational condition considerably. Seepage can initiate a number of adverse processes that affect negatively on structure condition.

Seepage generates volume hydrodynamic forces in dam fill and foundation which are comparable to soil weight [1]. Those forces affect adversely stability of dam slopes and may result in seepage induced deformations of different types (mechanical and chemical suffusion, heave, clogging etc.) [20]. Seepage is found out to be one of the main causes of malfunctioning, deterioration and failures of earthen dams.

Statistical analysis of causes of earthen dam failures makes it clear that the major part of dam collapses (up to 60%) directly or indirectly was caused by detrimental impact of seepage [2, 3, 19, 20]. Other seepage related accidents have also been registered like those ones when normal dam operation was impossible due to inability to fill reservoir lake to operation levels or water logging of vast terrain beneath the dam having devastating consequences for environment and population of those areas [4].

Adverse effects of seepage on earth dam condition can appear not only during first years of operation but also in the long run, after decades of “normal” operation [3, 5–7, 19, 20]. According to statistics, one fifth of all collapses of earthen dams happened fifty years after their commissioning. The case of earth dam failure caused by seepage related problems after 116 years of operation (dam Emery, USA [8]) was documented.

The problem of seepage through soil porous medium including earthen dams is being studied for a long time [2, 9–11]. Currently there are a large number of differently posed seepage related problems having different levels of complexity. And thus there are many tried-and-tested techniques of their solving. Since then scientists also began to pay big attention to practical use seepage problems regarding to identification of computational models and dam condition estimation with the use of monitoring data [12–17].

However, the problem of seepage through earthen dams still remains the most relevant one. It is expected, it will be the same in the future, because most of water retaining structures in the world and Ukraine as well are earthen dams. The major part of them is in operation for a long time. As experience proves [18] due to ageing of dams that implies changing of structure condition, soil characteristics, reduced operability of seepage control and drainage features etc. the topic of the research can gain even more relevance with time.

## **1. Some general notes**

Seepage regime (or seepage situation) in earth dam depends on many factors. Seepage can be examined with monitoring of phreatic surface position, head losses or gradients in dam fill and foundation, impervious elements and drainage facilities, zones of seepage flow exit in foundation and abutments (at river valley sides and concrete structures). It also can be examined through the measurements of seepage quantities collected from particular dam sections and total seepage amount collected from entire structure. Seepage regime monitoring can be performed as manually as by means automated systems for both instrumentation and visual observations. Nowadays, instrumental monitoring of seepage through earthen dam is based on piezometric levels and seepage amounts measurements.

In respect of earth dams reliability and safety seepage regime can be determined either allowable or unallowable. When proper arrangements are made allowable seepage regimes may be considered as safe. On the contrary, unallowable regimes are always hazardous for structure operation [9]. When designing a dam, only allowable seepage regimes are considered as design cases. Typically those are steady seepage flow defined with specified constant boundary conditions as well as non-steady seepage flow appearing due to either non-stationary conditions on seepage boundaries or changing of soil voids volume (like in the case of clay soils consolidation) [9].

For earthen dams under operation seepage regime can vary at different time periods. Some seepage regimes can happen to be unallowable ones that under certain circumstances may lead to disaster. One of the most hazardous unallowable seepage regime in earthen dams is piping [1, 6–8, 20], when in some reason, for instance, due to various defects such as insufficient soil compaction, cracking caused by differential settlement, animal burrowing, concentrated seepage flow appears. Piping

is characterized with high flow velocities and gradients that can end up in either deterioration or collapse of dam body or foundation.

In many cases, unallowable seepage regimes, unlike allowable ones that are design load cases, cannot be determined unambiguously. They can appear both spontaneously, due to internal processes, and in a random way when caused by various external factors. Most of external factors, a priori, are uncertain and their influence on dam condition is ambiguous.

## 2. Case study

The earthen homogeneous hydraulic fill-type dam with maximum height 17.5 m and 500 m long is examined. Maximum head is 14.0 m. The dam is located on the floodplain of the Dnipro River. The upstream slope is faced with reinforced concrete 20 cm thick slabs. On the downstream side of the dam toe drain with stone pitching having total thickness 0.5 m (including 0.2 m thick riprap) was provided. V-ditch drain with average depth 0.6 m collects seepage water.

For the most part of its length the dam rests on stratified soils (about 10 m thick) including permeable alluvial sands underlain with tight silty sand stratum that is the local confining bed. The interface of dam body with bedrock foundation is the most complex section of the structure. That is a boundary between two strata with different geological origins: limestone and sedimentary sands. Limestone is highly karstified with filling of karst caverns with sandy and muddy deposits. That stratum is characterized with strong anisotropy of its permeability. Hydraulic conductivity of the stratum ranges from 1 to 400 m per day.

Due to complex geology several seepage control devices were employed such as impervious blanket over the contact surface of sandy soil and limestone and two grout curtains. On the terrain behind the dam there are also relief wells draining limestones in the dam foundation.

From the beginning of the dam operation seepage monitoring have been provided including piezometric levels and seepage quantities measurements. About 10 years ago the dam was equipped with automated monitoring system (AMS). By means AMS piezometric measurements are performed with hourly frequency. But as AMS operation isn't tuned perfectly piezometric levels time series comprise numerous suspected readings. Therefore, there is a doubt about data acquisition continuity and consistency. There are quite long gaps in time series that contributes to increasing complexity of the problem of piezometric levels behavior analysis. Along with automated control manual piezometric measurements are performed but with lower frequency (once or twice per month). In general, despite manually measured piezometric levels are more trustworthy, obtained datasets of piezometric readings are found to be incomplete.

Currently measurements of seepage flow quantities are performed in a manual way only. Cipolletti weir installed in the drain ditch is used for flow control. Measurements are performed with frequency once per month.

For a long time within downstream shoulder of 50 m long dam section near the left bank high elevations of phreatic surface are registered by piezometric grid. Periodically phreatic surface emerging on the slope occurs. There are also visual signs of high position of ground water on this area such as water saturation of soils in toe zone (actually, signs of waterlogging) and heavy grass greening. In winter time in the case of severe frosts freezing of toe drain as well as piezometers in near-



drainage area was detected. All those processes are observed periodically but from the very beginning of dam operation, actually from the first impoundment. Simultaneously, seepage discharges reduction is observed with consistent declining trend in measured seepage quantities collected with drainage ditch. For instance, during the period from the end of 1950<sup>th</sup> to 1992 average seepage quantity has decreased by nearly 7 times. Reduction of seepage quantities is being observed in the following years till nowadays.

All above-mentioned effects, processes, circumstances and tendencies can be interpreted as ambiguous ones. They are unless harmful, then unwanted at least. In general, according to all those signs it can be definitely said merely that the seepage regime in the dam section is quite complex and it needs to be analyzed. But it would be wrong to conclude decisively whether the regime is allowable or unallowable until the causes of observed effects and phenomena as well as conditions under which those processes can turn into endangering ones are determined.

### **3. Objective and tasks**

The causes of poor seepage performance of earthen dams may be different. Unallowable seepage situation may arise gradually, for instance, due to changes of soils permeability following with stratification or hydraulic conductivity anisotropy. Those changes can be caused by long-term developing of internal erosion within some sections and clogging within others. As well as due to freezing of downstream dam shoulder kind of confined seepage flow may occur. Enhanced infiltration resulting from torrential precipitation or rapid snow melting when snow falls on non-frozen dam slope may have adverse effect on seepage regime too.

Construction errors and violation of operation rules can also affect negatively dam seepage regime. In each instance these may be the most various causes, conditions and circumstances resulting in seepage situation that could become endangering for dam condition. Some effects and processes determining newly formed seepage regime can be long-lasting that still keep developing, others can be comparatively short-lasting but periodically appearing.

Among the factors that might complicate seepage performance significantly are as follows: complex geology of foundation and river valley sides, malfunctioning of seepage control or drainage features, inadequately employed types of seepage control measures, interaction of seepage flow through dam body and foundation with other structures including concrete ones.

In order to estimate the influence of seepage on the current dam condition it's essential to identify actual seepage regime in terms of its allowability. It must be also taken into account that data of instrumental measurements (piezometric levels and seepage amounts) are imperfect. Data series may contain readings that are of concern (so called suspected readings). The same can refer to uncertainty, ambiguity and fuzziness of engineering and geophysical surveys data, field and laboratory testing data of conductivity of soils in dam body and foundation, that, may happen, do not reflect the actual situation because soil properties have been changed.

Consequently, there is a need to identify the real seepage computational model of earthen dam with regard to those changes as well as actual condition of seepage control and drainage devices. It's also crucial to determine causes of unwanted effects observed and to reveal the conditions and circumstances under what seepage may be judged as unallowable for the dam.

Accordingly, the main task of the research was set as identification of the current seepage regime and its estimation in terms of its allowability. The task of determining the causes of unwanted effects is also posed. The objective of this paper is to present approaches and techniques that can be employed for seepage regime identification amidst imperfect information that implies lack of information, data uncertainty, ambiguity and different kinds of fuzziness.

## **4. Methodology and results**

### **4.1. Some general considerations in regards to the problem of identification of mathematical model of seepage in earthen dam**

Earthen dams are complex dynamic systems. Dam condition keeps changing continuously and seepage is one of the main causes of the changes [7, 8, 14, 17, 20, 21]. Therefore different mathematical seepage models may correspond to certain periods of earth dam operation.

Operational particularities and load conditions, system configuration and input variables used for development of mathematical model of existing earthen dam may be not fully adequate to corresponding design values. In fact they are only partially determined. Perhaps, dam geometry and variables characterizing long-term external loads outlined in design requirements and operation regulations can be considered as well-defined parameters.

Such input variables and factors as general operational particularities, real configuration and true condition of seepage control and drainage features as well as permeability characteristics of individual layers of dam fill and foundation are still not specified or weak-defined. All those factors and parameters that determine current dam operational particularities, real system entities and parameters (coefficients) of dam seepage computational model are needed to be additionally evaluated or revised according to the real situation [14–16, 21].

Evaluation or redetermination of operational particularities, real system configuration and parameters (coefficients) in order to refine computational model with the use of performance data obtained through field investigations or laboratory tests is conventionally termed as identification of the system model. In this case model to be identified is exactly the model that will be used for direct structure analysis for the purpose of estimation of current structure condition and forecasting of its behavior.

The problem of computational (numerical, mathematical) model identification of system, structure, process, effect etc. is so called inverse problem that is referred to ill-posed problems [22]. The salient feature of that kind problems is solution instability or uncertainty. It means multiple valid solutions exist when different operational particularities, system entities and model parameters (coefficients) may correspond to same inputs (observational data). In order to simplify the problem of identification of seepage regime in earthen dam it's suggested to decompose it. Following the approach of L. Ljung [23] therefore several separated problems can be solved sequentially: the problem of operational particularities identification and the problem of system's structure and parameters identification. According to the approach, to solve the problem of identification of complex system model it isn't always necessary to follow strict mathematical methods. It's important to draw on implicit information that data sets contain. To set nonstandard requirements to the

model basing on a priori knowledge about the object studied and with respect to the purpose of modelling can be useful too.

#### 4.2. Identification of dam operational particularities

For more detailed analysis of the seepage situation possible three-dimensional effects in seepage flow pattern should be estimated.

The earthen dam studied has sufficient length (500 m) but it abuts upon parent rock having complex geology on its left side and concrete structure (ship lock) on its right side. Hence influence of adjacent structures and geological features on general seepage flow pattern and notably on seepage flow exit conditions can't be excluded.

To examine the spatial pattern of seepage flow through dam body graphical techniques were employed such as contour map of groundwater level constructing based on piezometric readings [2].

Several ground water flow maps were plotted for typical observed cases of phreatic surface position registered by piezometric grid on various dates referred to different seasons and different years of dam operation. An example of groundwater contour map for one of the cases considered is given in fig. 1.

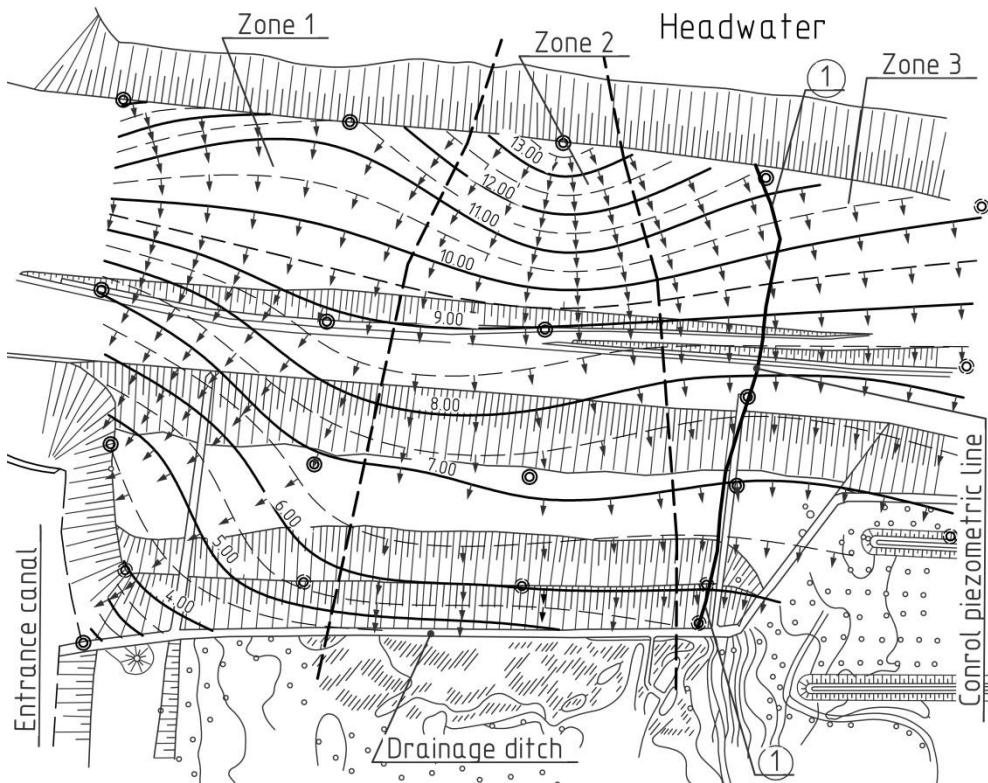


Fig. 1 – An example of the contour map of groundwater levels observed in the earthen dam body

Generally, within obtained groundwater contour maps three specific zones can be revealed that differ in flow lines directions as follows:

- Zone #1 having curvilinear shaped stream lines with free subaqueous exit of seepage flow under tailwaters table;
- Zone #2 with parallel linear-like evenly spaced stream lines in near exit section;
- Zone #3 with curved stream lines crowded with stream lines partially directed from zone #2 and from the seepage flow through rock abutment.

Similarly shaped contour maps characterized with three defined specific zones were obtained for all operational cases considered regardless to year and season. But bearing in mind area topography in the dam site, dam abutting upon bedding rock and ship lock, seepage pattern with stream lines bended towards the tail race canal within all three zones of earthen dam body would be more appropriate to the situation under condition of drainage facilities efficient performance.

According to seepage net pattern obtained (fig. 1) it can be assumed that seepage flow concentrated within zone 2 complicates seepage water exit conditions in zone 3. That is exactly the dam section where abnormal seepage regime is observed and signs of slope deterioration were found out. Merge of differently directed seepage flows within examined dam section results in seepage waters being concentrated in a small area. To summarize, dam seepage regime shows tangible three-dimensional effects. Hereafter, when separately considered, seepage regime in zone 3 can be assumed as two-dimensional but complicated by zone 2 flow exit conditions.

In such cases to judge whether current seepage regime is allowable or unallowable it's indispensable to estimate operability of seepage control and drainage features since they intended to reduce seepage flow and its detrimental influence to dam fill. Besides, those facilities are among the main structural elements of earthen dam that determine its seepage computational model.

### **4.3. Seepage computational model identification**

Simulation modelling is one of the most efficient techniques of structural-parametric identification of models of complex systems that earthen dams are [7, 8, 14, 17, 20, 21].

For seepage model identification typically soil properties are the parameters to vary [21] such as hydraulic conductivity of dam fill and foundation strata [15, 16]. When modelling an existing structure that has performance data calibrating the seepage model to measured performance is employed that implies varying (simulating) of model parameters until the modeled behavior closely approximates the measured behavior (piezometric levels and seepage amounts).

While calibrating the model, system entities can also be varied. In order to do that different seepage models e.g. hydraulic type schemes can be used as separated simulations [14]. It is assumed that structure while in operation can experience structural changes due to either suffusion or clogging developing in certain zones or malfunctioning of its structural elements (primarily seepage control and drainage features).

Notably that it's quite enough to identify hydraulic conductivity of the only layer which piezometers installed in (in the case studied that's the dam fill) and starting out from it instead of varying permeability of each stratum it's reasonable to simulate the ratio between already identified hydraulic conductivity value and permeability of other layers [14].

### 4.3.1. Hydraulic conductivity value identification

The following mathematical model of two-dimensional steady seepage flow can be used for identification of hydraulic conductivity of dam fill along control piezometric line (fig. 1) on the basis of piezometric readings taken at different timepoints:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_c \frac{\partial H}{\partial x} \right) = \frac{\partial H}{\partial t}; \quad H(x,0) = H_0(x), \quad 0 \leq x \leq l;$$

$$H(0,t) = H_1(t), \quad 0 \leq t \leq t_1; \quad H(l,t) = H_2(t), \quad 0 \leq t \leq t_1, \quad (1)$$

where  $k_c$  is hydraulic conductivity;  $H(x, t)$  is hydraulic head at a point  $x$  in seepage domain at timepoint  $t$ ;  $l$  is boundary  $x$  - coordinate of computational domain.

Technique of substitution can be applied to solve the problem of identification  $k_c$  with the use of model (1). It's based on solving of series of direct problems through varying of hydraulic conductivity of particular zones of dam fill and foundation (see example in [16]). Numerical solution of the direct problem can be found by using implicit approach of finite difference method (FDM).

For this purpose partition of the seepage domain using a fine grid is conducted followed by piecewise line approximation of function representing piezometric heads in grid nodes. The series of direct problems for different dam sections are solved. Hydraulic conductivity simulation is performed until difference between computed and observed piezometric levels will exceed desired accuracy value.

Sufficient frequency of piezometric measurements providing with automated monitoring systems (daily or even hourly measurements) enables solving the problem of hydraulic conductivity identification. For steady gradually varied seepage flow described by Darcy equation hydraulic conductivity identification can be performed as follows.

Piezometer responds to headwater changes with a delay (time lag). It's assumed that response delay time depends on average seepage velocity within dam body section from entrance point to the corresponding reference piezometer where hydraulic conductivity is controlled. It was suggested that time lag  $t_L$  approximately equals to travel time seepage flow needs to cover the distance  $\Delta S$  along the stream line from entrance to the piezometer location. Then hydraulic conductivity of soil within that domain can be expressed as:

$$k_c = \frac{\Delta S^2 \cdot t_L}{\Delta H}, \quad (2)$$

where  $\Delta H$  is difference (drop) between headwater in reservoir and piezometer water level.

Based on observational data of reservoir water and reference piezometer water levels cross-correlation function was plotted (See fig. 2). Lag value is taken to be equal to timespan until piezometer level response initiated by headwater changing is finally stabilized [19]. It should be noted that degree of correlation between headwater and piezometric level may depend both on test sample size and behavior of reservoir water level for instance rising or lowering (corresponding to reservoir

refilling and drawdown). Accuracy of time lag evaluation depends on measurements frequency significantly too. The higher frequency is the better.

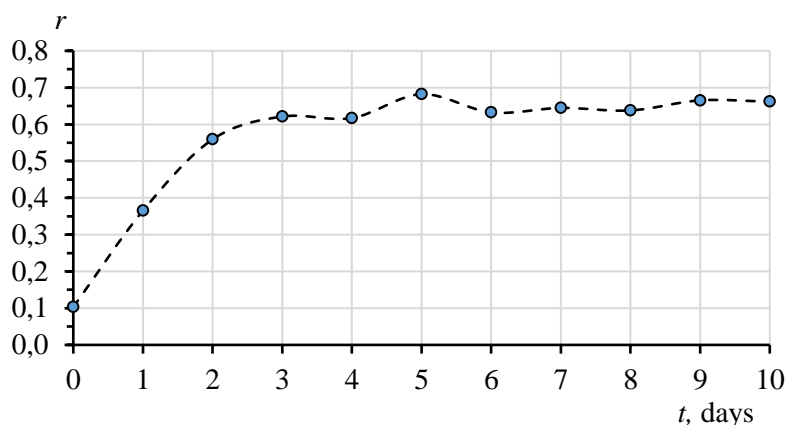


Fig. 2 – An example of cross-correlation function between reservoir and piezometer levels

Taking into account headwater behavior and other factors that determine distinctive features of seepage process and lag effects as well gives an interval estimation of average hydraulic conductivity within seepage domain. In the case studied simulation modelling resulted in average hydraulic conductivity values within the examined dam section along control piezometric line ranging from 8,5 to 14,7 m per day depending on reservoir behaviour. Largely results of identification of hydraulic conductivity of the dam section are consistent with design value of dam fill hydraulic conductivity 8,6 m per day adopted in the dam design project.

#### 4.3.2. Computational model identification

Guiding by a priori knowledge about both dam design and operation particularities to solve the problem of system structural identification the set of “candidate models” [23] was selected. Such model set is used to choose from it the most probable actual model corresponding to monitoring data. Different hydraulic seepage schemes of the dam were considered as candidate models [14].

Computational seepage model calibration was performed by simulating (varying) of the ratio of hydraulic conductivities of the strata having different permeability by reference to already identified hydraulic conductivity of the dam fill. As foundation is stratified averaged hydraulic conductivity for several similar type soil layers for instance for several sandy layers was assigned.

Given uncertainty in regards to current condition of seepage control and drainage features different scenarios of facilities operability are considered in simulation modelling such as cases of proper operability of those features (like seepage computational model of dam equipped with drainage ditch) and their non-operability (like seepage computational model of dam with no drainage).

Sensitivity analysis was conducted to test effects of other features that can be present in the dam. As a result, several computational hydraulic type “candidate models” [2] were selected. Those are seepage schemes with different types of

seepage control features (upstream blanket, inclined upstream core, grout curtain) and drainage features (sloped drainage, drain ditch and no drainage). It was assumed that steep phreatic line drop within upstream shoulder, that similar to effect of conventional impervious upstream core and upstream blanket, can also be caused by clogging of upstream sections of dam body and foundation as well as by deposition of silts over the upstream facing and on the bottom near the dam heel. Such deposits are often observed on earthen dams under long-term operation when providing diver inspections.

Simulation modelling representing different seepage computational situations was performed by means of finite element based software RocScience 6.037. Since seepage plane mapping (fig. 1) demonstrates spatial flow pattern to provide applicability of 2-D analysis a section view along the control piezometric line was constructed. Selected control line (polygonal chain 1-1 in fig. 1) goes through as many piezometers in the instrumented cross section as possible.

With the use of simulation modelling it was revealed that seepage computational model that incorporates homogenous earthen dam body resting on pervious foundation (of limited thickness) having upstream inclined core and short upstream blanket and with no drainage reproduces most accurately measured seepage performance (i.e. phreatic line position) in the cross section considered. So that seepage computational model can be identified as the most realistic one. In general, observed seepage regime can be identified as allowable one since it refers to one of the adopted seepage schemes of earth dam.

Varying of seepage computational models (as a means of sensitivity studies) provided useful insights in regards of each structure element effect on seepage performance. Thus was determined that either proper or poor operability of grout curtain hasn't significant influence on phreatic line position in dam downstream shoulder. On the contrary, drainage system operability affects the most phreatic surface position within dam toe where seepage waters emerging on the slope is being observed.

Consequently the hypothesis of poor efficiency of the existing drainage system (toe drain with ditch) was proved and hence insufficient dam draining was concluded. It was found out in computational model sensitivity analysis in regards of drainage parameters that 2.0 m deep drain ditch effects in sufficient phreatic line lowering within toe zone and thus providing allowable seepage regime and normal dam condition.

## **Conclusions**

The problem of seepage regime identification in earthen dam was considered. The solution of the problem based on visual and instrumental observations in terms of data ambiguity and uncertainty regarding either dam condition, soils permeability or seepage control and drainage features operability both in dam body and foundation is proposed. Decomposing of the problem of seepage computational model identification was performed following by several separated problems solving sequentially: the problem of operational particularities identification and the problem of system's structure and parameters identification.

While investigating, the seepage computational model was understood as some simplification or generalized conceptualization of hydraulic type seepage scheme representing particularities of seepage performance of the dam. Hydraulic type

seepage scheme usually incorporates soils' permeability characteristics of dam body and foundation as well as seepage control and drainage features presence that, when taken all together, determine dam seepage performance. It was assumed real seepage computational model may be not equivalent to that one foreseen in the project due to real soils' permeability characteristics that are always uncertain and ambiguous initially and because of different processes in the dam body, foundation and other structure elements developing during dam operation.

The technique of identification of dam fill hydraulic conductivity was presented based on correlation analysis of piezometric readings. Contour maps of groundwater levels were examined as well as simulation modelling was conducted with the purpose to determine the most probable seepage computational model reproducing measured seepage performance.

It was proved that identified seepage regime by reference to current condition of seepage control and drainage features meets general allowability criteria. Poor efficiency of existing drainage system (that includes toe drain and ditch) was determined as the main cause of adverse effects within dam downstream shoulder.

## REFERENCES

1. Гольдин А.Л., Рассказов Л.Н. Проектирование грунтовых плотин. Москва: Энергоатомиздат, 1987. 304 с.
2. Аравин В.И., Носова О.Н. Натурные исследования фильтрации (теоретические основы). Ленинград: Энергия, 1969. 258 с.
3. Dam failures – statistical analysis. Bull. No. 99. Int. Commission on Large Dams (ICOLD). Paris. 73 p.
4. Zhang L.M., Xu Y., Jia J.S. Analysis of earth dam failures – A database approach First International Symposium on Geotechnical Safety & Risk. Oct. 18-19, 2007 Shanghai, Tongji University, China. p. 293-302. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.665.5064&rep=rep1&type=pdf>
5. Evaluation and Monitoring of Seepage and Internal Erosion: Interagency Committee on Dam Safety (ICODS)/ FEMAP-1032 / May 2015 / Fed. Emergency Management Agency. 576 p. URL: <https://www.fema.gov/media-library-data/1436889238781-1b63946bfc27bab5d85f7f95a66ce35/FEMAP1032.pdf>
6. Transactions of the 19-th Int. Congress on Large Dams. Vol. 3, Q. 74. 26-30 May. Florence-Italy. 1997.
7. Векслер А.Б., Ивашинцов Д.А., Стефанишин Д.В. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений. С.-Петербург : ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2002. 591 с.
8. Малаханов В.В. Техническая диагностика грунтовых плотин. Москва: Энергоатомиздат, 1990. 120 с.
9. Чугаев Р.Р. Гидротехнические сооружения. Ч.1. Глухие плотины. Москва: Агропромиздат, 1985. 318 с.
10. Goubet A. Risques associés aux barrages. *La Houille Blanche*. 1979. N. 8. P.P. 475-490.
11. Аравин В.И., Нумеров С.Н. Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде. Москва : Гостехиздат, 1953. 616 с.
12. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. Москва: Наука, 1977. 664 с.
13. Гладкий А.В., Ляшко И.И., Мистецкий Г.Е. Алгоритмизация и численный расчет фильтрационных схем. Киев : «Вища школа», 1981. 288 с.
14. Стефанишин Д.В. К оценке эксплуатационной надежности грунтовых плотин. *Гидротехническое строительство*. 1993. №8. С. 25-32.



15. Ивашинцов Д.А., Соколов А.С., Шульман С.Г., Юделевич А.М. Параметрическая идентификация расчетных моделей гидротехнических сооружений. С.-Петербург: ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 2001. 432 с.
16. Король В.В., Стефанишин Д.В. Параметрична ідентифікація математичних моделей процесів в гідротехнічних спорудах. *Математичне та комп'ютерне моделювання. Зб. наук. праць*. Кам'янець-Подільський національний університет, Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України; [редкол.: А. Ф. Верлань (відп. ред.) та ін.]. К.-Подільський: К.-Подільський національний університет, 2008. Вип. 1. С. 100-109.
17. Стефанишин Д.В. Про один підхід до оцінки стану земляної греблі, що перебуває в постійній експлуатації, за даними регулярних п'єзометричних спостережень. *Гідроенергетика України*. № 3. 2012. С. 27-32.
18. Jung In-Soo, Berges M., Garrett J.H.Jr, Kelly Ch.J. Interpreting the Dynamics of Embankment Dams through a Time-Series Analysis of Piezometer Data Using a Non-Parametric Spectral Estimation Method. *Computing in Civil Engineering*. 2013. P.P. 25-32.
19. Стефанишин Д.В., Дем'янюк А.В. Обґрунтування базової діагностичної моделі для контролю й прогнозування фільтрації в тілі земляної греблі за даними регулярних п'єзометричних спостережень. *Екологічна безпека та природокористування. Зб. наук. праць*. Вип. 24 (№ 3-4). Київ: ІТГП НАНУ, КНУБА, 2017. С. 138-147.
20. Ageing of dams and appurtenant works. Int. Commission on Large Dams (ICOLD). Committee on ageing of dams. Cairo, November, 1993.
21. Design Standards No. 13. Embankment Dams DS-13(8)-4.1: Phase 4 (Final) Jan. 2014 Chapter 8: Seepage. URL: <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/designstandards-datacollectionguides/finals-pdfs/DS13-8.pdf>
22. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. Москва : Наука, 1979. 285 с.
23. Льюнг Л. Идентификация систем. Москва: Наука, 1991. 431 с.

## REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Goldin, A. L., Rasskazov, L. N. (2001). Design of earth dams. Moscow, Energoatomizdat, 304 p. (in Russian).
2. Aravin, V. I., Nosova, O. N. (1969). Field Studies of Seepage (Theoretical Fundamentals). Leningrad, Energiya, 258 p. (in Russian).
3. Dam failures – statistical analysis. Bull. No. 99. Int. Commission on Large Dams (ICOLD). Paris. 73 p.
4. Zhang, L. M., Xu, Y., Jia, J. S. (2007). Analysis of earth dam failures – A database approach First International Symposium on Geotechnical Safety & Risk. Shanghai, Tongji University, China, 293-302. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.665.5064&rep=rep1&type=pdf>
5. Evaluation and Monitoring of Seepage and Internal Erosion: Interagency Committee on Dam Safety (ICODS)/ (2015). FEMA P-1032. Federal Emergency Management Agency. Retrieved from <https://www.fema.gov/media-library-data/1436889238781-1b63946bfc27bab5d85f7f95a66ce35/FEMAP1032.pdf>.
6. Transactions of the 19-th Int. Congress on Large Dams. (1997). Vol. 3, Q. 74. Florence-Italy.
7. Veksler, A. B., Ivashintsov, D. A., Stefanishin, D. V. (2002). Reliability, social environmental safety of hydraulic structures: risk assessment and decision making. S.Pb, VNIIG named after B.E. Vedeneev, 591 p. (in Russian).
8. Malahanov, V. V. (1990). Technical diagnostics of earth dams. Moscow: Energopromizdat, 120 p. (in Russian).
9. Chugaev, R. R. (1985) Hydraulic structures. Part 1. Non-overflow dams. Moscow, Agropromizdat, 318 p. (in Russian).

10. Goubet A. (1979). Risques associés aux barrages. La Houille Blanche. N. 8, 475-490.
11. Aravin, V. I., Numerov, S. N. (1953). Theory of motion of liquids and gases in a non-deforming porous medium. Moscow, Gostechizdat, 616 p. (in Russian).
12. Polubarinova-Kochina, P. Ya. (1977). Theory of Ground Water Movement. Moscow, Nauka, 664 p. (in Russian).
13. Gladkiy, A. V., Lyashko, I. I., Mistetskiy, G. E. (1981). Algorithmization and Numeric Calculation of Filtration Schemes, Vyscha Shkola, Kyiv, 288 p. (in Russian).
14. Stefanyshyn, D. V. (1993). Assessing the operational reliability of earth dams. Hydrotechnical Construction. №8, 25-32. (in Russian).
15. Ivashinsov, D. A., Sokolov, A. S., Shulman, S. G., Yudelevich, A. M. (2001). Parametric identification of hydraulic structural design models. S.Pb, VNIIG named after B. E. Vedeneev, 432 p. (in Russian).
16. Korol, V. V., Stefanyshyn, D. V. (2008). Parametric identification problems of mathematical models of hydraulic structures. Mathematical and numerical modeling. Issue 1, 100-109. (in Ukrainian).
17. Stefanyshyn, D. V. (2012). About an approach to assess of technique at earth dam in permanent operation according to data of regular piezometric observations. Hydroenergy of Ukraine, № 3, 27-32. (in Ukrainian).
18. Jung In-Soo, Berges, M., Garrett, J.H.Jr, Kelly, Ch.J. (2013). Interpreting the Dynamics of Embankment Dams through a Time-Series Analysis of Piezometer Data Using a Non-Parametric Spectral Estimation Method. Computing in Civil Engineering. 25-32.
19. Stefanyshyn, D. V., Demianiuk, A. V. (2017). Justification basic diagnostic model for control and forecast seepage through earthfill dams according to regular piezometric observations. Environmental safety and natural resources, №24 (№ 3-4), 138-147. (in Ukrainian).
20. Ageing of dams and appurtenant works. (1993). Int. Commission on Large Dams (ICOLD). Committee on ageing of dams. Cairo.
21. Design Standards No. 13 Embankment Dams DS-13(8)-4.1: Phase 4 (Final). (2014). Chapter 8: Seepage. Retrieved from <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/designstandards-datacollectionguides/finals-ds13-8.pdf>
22. Tikhonov, A. N., Arsenin, V. Y. (1979). Methods of solving of ill-posed problems. Moscow: Nauka, 285 p.
23. Ljung, Lennart. (1987). System identification: Theory for the user. Prentice-Hall, Inc, 255 p.

*The article was received 22.03.2019 and was accepted after revision 09.04.2019*

**А.В. Дем'янюк, Д.В. Стефанишин**

### **ІДЕНТИФІКАЦІЯ РЕЖИМУ ФІЛЬТРАЦІЇ НА ЗЕМЛЯНІЙ ГРЕБЛІ В УМОВАХ НЕПОВНОТИ ДАНИХ**

**Анотація.** Розглянуто один випадок ідентифікації режиму фільтрації на земляній греблі. Рішення базується на даних візуальних та інструментальних спостережень з урахуванням неоднозначності та невизначеності інформації про стан греблі, щодо проникності ґрунтів, працездатності протифільтраційних та дренажних пристроїв у тілі дамби та в її основі. Запропоновано методику визначення значення коефіцієнта фільтрації ґрунту тіла земляної греблі на основі кореляційного аналізу даних п'єзометричних спостережень. Для спрощення задачі ідентифікації режиму фільтрації досліджено планову картину рівнів підземних вод в тілі греблі. Здійснено імітаційне моделювання для визначення найбільш вірогідної фільтраційної схеми греблі, що найкращим чином відповідає натурним даним. Особлива увага приділялася врахуванню роботи протифільтраційних і дренажних пристроїв. Було підтверджено, що режим фільтрації на земляній греблі відповідає критеріям допустимості.

**Ключові слова:** неоднозначність і невизначеність; дані спостережень; земляна гребля; ідентифікація; недосконала інформація; фільтрація; режим фільтрації; розрахункова модель фільтрації; імітаційне моделювання

**Дем'янюк Алла Володимирівна**

старший викладач кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки Національного університету водного господарства та природокористування (НУВГП)

**Адреса робоча:** 33028 Україна, м. Рівне, вул. Соборна, 11

**Стефанишин Дмитро Володимирович**

доктор технічних наук, провідний науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ, професор кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки Національного університету водного господарства та природокористування (НУВГП)

**Адреса робоча:** 33028 Україна, м. Рівне, вул. Соборна, 11

**e-mail:** *d.v.stefanyshyn@nuwm.edu.ua*

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7620-1613>

## ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ NATURAL RESOURCES

УДК 504.062+556:528.8

**Oleksandr M. Trofymchuk**<sup>1</sup>, Corresponding member of NASU, D. S. (Engineering),  
Professor, Director of the Institute  
ORCID ID 0000-0003-3782-4209 *e-mail: itelua@kv.ukrtel.net*

**Gryhorii Ya. Krasovsky**<sup>2</sup>, D. S. (Engineering), Professor, Head of the Department

**Valentyn V. Radchuk**<sup>1</sup>, D. S. (Geology), Head of the Department

**Vasil M. Trysnyuk**<sup>1</sup>, D. S., Head of the Department of environment research  
ORCID ID: 0000-0001-9920-4879 *e-mail: tryсныuk@ukr.net*

**Igor V. Radchuk**<sup>1</sup>, PhD, Senior Research Scientist  
ORCID ID: 0000-0003-4999-1258 *e-mail: igor.radchuk.v@gmail.com*

**Dmytro L. Kreta**<sup>1</sup>, PhD, Senior Research Scientist  
ORCID ID 0000-0001-5897-0008 *e-mail: dim.leo@gmail.com*

**Snizhana A. Zagorodnya**<sup>1</sup>, PhD, Senior Research Scientist  
ORCID ID: 0000-0002-4332-4211 *e-mail: zagorodnya.s@gmail.com*

**Natalia A. Sheviakina**<sup>1</sup>, PhD, Senior Research Scientist  
ORCID ID: 0000-0002-5984-5580 *e-mail: novokhatska.natalia@gmail.com*

**Viacheslav O. Okhariev**<sup>1</sup>, PhD, Senior Research Scientist  
ORCID ID: 0000-0001-6270-6293 *e-mail: okhariev.vo@gmail.com*

**Taras V. Trysnyuk**<sup>1</sup>, PhD, Senior Research Scientist  
ORCID ID: 0000-0002-3672-8242 *e-mail: tryсныuk@ukr.net*

**Viktor O. Shumeiko**<sup>1</sup>, PhD, Lecturer  
ORCID ID: 0000-0002-0285-4566 *e-mail: shym1983@ukr.net*

**Oleksandr V. Atrasevych**<sup>1</sup>, Postgraduate student  
ORCID ID: 0000-0001-7703-8494 *e-mail: atras@ukr.net*

**Viacheslav Y. Vishnyakov**<sup>3</sup>, PhD, Head of the Department  
ORCID ID: 0000-0003-2057-0505 *e-mail: wishnya\_dzz@ukr.net*

<sup>1</sup>Institute of Telecommunication and Global Information Space of NASU, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine

<sup>3</sup>Center for Special Information Reception and Processing and Navigation Field Control, Zalitsi Village, Dunaivtsi district, Khmelnytskyi Region, Ukraine

## FIELD RESEARCH OF ECOLOGICAL PARAMETERS IN BAKOTA BAY AREA

**Abstract.** Problem of hydrological research is conditioned by significant part of water reservoirs in landscape space of Ukraine. Nowadays there is an intensified natural and anthropogenic transformation in the local and regional levels of landscape. The problem that have scientific and economic significance is complex environmental assessment with creating of composite ecological indicators and research of hydrological ecosystems regularity. In this paper authors have determined regularities of the anthropogenic impact to ecological situation in the freshwater reservoirs of Ukraine. Also there were developed such scientific approaches as remote sensing methods, bathymetry, 3D-modelling of aquatic areas, water eutrophication researches. The theme of the paper is a review of the hydrological ecosystem field research. Research area is Bakota Bay in Dniester Canyon and adjacent territories. Main purpose of research is to evaluate potential reaction of environment to direct or indirect anthropogenic impact, as well as to solve problem of sustainable nature management according to expected state of environment. During the research of surface water in Dniester water area, a number of hydrophysical indicators have taken into account, as temperature fluctuations boundary, color, transparency, hydroacoustic and geomorphological data of the bottom relief in water area. Also some navigational hazards and sunken objects have determined.

As a result of research, some scientific approaches and methods have reasoned. For researched local geosystem, the anthropogenic impact assessment is grounded on distributed in space in time environmental monitoring data. Specifically, it consists of the synthesis of contact and remote monitoring methods. Spatially-distributed nature of monitoring data allows using the power of actual GIS-technologies, which provide a large variety of multidimensional spatial analyst tools for various pollution factors evaluation. Authors insist that echolocation-based bathymetry is important method for solving problems of water resource management on researched area, which has international importance in the frame of planned Dniester Canyon hydro power cascade construction.

**Keywords:** field research; environmental safety; influence assessment; water objects; remote sensing methods; geographical information systems

О.М. Трофимчук<sup>1</sup>, Г.Я. Красовський<sup>2</sup>, В.В. Радчук<sup>1</sup>, В.М. Триснюк<sup>1</sup>, І.В. Радчук<sup>1</sup>, Д.Л. Крета<sup>1</sup>, С.А. Загородня<sup>1</sup>, Н.А. Шевякіна<sup>1</sup>, В.О. Охарєв<sup>1</sup>, Т.В. Триснюк<sup>1</sup>, В.О. Шумейко<sup>1</sup>, О.В. Атрасевич<sup>1</sup>, В.Ю. Вишняков<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського, м. Харків, Україна

<sup>3</sup>Центр прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля, с. Залісці Дунаєвського р-ну Хмельницької обл., Україна

## ЕКСПЕДИЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ЗАТОКИ БАКОТА

**Анотація.** Стаття присвячена огляду результатів проведених експедиційних досліджень водних екосистем Дністровського каньйону, а саме затоки Бакота та прилеглих територій. Основною метою досліджень є оцінка можливої реакції навколишнього природного середовища на прямий чи опосередкований антропогенний вплив, а також вирішення задач раціонального

*природокористування у відповідності з очікуваним станом природного середовища. При проведенні досліджень поверхневих вод р. Дністер та затоки Бакота враховано низку гідрофізичних показників: межі коливання температури, кольоровості, прозорості, збирання гідроакустичних і геоморфологічних даних про рельєф дна в акваторіях та виявлення навігаційних небезпек та затонулих об'єктів.*

**Ключові слова:** експедиційні дослідження; екологічна безпека; оцінка впливу; водні об'єкти; методи дистанційного зондування Землі; географічні інформаційні системи

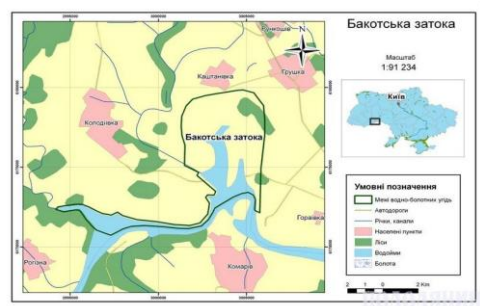
## Вступ

Забезпечення безпеки життєдіяльності населення, збереження навколишнього середовища в умовах кліматичних змін та зростання антропогенної діяльності в басейнах річок обумовлюють вирішення складних задач з прогнозування загроз надзвичайних ситуацій на прирічкових територіях, які відіграють визначальну роль в забезпеченні екологічної рівноваги в межах річкових басейнів. Водні об'єкти природно-заповідного фонду мають виключно важливе значення у формуванні ландшафту, функціонуванні природних біоценозів, збереженні генофондів наземних, напівводних та водних представників флори і фауни. Розвиток інтегрованої системи гідрофізичного, геологічного, екологічного дослідження, моніторингу та прогнозу стану водних об'єктів України та їх прибережних територій є актуальним для вирішення найгострішої проблеми сьогодення – дефіциту питної води.

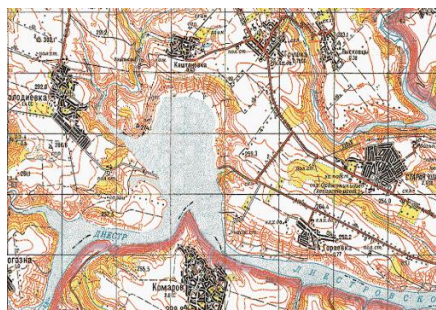
Сучасні підходи, реалізовані в середовищі геоінформаційних систем, є ефективним інструментом оперативного аналізу і прогнозу динаміки антропогенних, природних і соціальних факторів. На сьогодні виникає необхідність розвитку методології моніторингу об'єктів навколишнього середовища шляхом інтеграції міждисциплінарних методів аналізу даних дешифрування космознімків і лабораторно-польових вимірювань, ідентифікації інтегральних параметрів і встановлення причинно-наслідкових зв'язків виникнення екологічних загроз для екологічно безпечного управління екосистемами. Будь-які фундаментальні та прикладні наукові дослідження все більше потребують наочності в поданні їх результатів. Існує достатня кількість програмних пакетів, що дозволяють моделювати навколишнє середовище з високим ступенем достовірності і фотореалістичним графічним втіленням. Але оскільки досліджувані процеси і системи мають чітку просторову прив'язку, виникає необхідність всебічної інтеграції такого програмного забезпечення із сучасними геоінформаційними технологіями.

## Результати та їх обговорення

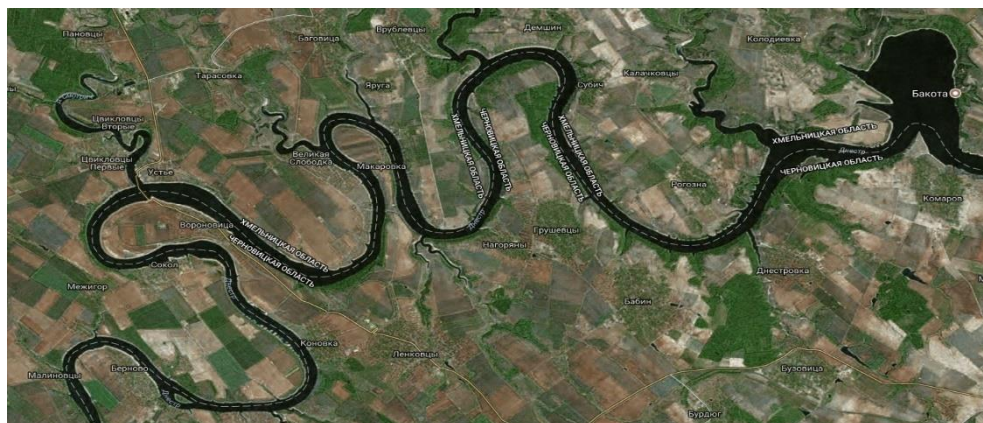
Співробітниками Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України в літній та осінній періоди 2018 року проводились експедиційні дослідження водних об'єктів Національного природного парку «Подільські Товтри», а саме затоки Бакота, здійснення батиметричної зйомки та дослідження екологічного стану прилеглих територій. Затока виникла у 1981 році після затоплення низинної ділянки р. Дністер у процесі заповнення Дністровського водосховища (рис. 1). Назва затоки походить від затопленого села Бакота.



а) Топографічна карта 1989 р.



б) Топографічна карта генштабу



в) Космічний знімок LANDSAT

Рис. 1 – Аналіз різночасових картографічних даних (а, б) та даних ДЗЗ (в) русла р. Дністер

**Мета експедиційних досліджень** – збір первинних даних на території НПП «Подільські Товтри» для забезпечення послідовності і безперервності досліджень екосистеми Дністровського каньйону, використовуючи сучасні методи і технології тематичного дешифрування космічних знімків водних об'єктів. Побудова батиметричних карт водних об'єктів як джерел комплексного водокористування.

Бакотська затока – водно-болотне угіддя міжнародного значення, що охороняється згідно з Рамсарською конвенцією [1]. Збереження природних цінностей угіддя забезпечується його входженням до складу Національного природного парку «Подільські Товтри». Територія національного природного парку належить до Західно-Подільської височинної області. Окрасою цієї території є Товтровий кряж, або «Товтри», який являє собою скелясте дугоподібне пасмо Західного Поділля. Довжина Товтр сягає 250 км (80 км у межах національного парку), ширина – 5–6 км, а абсолютні висоти коливаються від 400 до 436 м. Товтри являють собою бар'єрний риф міоценового моря, складений мшанковими, мембранопоровими та черепашковими вапняками. Аналогів їм у світі немає.

Відповідно до Рамсарської конвенції, специфіка збереження і збалансованого використання водно-болотних екосистем, цінних для збереження біологічного різноманіття та забезпечення існування людини, диктує доцільність синтезу проблемно-орієнтованих геоінформаційних

моделей в якості складових бази даних Державного кадастру природно-заповідного фонду України. Також актуальним завданням є оцінка стану екосистеми за такими параметрами, як забруднення земельних ресурсів та якість поверхневих і підземних вод, що є важливою складовою водозабезпечення території України [2, 3].

Дослідження водного об'єкта було розпочате з вивчення водозбірної площі. «Бакота» – це затока р. Дністер; висота над рівнем моря: мінімальна – 114 м, середня – 117,5 м, максимальна – 121 м. Площа: 1590 га. Розташована в каньйоні річки і репрезентує типові для басейну верхнього Дністра природні комплекси рослинності і тваринного світу [1, 2].

Обстеження берегової лінії затоки Бакота проведено при обході її по всьому периметру на човні (рис. 2). При цьому були досліджені обриси і форми берегів, склад берегів, наявність терасових виступів і берегових валів. По периметру берегової лінії водного об'єкта зафіксовані вапняки, мергелі, пісковики, сланці, а також граніти та гнейси, що перекриваються лесами. Відзначається близьким до поверхні заляганням порід кристалічного фундаменту. Поверхня берегів – це переважно підвищена полого-хвиляста лесова рівнина.



Рис. 2 – Обстеження берегової лінії затоки Бакота проведено при обході її по всьому периметру на човні

Ефективність контактних методів моніторингу поверхневих вод можна підвищити за рахунок застосування технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з космосу [4, 5]. Для виконання досліджень було отримано космічні знімки SENTINEL 14.08.2018, MODIS, LANDSAT, QUICK BIRD та ін. з просторово-роздільною здатністю від декількох дециметрів до декількох сотень метрів, які мають значний потенціал у сенсі їх використання для



вивчення багаторічної динаміки природних комплексів [6]. Для досліджень використовувались як архіви космічних знімків супутників, так і знімки за період проведення безпосередніх польових досліджень [7, 8]. При цьому використано функціонал сучасних технологій геоінформаційних систем (ГІС), що надають потужні інструменти багатомірного просторового аналізу впливовості різних факторів забруднення [9].

При проведенні досліджень поверхневих вод р. Дністер та затоки «Бакота» враховано низку гідрофізичних показників: межі коливання температури, кольоровості, прозорості, каламутності (зважені частинки). В цілому хімічні характеристики досліджуваних вод включають загальні показники й показники вмісту неорганічних речовин: величину рН, суму іонів (мінералізація), жорсткість, вміст окремих елементів сольового та біогенного складу [4].

Комплекс показників екологічної класифікації якості поверхневих вод включає загальні й специфічні показники, що характеризують ступінь забрудненості водного об'єкта. Вихідними даними для екологічної оцінки якості води є, насамперед, зведені й розрізнені результати систематичного контролю за якістю води у водних об'єктах України, котрі зібрані й оброблені мережею пунктів спостережень і лабораторій систем Мінприроди, Держгідрометслужби та Держводгоспу України. Загальні показники, до яких належать показники сольового складу й трофо-сапробності вод (еколого-санітарні), характеризують звичайні властиві водним екосистемам інгредієнти, концентрація яких може змінюватись під впливом господарської діяльності. Специфічні показники характеризують вміст у воді забруднюючих речовин токсичної й радіаційної дії [3, 4]. При обстеженні р. Дністер на території НПП «Подільські Товтри» виявлено інтенсивний шлейф скидів стічних вод, що підтверджено інтенсивним процесом евтрофікації та підвищеними показниками рівня рН і кислотності (рис. 3).



Рис. 3 – Місце скиду забруднених стічних вод р. Дністер НПП «Подільські Товтри», зафіксоване при натурних дослідженнях та на космічному знімку із супутника Sentinel від 14.08.2018 (роздільна здатність 3 м) час:11:40

Проведено відбір та вивчення донних відкладів досліджуваного водного об'єкта. Донні відклади були вивчені за візуальною оцінкою. У гідрологічний журнал експедиції були занесені дані про тип донних відкладів, їх колір і запах, характер донних відкладів прибережної частини, які не можна захопити лотом (каміння, гравій, галька); консистенцію відкладів (щільні, пухкі, рідкі), наявність включень рослинних і тваринних решток, черепашок молюсків тощо (рис. 4).

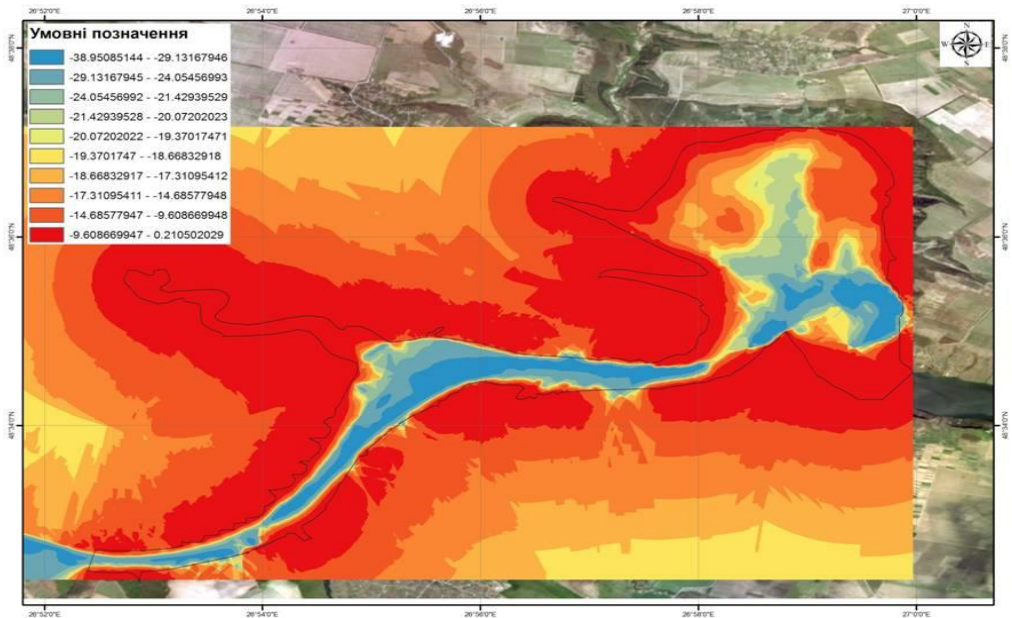


Рис. 4 – Відбір донних відкладів в акваторії затоки Бакота

Здійснено первинне вимірювання глибини, рельєфу дна та структури донних відкладів Бакоти. Методика проведення ехолокаційної батиметрії описана авторами в роботах [7, 10]. За результатами вимірів максимальна зафіксована глибина озера склала 38 м. Мінімальна з огляду на інформативність кількість точок вимірювань (з віддаллю між ними 500 м) перевищує сотню, робочий шлях без урахування підходів на потрібні курси становить близько 200 км, а кількість проб води вимірюється тисячами. Здійснено просторову прив'язку вимірювань, що дає змогу проводити коректне

поповнення баз даних та подання результатів вимірювань у форматі, придатному для використання у ГІС. Для проведення батиметричної зйомки о. Бакота використано надувний гумовий човен «Brig Baltic» КІВ – 5510К з двигуном «Mercury 25M SeaPro», на якому встановлено ехолот Lowrance: «LMS-527CDF IGPS». Робоча частота випромінювача звукових хвиль ехолота становить 200 кГц. Частота оновлення сигналу GPS-приймача 10 Гц. Об'єм кожного ехолотного профілю становить від 5 до 30 тис. вимірюваних значень, в залежності від частоти і часу запису в один файл. Кожне значення є інформацією про координати точки зйомки, глибину, дату і час ехолотного проміру, температуру поверхні води, зміщення відносно попередньої точки проміру та містить іншу допоміжну інформацію. У процесі обробки використовуються лише значення координат і глибин. Вибірка значень виконується так, щоб на кожен квадратний метр площі озера припадало одне усереднене значення глибини.

Здійснено просторову прив'язку вимірювань, що дає змогу проводити коректне поповнення баз даних та подання результатів вимірювань у форматі, придатному для використання у ГІС. Особливу увагу приділено математичному моделюванню, побудові 3D моделей досліджуваної території для прогнозування небезпечних процесів, що відбуваються в навколишньому природному середовищі, прогнозу тенденцій і темпів змін екологічного стану, а також створенню бази геоінформаційної системи оцінки рівня техногенних забруднень, яка орієнтована на підтримку рішень з питань охорони і раціонального використання природних ресурсів.



а) Обробка ехолокаційних даних модулем Geostatistical Analyst



б) Створення GRID-моделі на основі гідролокаційних даних

Рис. 5 – Результати обробки даних в програмному середовищі ArcGis, які отримані за допомогою методу гідролокації затоки Бакота (а, б)

### Висновки та практичне значення результатів дослідження

У результаті проведених досліджень обґрунтовано підходи, методи та науково-методологічні основи комплексного оцінювання інтенсивності і характеру антропогенного впливу на стан локальної геоекосистеми. За результатами первинних досліджень та проведеної ехолокації розроблено електронні батиметричні карти та 3D-моделі глибин затоки «Бакота», що дозволить створити безпечні умови судноплавства. Встановлено, що моніторинг глибин є важливою задачею для розв'язання проблем, пов'язаних з природоохоронними функціями водно-болотних угідь, що мають міжнародне значення, і прилеглих територій в контексті прогнозованого впливу запланованого будівництва каскаду малих ГЕС в межах Дністровського каньйону. При цьому від затоплень і підтоплень можуть постраждати не лише природоохоронні об'єкти з унікальними екосистемами, що підлягають захисту, а й численні поселення, що тяжіють до Дністра. Також регіональний підйом рівня води в долині р. Дністер призведе до підтоплення земель рівнинного лівобережжя з погіршенням якості ґрунтових вод як головного джерела питно-господарського водопостачання. У ході досліджень виявлено перспективи для подальших досліджень та можливості коректури карт за допомогою наземних та даних ДЗЗ, використовуючи інструментарій ГІС-технологій.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Паспорт водно-болотного угіддя міжнародного значення «Бакотська затока» сертифікат №1396 від 29.07.2004 р.
2. The Global Risks Report 2018, 13<sup>th</sup> Edition // World Economic Forum. – Geneva. – 2018. – 80 р.
3. Стратегія національної безпеки України [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/105/2007].
4. Техноекологія: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / В.М. Удод, В.В. Трофімович, О.С. Волошкіна, О.М. Трофимчук // КНУБА, Ін-т телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ. – К., 2007. – 195 с.
5. Красовський Г.Я. Космічний моніторинг безпеки водних екосистем із застосуванням геоінформаційних технологій. – К.: Інтертехнологія, 2008. – 480 с.
6. Інформатизація аерокосмічного землезнавства / В.І. Лялько, С.О. Довгий, О.М. Трофимчук [та ін.]; НАН України, Ін-т геол. наук, Центр аерокосм. досліджень Землі [та ін.]. – К. : Наук. думка, 2001. – 606 с.
7. Інформаційне забезпечення гідроакустичного моніторингу озер Західного Полісся [Трофимчук О.М., Мокрий В.І., Радчук В.В., Радчук І.В., Загородня С.А.] // Екологічна безпека та природокористування – К., 2015. – Вип. 1(17) – С. 5–15.
8. Загородня С.А. Геоінформаційні технології для екологічної оцінки природно-заповідних територій / С.А. Загородня // Екологічна безпека та природокористування. – 2016 – № 22 – С. 87–94.
9. Моніторинг навколишнього середовища з використанням космічних знімків супутника NOAA / [О.М. Трофимчук, В.В. Радчук, Г.Я. Красовський, І.В. Радчук] // Під ред. С.О. Довгого. – К., ФОП Пономаренко Є.В., 2013, 316 с.
10. GIS-based assessment of antropogenic influence in Western Polissya region Limnological ecosystems [Zagorodnya S.A., Novokhatska N.A., Okhariev V.O., Popova M.A., Radchuk I.V., Trysnyuk T.V., Shumeiko V.O., Atrasevych O.V.] // Екологічна безпека та природокористування – К., 2018. – Вип. 2(26). – С. 23–34.

Стаття надійшла до редакції 06.05.2019 і прийнята до друку після рецензування 05.06.2019

## REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. *Pasport vodno-bolotnogo ugiddja mizhnarodnogo znachennja «Bakots'ka zatoka»* (2004). [Sertyfikat №1396] (in Ukrainian).
2. The Global Risks Report 2018. (2018). In *World Economic Forum* (13th ed., 80 p.). Geneva.
3. *Strategija nacional'noi' bezpeky Ukrai'ny: Decree of the President of Ukraine*. (February 12, 2007). Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/105/2007 (in Ukrainian).
4. Udod, V. M., Trofimovych, V. V., Voloshkina, O. S., & Trofymchuk, O. M. (2007). *Tehnoekologija: Navch. posib. dlja stud. vyshh. navch. zakl.* Kyiv: KNUBA, In-t telekomunikacij i global'nogo informacijnogo prostoru NANU (in Ukrainian).
5. Krasovs'kyj, G. J. (2008). *Kosmichnyj monitoring bezpeky vodnyh ekosystem iz zastosuvannjam geoinformacijnyh tehnologij.* Kyiv: Intertehnologija (in Ukrainian).
6. Ljal'ko, V. Y., Dovgyj, S. O., & Trofymchuk, O. M. (2001). *Informatyzacija aerokosmichnogo zemleznavstva.* Kyiv: Naukova dumka (in Ukrainian).
7. Trofymchuk, O. M., Mokryi, V. I., Radchuk, V. V., Radchuk, I. V., & Zagorodnya, S. A. (2015). Information support of hydroacoustic monitoring of the Western Polesie lakes. *Environmental Security and Natural Resources*, 1(17), 5-14 (in Ukrainian).
8. Zagorodnya, S. A. (2016). Geographic information technology for environmental assessment natural-protected areas. *Environmental Safety and Natural Resources*, 3-4(22), 87-93 (in Ukrainian).

9. Trofymchuk, O. M., Radchuk, V. V., Krasovs'kyj, G. Y., & Radchuk, I. V. (2013). *Monitoryng navkolyshn'ogo seredovyshha z vykorystannjam kosmichnyh znimkiv suputnyka NOAA* (S. O. Dovgiy, Ed.). Kyiv: FOP Ponomarenko Je.V. (in Ukrainian).
10. Zagorodnya, S., Novokhatska, N., Okhariev, V., Popova, M., Radchuk, I., Trysnyuk, T., Shumeiko, V., & Atrasevych, O. (2018). GIS-based assessment of anthropogenic influence in Western Polissya region limnological ecosystems. *Environmental Safety And Natural Resources*, 26(2), 23-33. doi:http://dx.doi.org/10.32347/2411-4049.2018.2.23-33

*The article was received 06.05.2019 and was accepted after revision 05.06.2019*

**Трофимчук Олександр Миколайович**

член-кореспондент Національної академії наук України, доктор технічних наук, професор, директор Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

**Адреса робоча:** 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

**e-mail:** itelua@kv.ukrtel.net

ORCID ID 0000-0003-3782-4209

**Красовський Григорій Якович**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри геоінформаційних технологій і космічного моніторингу Землі Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського

**Радчук Валентин Васильович**

доктор геологічних наук, завідувач відділом досліджень навколишнього середовища Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

**Триснюк Василь Миколайович**

доктор технічних наук, завідувач відділом досліджень навколишнього середовища Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

**Адреса робоча:** 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

**e-mail:** trysnyuk@ukr.net

ORCID ID: 0000-0001-9920-4879

**Радчук Ігор Валентинович**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу досліджень навколишнього середовища Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

**Адреса робоча:** 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

**e-mail:** igor.radchuk.v@gmail.com

ORCID ID: 0000-0003-4999-1258

**Крета Дмитро Леонідович**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу досліджень навколишнього середовища Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

**Адреса робоча:** 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

**e-mail:** dim.leo@gmail.com

ORCID ID 0000-0001-5897-0008

**Загородня Сніжана Анатоліївна**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу досліджень навколишнього середовища Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

**Адреса робоча:** 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

**e-mail:** *zagorodnya.s@gmail.com*

ORCID ID: 0000-0002-4332-4211

**Шевякіна Наталя Анатоліївна**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу досліджень навколишнього середовища Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

**Адреса робоча:** 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

**e-mail:** *novokhatska.natalia@gmail.com*

ORCID ID: 0000-0002-5984-5580

**Охарєв Вячеслав Олександрович**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу природних ресурсів Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

**Адреса робоча:** 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

**e-mail:** *okhariev.vo@gmail.com*

ORCID ID: 0000-0001-6270-6293

**Триснюк Тарас Васильович**

кандидат технічних наук, науковий співробітник відділу прикладної математики Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

**Адреса робоча:** 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

**e-mail:** *trysnyuk@ukr.net*

ORCID ID: 0000-0002-3672-8242

**Шумейко Віктор Олександрович**

кандидат технічних наук, викладач Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

**Адреса робоча:** 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

**e-mail:** *shym1983@ukr.net*

ORCID ID: 0000-0002-0285-4566

**Атрасевич Олександр Валентинович**

аспірант Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

**Адреса робоча:** 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

**e-mail:** *atras@ukr.net*

ORCID ID: 0000-0001-7703-8494

**Вишняков Вячеслав Юрійович**

кандидат технічних наук, начальник відділу обробки даних ДЗЗ Центру прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля

**e-mail:** *wishnya\_dzz@ukr.net*

ORCID ID: 0000-0003-2057-0505

**Maria Eva Rosalyn**, Master of Arts in Communication  
*e-mail: evayorian@gmail.com*

**Dwinanto Kurniawan**, Master of Arts in Communication  
*e-mail: dwinanto@polytama.co.id*

London School of Public Relations, Jakarta, Indonesia

## **THE SOLUTION TO THE PLASTIC USAGE PROBLEMS; A STRONG CAMPAIGN FOR INNOVATIVE WASTE MANAGEMENT**

***Abstract.** Plastic pollution has become a huge environmental problem, prompting some cities and countries to heavily tax or ban the plastics products such as bags and straws. Hence, the purpose of this research is to provide knowledge into the effectiveness of campaigns using plastic and plastic waste, and provide an overview of a new innovative waste management. This research is also intended to introduce Masaro (Zero Waste Management), a CSR program at Polytama Company, as it would be an innovative and efficient waste management instead a massive campaign.*

***Keywords:** plastic; waste management; zero waste; environment*

### **Introduction**

Environmental pollution, global warming, climate change, biodiversity and natural resources degradation are environmental issues that have awakened human consciousness to the importance of environmental sustainability for human well-being. A massive PR campaign on plastic waste has been raised since over 50 years ago.

Public Relations Campaign inside specific meaning aims to increase awareness and knowledge of the target audience. In addition, it aims to grab attention and foster perception or a positive opinion of an activity from an institution or organization (corporate activities) in order to create a good image from the community through the delivery of messages intensive with the communication process and time period certain sustainable ones. In a more general or broad sense, according to R.A Sentosa Satroepetra, public relations campaign provides continuous lighting as well understanding and motivation of the community towards a certain program activities through processes and continuous communication techniques and plan to achieve publicity and image.

According to Leslie B. Snyder (2002) broadly speaking, the campaign communication is a communication activity organized, directly directed at the audience certain, at a predetermined time period to achieve certain goals. Besides the campaign public relations is done in a planned, systematic manner motivating, psychological and done repeatedly and continuously. PR campaigns raise some issues which are including developing among the people at the time this done by many companies or organizations.

PR from companies and organizations willing to take part in communicating the issue of plastic waste to the community and strive to grow public awareness to understand more about issues and together take part in looking for solution to the problem/issue. According to Keith Davis, participation is a matter of a person's



mental and emotional involvement in group situation that drives them to contribute to group goals and together responsible for the goal that is; Community participation is very important in the success of an action or event. Without participation from the target or the community concerned, a goal is not will be achieved. Like the campaign on plastic waste. The purpose of this campaign will not be achieved without participation from the community.

Hundreds of Non-Governmental Organizations around the world have already realized the detrimental impact of plastic pollution on our world. As such, they are working hard to prevent and eliminate it. Below are some the organizations that are working in the area and the actions that they are taking.

### **1. One Green Planet**

An independent online platform, One Green Planet provides readers with information on sustainable, everyday habits. They are the instigators of the #CrushPlastic Movement. This campaign focuses on reducing single-use plastics including shopping bags, coffee cups, water bottles, take out containers, and straws.

### **2. Clear Blue Sea**

This relatively new, not-for-profit the Clear Blue Sea, is actively working to rid oceans of plastic and repurposing the plastic that they collect. Their innovative solution uses a Floating Robot for Eliminating Debris (FRED). Not only does it clean up debris, but it also uses renewable energy, has a self-preservation mechanism during storms, and can help rescue animals trapped in debris.

### **3. Earth Day Network**

What started as a small network during the first Earth Day, the Earth Day Network now has over 50,000 partners globally. The organization is focused on promotion and awareness, particularly for Earth Day itself. They create important campaigns and materials including this Plastic Pollution Primer and Action Toolkit. Those Non-Governmental Organizations bring up the same message, to reduce the plastic use.

Campaign is a communication activity which peaks in a certain period of time in order to influence a society (Sastropetro (1983: 99). Meanwhile, according to communication expert Rice and Paisley in Ruslan (2002: 58), said that one's desire to influence opinion individual and public, trust, behavior, interest and the wishes of the audience with the attractiveness of the communicator which is also communicative.

Plastics are man-made organic materials that are produced from oil and natural gas as raw materials. They are relatively cheap, durable and versatile material. Products made from plastics have brought benefits to society in terms of economic activity, jobs and quality of life. Plastics can even help reduce energy consumption and greenhouse gas emissions in many circumstances, even in some packaging applications when compared to the alternatives (European commission Directorate General for Environment, 2011). The benefits driven from plastics compel manufacturers to increase production.

FOEN (2003) indicates that, plastics form around 15% of household refuse and according to a report published in December 2010, the United States Environmental Protection Agency (USEPA) determined that, the United States alone generated 30 million tons of plastic waste in 2009. It is believed after their entry into the environment, plastics can persist up to 100 years without being decomposed by sunlight and/or microorganisms (Stevens, 2001 and United Nations Environment Programme, 2005a).

The issue of plastic waste management is therefore a major global phenomenon that has crept up over the decades, and really requires a global and comprehensive solution that includes systemic rethinks about usage, production and recycles. It is a crucial problem not only for developing countries but for the developed countries as well.

The message is made in such a way and always interesting attention. The message is formulated through symbols which are easy to understand or understand communicant.

Campaign on plastic problems has been launch massively around the world, but in fact the plastic problem has not got the clear of point. The campaign itself has been supported by the Government. In some area in Indonesia, Regional Regulations has been applied to control the plastic use. The Bali Provincial Government prohibits various components and communities in the area from using disposable plastic, along with the issuance of the Bali Governor Regulation Number 97 of 2018. In the Bali's Governor Regulation Number 97 Year 2018 concerning the Limitation of Disposable Plastic Waste that has been issued on December 21, there are three ingredients that are made of or contain prohibited plastic ingredients, namely plastic bags, polystyrene, and plastic straws.

There is a decisive condition the success or failure of a campaign, according to Wilbur Schramm is quoted in Rosady Ruslan's book Public Relations Research Methods, the coalition supporting the success or failure of delivering messages inside campaigning is as follows.

Many municipalities, cities and towns the world over continue to grapple with the problem because it imposes negative environmental externalities. It is usually non-biodegradable and therefore can remain as waste in the environment for a very long time, it may pose risks to human health as well as the environment; and it can be difficult to reuse and/or recycle in practice. The campaign on plastic shouldn't only focusing to "not to use" plastic, instead build awareness on the plastic waste management, plastic used plastic through a recycle process could be made into higher-value products.

## **Analysis**

Since 2004, the world has made a huge amount of plastic as it did in the previous half century, and it has been reckoned that the total mass of virgin plastics ever made amounted to 8.3 billion tons. It is mainly derived from natural gas and crude oil, used as chemical feedstock and fuel sources. In 2015, 407 Mt of plastics was produced, of which 164 Mt was consumed by packaging (36% of the total). It appears that, of all the plastics produced to date, 2.5 billion tons (30%) are currently in use, and between 1950 and 2015, the cumulative generation of primary and secondary (recycled) plastic waste amounted to 6.3 billion tons, of which 9% had been recycled

(just 10% of this having been recycled more than once), 12% incinerated, and the remaining 79% either ended up in landfills or in the natural environment.

Although it has been quoted values vary, packaging probably accounts for around one third of all plastic used, of which approximately 40% goes to landfill, while 32% escapes the collection system: that is, either it is not collected at all, or is collected but then illegally dumped or mismanaged, and ends up directly in the environment. Only 28% of packaging waste had been collected, of which half was incinerated to provide energy, while the other half was recycled. The prognosis is that, should current trends maintain, by 2050 there will be of the order of 12 billion tons of plastic waste either in landfills or in the natural environment, and more plastic than fish in the seas (by mass). It was deduced that around 9 Mt of plastic entered the oceans in 2010, as a result of mismanaged waste, along with up to 0.5 Mt each of micro plastics from washing synthetic textiles, and from the abrasion of tires on road surfaces. It is estimated that in the region of 2 Mt of plastic pollution is delivered to the oceans by rivers, each year.

According to Spokas (2007) and Geographical (2005) around 500 billion of plastics bags are used worldwide. A United Kingdom group Waste online also puts annual global production of plastic around 100 million tons per year. In a study conducted in Switzerland in 2010, approximately 1000,000 tons or 125 kg of plastic material was used or consumed per head. According to the same report, the world produces 20 times more plastic today than 50 years ago (Federal Office of the Environment, 2003). As plastic consumption is increasing, more and more plastic waste is being generated (World Bank, 1996; Yankson, 1998). In 2018, the use of plastic in South Tangerang is still dominant. Every day, plastic waste produced from the city of South Tangerang reaches 105.5 tons. Head of South Tangerang Waste Department, Wismanayah explained that the daily waste production in the city of South Tangerang reaches 890 tons. This amount is dominated by household and industrial waste up to 700 tons per day. While plastic waste fills 11.86 percent of total waste in South Tangerang. Plastic is 11.86 percent contributing to the volume of waste in South Tangerang.

Professor of Air and Waste Management at the Bandung Institute of Technology (ITB), Prof. Dr. Enri Damanhuri, said that each year around 44 percent of plastic waste is 2.13 million tons of polluted environments. He said, of the total national plastic waste, only 36 percent could be collected and collected by the Sanitation Office and Environmental Agency and disposed of to the Trash Disposal Site (TPA). Furthermore, only 20 percent has entered the informal system, such as garbage banks to be recycled, and other 44 percent fled to the environment (Embu, S. W., ITB Noted 2,13 Million Plastic Waste Per Year Cemari Indonesia, accessed on [www.merdeka.com](http://www.merdeka.com), 2018).

As enormous amount of plastic waste is generated throughout the world, the most crucially posed question is how to manage it effectively and efficiently to save the environment and the continuous existence of mankind (Wiennaah, 2007).

Four of Indonesia's rivers rank among the 20 most polluted in the world in terms of mismanaged plastic waste measured in metric tons. This makes Indonesia the second-largest contributor to marine plastic pollution after China. A recent research article, published in the journal Nature Communications, estimates that between 1.15 million and 2.41 million tons of plastic enters the oceans every year from rivers. In this case, Indonesia is estimated to emit around 200,000 tons of plastic from rivers and streams, mainly from Java and Sumatra. Plastic debris can kill marine animals

that get entangled and drown or starve after they ingest particles they cannot digest. Toxins leach from plastic as it breaks down, posing health risks for animals, while also entering the food chain and eventually ending up on our plates.

### Global mismanaged plastic by region, 2010



Share of global mismanaged plastic waste by region in 2010. This is measured as the total mismanaged waste by populations within 50km of the coastline, and therefore defined as high risk of entering the oceans. Mismanaged plastic waste is defined as "plastic that is either littered or inadequately disposed. Inadequately disposed waste is not formally managed and includes disposal in dumps or open, uncontrolled landfills, where it is not fully contained. Mismanaged waste could eventually enter the ocean via inland waterways, wastewater outflows, and transport by wind or tides."

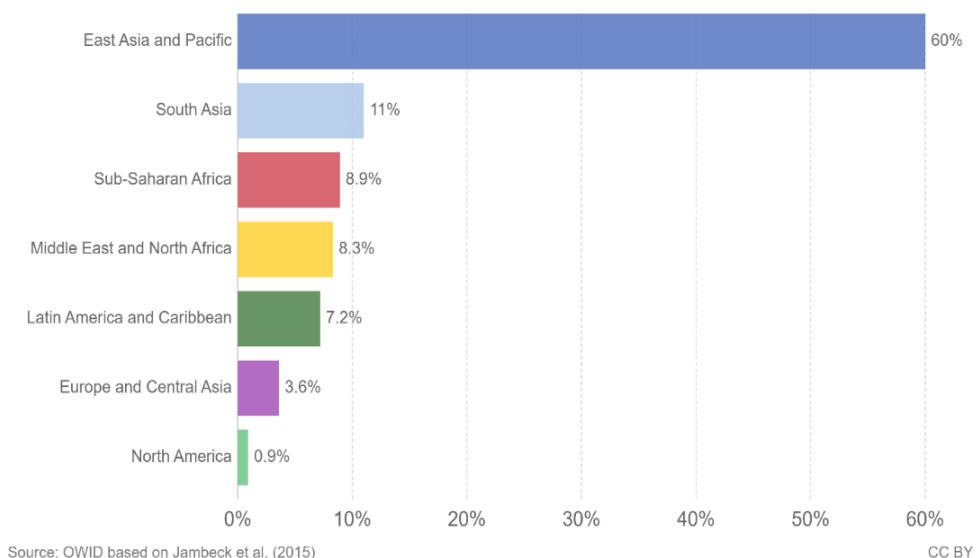


Figure 1 – Global Mismanaged Plastic in 2010

Community awareness about the hazards of plastic waste is important. But it's likely to do a realistic action on the plastic waste management, as what Polytama Company did through their CSR program.

Polytama Propindo Company is one of the largest polypropylene (PP resin) producing companies in Indonesia which was established in 1993. Polytama has a Plant located in Limbangan Village, Juntinyuat District, Indramayu, West Java. Polytama Propindo Company as a company around Indramayu Regency is obliged to embrace local residents by collaborating to conduct programs that need to be disseminated to residents around the Industrial area. As one of the big industries that produce polypropylene (plastic), Polytama Propindo Company has an obligation to run a CSR (Corporate Social Responsibility) program. One of the problems of the community that touches on PT Polytama Propindo's core business is plastic waste. The problem of plastic waste arises from an increase in the amount of landfill that is not handled by good waste management, resulting in a lot of plastic waste that is not managed and ultimately results in other problems such as flooding, air pollution and environmental pollution. Many assume that plastic is un-environmentally friendly and takes a long time to completely decompose. Even though the fact is that the habit of littering and poor waste management is what causes environmental pollution. Plastic waste and decaying waste are often mixed together, making it difficult to recycle. This is due to the lack of a good waste management system. By handling

the right waste such as MASARO (Zero Waste Management), plastic waste can be transformed into things that have use and economic value because of their ability to be recycled to the maximum.



Figure 2 – The Asphalt Process by using recycled materials

MASARO (Zero Waste Management) program is designed to overcome community waste management problems, including plastic waste, whose implementation is not only an activity that gives a momentary impact, but is a long-term solution that benefits the village community, which is currently focused on Tinumpuk Village, Juntinyuat District, Indramayu Regency. For this program Polytama Propindo Company collaborated with the ITB Polymer and Membrane Technology Laboratory (LTPM-ITB) and the Indramayu Regency Environmental Agency to start the Pilot Project as a pioneer of Zero Waste Management program (MASARO). This program is a great innovation that is expected to be emulated by other companies that also have the same concern and can continue to grow to the national scale. Located in Tinumpuk Village, Indramayu Regency, which is adjacent to the Polytama Propindo Company plant site area. This program is carried out by utilizing the waste in Tinumpuk Village into something that has benefits for its citizens. Through this program, it is expected to be an example for other regions in Indonesia. Waste management in Tinumpuk Village is still done in a conventional way, namely by burning garbage in front of each residence. The remaining ash from the combustion was left alone. Along the road in the village of Tinumpuk there are many scattered garbage, such as baby diapers that are thrown away. The level of cleanliness in Tinumpuk Village is still very low. One of the critical locations where many piles of illegally dumped waste are found on the riverbanks which cause blockages in the river channel and increase the risk of flooding.

Since the program's inauguration on January 25, 2018, the MASARO program in Tinumpuk Village has been going well. Proper waste management makes waste have economic value that is beneficial for the villagers. As with decaying waste which is processed into liquid fertilizer, fuel oil produced from processing plastic waste and residual combustion fuel can be used as a fertilizer mixture. The product legality of the MASARO program in the form of liquid fertilizer and fuel oil is being pursued by Polytama Propindo Company and assisted by the Department of Living Environment of Indramayu Regency. All recycled products from MASARO have useful and economical value. Some of the products from processed waste are substitute for kerosene, highway reinforcement which can indirectly reduce production costs in paving, and liquid fertilizer as animal feed that can be resold by

the people of Tinumpuk Village. To support the sustainability of this program, educational programs are also carried out by striving for the availability of adequate discharged landfill facilities, both in homes, markets, offices, and other public places. In addition, the garbage collection system must also be carried out in a separate manner. Certain rubbish must be collected on certain days and certain places consistently, regularly and continuously. Therefore, all components of society must change their life habits so that they are accustomed to sorting out waste when disposing of it or having to do socialization and education activities so that people are more accustomed to sorting waste.



Figure 3 – Distribution of types of waste from the MASARO program

Recycled waste in the form of plastic, glass, cans, and paper is collected and placed in front of the house which is then taken by scavengers and then sold to the waste recycling industry. Meanwhile, fuel waste in the form of paper is not feasible to use, wood chips, boxes that cannot be sold are burned by the people themselves in the incinerator at the region level.

Waste is divided into four types, namely rotting garbage, plastic waste, recycled waste (paper, metal, glass), and fuel waste. In order to make sorting easier, segregated trash cans are distributed to the houses of the Tinumpuk Villages. Segregation will be carried out by the people in their respective homes, then officers from the Waste Bank "CBO Ibu Tin Berseri" will pick up garbage to rot every three days, and other types of garbage every once a week. Disaggregated waste is then collected at the Waste Bank "CBO Ibu Tin Berseri".



Figure 4 – The motorbike carrying garbage transports residents' garbage to

Arriving at the “CBO Ibu Tin Berseri“ the collected waste is weighed first and then placed on the basis of the type of waste for further management using waste processing equipment, namely in the form of pyrolyzers, incinerators and several other tools. Combustion of plastic waste carried out at low temperatures in the open space produces carcinogenic hazardous compounds such as polychloro dibenzo dioxins and polychloro dibenzo furans. But with the presence of pyrolyzers, plastic waste can be processed into oil fuel which has economic value. Meanwhile, processing decomposed waste is carried out behind the eastern part of the CBO building. Rubbish-decaying waste is transferred into other containers after being given liquid to ferment.



Figure 5 – Pyrolysis reactor found at “Community Base Organization (CBO) Ibu Tin Berseri”

The final processing of waste which cannot be composted and recycled is by burning it in an incinerator. Incineration is the process of combustion of waste with the amount of excess oxygen, which converts waste into ash, smoke gas and particulates. Waste that can be processed consists of fuel waste (twigs, paper that cannot be recycled, the rest of cloth and wood) and garbage B2. Processing with this method is very effective in reducing the volume of waste that cannot be recycled until it reaches 95–96%. Incineration can significantly reduce landfill land use or landfill (Final Disposal). The remaining ash from waste processing in an incinerator can be used to improve the production of BBM (Oil Fuel).

In addition to pyrolyzers and incinerators, the “CBO Ibu Tin Berseri” Waste Bank also has an extruder to produce plastic seeds that have been collected from residents. Waste Bank “CBO Ibu Tin Berseri” has also carried out decomposing waste management by making Kasting (Compost Worm). The results of this Kasting are compost which can be used as red ginger compost.

To support the sustainability of this program, educational programs are also carried out by striving for the availability of adequate discharged landfill facilities,

both in homes, markets, offices, and other public places. In addition, the garbage collection system must also be carried out in a separate manner. Certain rubbish must be collected on certain days and certain places consistently, regularly and continuously. Therefore, all components of society must change their life habits so that they are accustomed to sorting out waste when disposing of it or socialization and education must be carried out so that people are more accustomed to sorting waste.

The running and success of the MASARO program is the result of the collaboration between PT Polytama Propindo and Polymer Technology and Membrane Laboratory-Bandung Institute of Technology which in the future can be a form of ongoing CSR program collaboration. Polytama Propindo Company also always coordinates with Polymer Technology and Membrane Laboratory-Bandung Institute of Technology to do mapping in 3 villages closest to the Plant Site area, namely Tinumpuk Village, Lombang Village, and Limbangan Village.

As the company's Corporate Social Responsibility program goes on to the villages, of course the involvement of the local village head is much needed, one of the goals of this Corporate Social Responsibility program is to do empowerment aimed at the independence of the village community. Polymer Technology and Membrane Laboratory-Bandung Institute of Technology led by Dr. Zainal Abidin told Polytama Propindo Company that he was trying to submit a number of proposals in the scope of the Indramayu Regional Government and hoped for a positive response from the Regional Government.

In addition, further renovation activities in the MASARO area of Tinumpuk Village are also in talks to ensure the sustainability of this program. In the future, Polytama Propindo Company collaborates with the Ministry of Industry and the Ministry of Village to obtain a license in order to achieve Blue to Green PROPER (Performance Rating Assessment Program) and continue to Gold. In achieving towards PROPER, Polytama Propindo Company plans to make the RPJM (Medium Term Development Plan) for the Environment for the next five years.

Through the MASARO program, the Tinumpuk villagers gain an understanding of the importance of proper waste management for environmental hygiene and health, the right way to handle it, and what can be done so that the community can contribute to maintaining environmental cleanliness. This program also helps improve the skills and productivity of the community. The existence of the MASARO program opens new employment opportunities for the community of Tinumpuk Village.



Figure 6 – The Tinumpuk villagers who use disaggregated trash cans



All recycled products from MASARO have useful and economical value. Some of the products from processed waste are substitute for kerosene, highway reinforcement which can indirectly reduce production costs in paving, and liquid fertilizer as animal feed that can be resold by the people of Tinumpuk Village.



Figure 7 – Recycled products from Masaro

## Conclusion

To win the battle against plastic pollution, the Indonesian central and regional governments need to strengthen their legal framework. Nationally applicable definitions are needed to distinguish between degradable plastic, recyclable plastic, biodegradable plastic and compostable plastic alternatives. There is a need to be clear about responsibility at each level of government and the creation of new norms, standards, procedures and criteria. The government must embark on a multi-tiered approach that engages affected communities. Those who continuously experience plastic pollution live with the urgency for action on a daily basis. The action taken may refer into a plastic waste management, recycle the plastic waste and change it into more valuable products, for a sustainable goal. Through Masaro program, Polytama Company builds a public knowledge that plastic waste is not something that is dangerous and threatens the health and sustainability of the environment. In fact, around us there are many found plastic-based waste which can actually be reprocessed into something that has benefits if proper handling is carried out starting from the community's own awareness.

## REFERENCES

1. Adane, L., and Muleta, D. (2011). Survey on the usage of plastic bags, their disposal and adverse impacts on environment: A case study in Jimma City, Southwestern Ethiopia. *Journal of Toxicology and Environmental Health Sciences*, 3(8) pp. 234-248.
2. Embu, S. W., ITB Catat 2,13 Juta Sampah Plastik Tiap Tahun Cemari Indonesia, [www.merdeka.com](http://www.merdeka.com), 2018.
3. Ruslan, Rosady. *Kiat dan Strategi Kampanye Public Relations*, PT. Raja Grafindo. Jakarta: 1997.
4. Rusdianto, U. (2013). *CSR Communicatons A Framework For PR Practicioners*.
5. Snyder, Leslie. (2003). *Development communication campaigns*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

6. Werther, William B., Jr., and Keith Davis (1989). Human Resources and Personnel Management. 3, New York: McGraw- Hill.
7. World Bank (1996). Urban Environmental Sanitation Project, Staff Appraisal Report, Republic of Ghana, Africa Regional Office.
8. Yankson P. W. K. (1988). The Urban Informal Economy Accommodation, Growth, Linkages, Health and Environmental Impact. The Case of Greater Accra Metropolitan Area (GAMA). Ghana University Press, Accra.

*The article was received 13.05.2019 and was accepted after revision 05.06.2019*

**Марія Єва Розалін, Двінанто Курніаван**  
**ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ПЛАСТИКУ; ПОТУЖНА**  
**КАМПАНІЯ ЗА ІННОВАЦІЙНЕ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ**

**Анотація.** Забруднення пластиком стало величезною екологічною проблемою, що спонукало деякі міста та країни збільшувати оподаткування або забороняти деякі пластикові вироби, такі як пакети та соломинки. Отже, метою цього дослідження є поширення знань задля підвищення ефективності кампаній за інноваційне управління пластиковими відходами, а також огляд цього інноваційного менеджменту відходів. Це дослідження також має на меті представити програму Масаро (Zero Waste Management), програму CSR компанії Polytama, оскільки це було б інноваційним та ефективним управлінням відходами.

**Ключові слова:** пластик; поводження з відходами; нульові відходи; навколишнє середовище

**Марія Єва Розалін**

магістр Лондонської школи зв'язків з громадськістю, Джакарта, Індонезія

*e-mail: evayorian@gmail.com*

**Двінанто Курніаван**

магістр Лондонської школи зв'язків з громадськістю, Джакарта, Індонезія

*e-mail: dwinanto@polytama.co.id*

# ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ INFORMATION RESOURCES AND SYSTEMS

UDC 681.3.06: 519.248.681

**Ihor B. Chepkov**<sup>1</sup>, D. S. (Engineering), Professor  
ORCID ID 0000-0002-4294-4152 *e-mail*: [i.chepkov@mil.gov.ua](mailto:i.chepkov@mil.gov.ua)

**Valerii V. Zubariiev**<sup>1</sup>, D. S. (Engineering), Professor  
ORCID ID 0000-0002-4998-726X *e-mail*: [doktorzubarev.2016@gmail.com](mailto:doktorzubarev.2016@gmail.com)

**Oleksandr O. Sverhunov**<sup>2</sup>, PhD, Associate Professor, Leading Researcher  
ORCID ID 0000-0002-2158-1532 *e-mail*: [asverg@niss.gov.ua](mailto:asverg@niss.gov.ua)

**Oleksandr V. Zubariiev**<sup>1</sup>, PhD, Senior Researcher, Leading Researcher  
ORCID ID 0000-0001-5590-7660 *e-mail*: [aleksanderzubarev@gmail.com](mailto:aleksanderzubarev@gmail.com)

<sup>1</sup>Central Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>National Institute for Strategic Studies, Kyiv, Ukraine

## ON THE DEVELOPMENT OF DAMAGE OF INFORMATION SYSTEM OPERATIONS AND METHODOLOGICAL ISSUES OF ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF INFORMATION SECURITY SYSTEMS

**Abstract.** *The paper analyzes the trends in threats to the functioning of information and telecommunication systems and methodological issues of evaluating the effectiveness of the information security system for protected objects. Based on the results of the analysis, a methodology for assessing the state of the effectiveness of information security systems has been proposed. It is shown that the development of assessment methodologies should be carried out on the basis of statistical and system analysis using expert methods, taking into account the fact that the assessment of the effectiveness of information security systems and its components is assessed with a large number of uncertainties and differences. The approach of assessing the state of the effectiveness of information security systems for an object of protection based on the risk management of business processes has been analyzed. It is substantiated that, depending on the goals and objectives of the assessment, it is possible to change both the main factors and the second level assessment factors and calculate them based on expert assessments of third level factors that affect the level of information security.*

**Key words:** *information systems; information and communication technologies; information security; information security systems; information systems risk management; information security; methods of assessing the effectiveness of systems; information security*

І.Б. Чепков<sup>1</sup>, В.В. Зубарєв<sup>1</sup>, О.О. Свергунов<sup>2</sup>, О.В. Зубарєв<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Національний інститут стратегічних досліджень, м. Київ, Україна

## ЩОДО РОЗВИТКУ ЗАГРОЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ І МЕТОДОЛОГІЧНІ ПИТАННЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

***Анотація.** В роботі проаналізовані тенденції розвитку загроз функціонування інформаційних та телекомунікаційних систем і методологічні питання оцінки ефективності системи забезпечення інформаційної безпеки об'єкта захисту. На основі результатів аналізу запропоновано методика оцінки стану ефективності систем забезпечення інформаційної безпеки. Показано, що розробку методик оцінки необхідно здійснювати на основі статистичного та системного аналізу з використанням експертних методів з урахуванням того, що оцінка стану ефективності систем забезпечення інформаційної безпеки та її складових є багатокритеріальною з великою кількістю невизначеностей та суперечностей. Проаналізовано підхід до оцінки стану ефективності систем забезпечення інформаційної безпеки об'єкта захисту на основі ризик-менеджменту бізнес-процесів. Обґрунтовано, що в залежності від цілей та завдань оцінки можливо змінювати як головні фактори, так і фактори оцінки другого рівня і розраховувати їх на основі експертних оцінок факторів третього рівня, що впливають на рівень інформаційної безпеки.*

***Ключові слова:** інформаційні системи; інформаційно-комунікативні технології; інформаційна безпека; системи забезпечення інформаційної безпеки; ризик-менеджмент систем забезпечення інформаційної безпеки; методика оцінки стану ефективності систем забезпечення інформаційної безпеки*

### Вступ

Розвиток інформаційно-комунікативних технологій (ІКТ) та інформаційних систем (ІС) у ХХІ ст. має глобальний характер і став невід'ємною частиною всіх сфер діяльності держав, компаній, суспільства та окремих осіб. Їх ефективне застосування стало фактором прискорення економічного розвитку держав, забезпечення реалізації стратегічних національних пріоритетів, національної безпеки і оборони, формування інформаційного суспільства.

Разом з тим переваги сучасного цифрового світу, розвитку ІКТ та ІС обумовили виникнення нових загроз економіці, національній та міжнародній безпеці, обороні в інформаційній сфері. Застосування ІКТ у якості інструмента політичного та економічного протиборства може призвести до значного збитку для економіки держави і навіть дестабілізувати соціально-політичну обстановку в суспільстві. За таких обставин стійке функціонування інформаційної сфери стає необхідною умовою для ефективного соціально-економічного розвитку країни і забезпечення її безпеки.

В той же час розширення застосування ІКТ та ІС породжує проблеми забезпечення інформаційної безпеки (ІБ) їх функціонування. Поряд із інцидентами природного (ненавмисного) походження таких загроз поширюються випадки незаконного збирання, зберігання, використання,

знищення, поширення інформації, персональних даних, незаконних фінансових операцій, крадіжок та шахрайства, у тому числі й у мережі Інтернет. Зростає кількість та потужність кібератак, вмотивованих інтересами окремих держав, груп та осіб. За даними Всесвітнього економічного форуму, у 2017 році втрати тільки від кібератак у світі склали порядку трильйона доларів США, і, на думку експертів, якщо не вживати ефективних, результативних заходів щодо захисту інформації, збиток буде ще більшим. І ця тенденція продовжує зростати. Тільки в першому кварталі 2018 року в порівнянні з аналогічним періодом 2017 року число кібератак на російські інформаційні ресурси збільшилося на третину [1].

Проблеми забезпечення ІБ вже сьогодні розглядаються навіть на рівні держав. Наприклад, президент США Д. Трамп 15 травня 2019 року підписав указ про введення режиму надзвичайного стану для захисту інформаційних і комунікаційних мереж США від іноземних загроз. Документ забороняє угоди у сфері інформаційних або комунікаційних технологій або послуг, якщо вони розроблені, вироблені або поставляються іноземними супротивниками США і можуть нести загрозу інформаційним і комунікаційним технологіям США, мати катастрофічний вплив на безпеку критичної інфраструктури США або представляти інші загрози національній безпеці США. Раніше в США заявляли про загрози національній безпеці з боку китайської компанії Huawei. США вважають, що устаткування компанії використовується для шпигунства на користь Китаю. У серпні 2018 року президент США Д. Трамп заборонив урядовим відомствам використовувати устаткування компаній Huawei і ZTE [2, 3]. Міністерство оборони (МО) США включило Росію в список країн, послугами яких заборонено користуватися при комерційних запусках супутників. Виправлення в правилах закупівель в оборонних цілях розміщені на сайті федерального реєстру і набудуть чинності з 31 травня 2019 року. У документі відзначається, що нові обмеження вводяться щодо супутників і засобів виведення (супутників) на орбіту для надання послуг супутникового зв'язку. Заборона буде стосуватися випадків, коли виникає ризик у сфері інформаційної безпеки (ІБ), зокрема кібербезпеки [4]. Адміністрація США, включаючи Росію в список країн, у відношенні яких уже діяла аналогічна заборона: КНР, КНДР, Іран, Судан і Сирія, показує, яку велику увагу вони приділяють сфері ІБ. Правило почне діяти з 2023 року. Воно не торкнеться космічних запусків, які відбудуться до 31 грудня 2022 року. МО США також забороняють контракти з іноземними державами на проведення комерційного супутникового обслуговування, оскільки подібні угоди також можуть створити неприйнятний ризик у сфері кібербезпеки для США.

У сучасному цифровому світі кіберзлочинність є ключовою загрозою зростанню світової економіки. Питання ІБ, а також управління критичною інфраструктурою інтернету регулярно обговорюються в міжнародних організаціях. Таким чином, проведений вище аналіз показує, що дослідження проблем ІБ є дуже актуальним питанням.

### **Постановка наукової проблеми із забезпечення оцінок системи інформаційної безпеки**

У міру розвитку ІКТ та ІС, а також їх застосування розширювався та буде розширюватися спектр інформаційних загроз їх функціонування [5, 6, 7, 8 тощо].

Це також обумовило велику увагу до наукових досліджень проблеми різних аспектів ІБ як функціонування ІКТ та ІС, так і об'єктів (компаній, організацій тощо) захисту [9, 10 тощо].

В той же час ряд досліджень показують наявність нових проблем в цій сфері. Так, «Глобальне дослідження з питань інформаційної безпеки. Перспективи на 2014 рік» (The Global State of Information Security. Survey 2014), яке проведено фірмою PWC і журналами CIO і CSO, показує, що стратегії інформаційної безпеки, які традиційно були засновані на дотриманні нормативно-правових вимог і обмежувалися лише інформаційним захистом периметра, не встигають за зростаючим рівнем ризиків у сфері ІБ [11, 12]. Тому у сфері ІБ формується нова модель, в якій інформаційні загрози для ІС та ТКС є бізнес-ризиками. Ризики, пов'язані з безпекою інформації, слід розглядати як загрози для самої організації. Наприклад, у липні 2017 року стався один з найбільших витоків персональних даних у бюро кредитної історії Equifax у США. У руки зловмисників потрапили особисті відомості більш ніж 143 млн споживачів, 209 000 номерів кредитних карт. У результаті, за даними на 8 вересня 2017 року, акції бюро впали на 13% [13].

Надзвичайно важливо прогнозувати такі загрози, розуміти вразливі місця організації, уміти виявляти пов'язані з ними ризики і управляти такими ризиками [8].

Інформаційні процеси більше не можуть бути відділені від бізнес-процесів організації. Інформація стає органічною складовою практично всіх аспектів діяльності організації, як основної, так і допоміжної. З позицій економічного аналізу, з одного боку, інформація є товаром, який має специфічні властивості. З іншого боку, інформація є стратегічним ресурсом суб'єкта економічної діяльності. Однак в обох випадках цієї діяльності проявляється фундаментальна потреба – забезпечити її безпеку.

Застосування цієї нової моделі ІБ припускає, що в основі будь-якої діяльності та інвестиційних рішень повинне бути чітке розуміння того, що являють собою наявні в організації інформаційні ресурси, які існують загрози від функціонування ІС та ТКС для системи бізнесу, які ділянки бізнесу з використанням ІС та ТКС найбільш уразливі, а також мати результати моніторингу інформаційної діяльності організації, щоб вона охоплювала не тільки ІС та ТКС, а й всіх співробітників, починаючи з вищих посадових осіб, що ухвалюють для себе зобов'язання з організації і забезпечення інформаційної безпеки, і закінчуючи кожним співробітником і всіма третіми особами. При цьому необхідно співробітничати з державними установами і приватними компаніями для більш ефективного обміну інформацією про виникаючі загрози ІБ. Вищезгадана модель ІБ потребує формування нових методичних підходів з оцінки системи забезпечення ІБ для всієї організації.

Тому **метою статті** є дослідження методичних підходів з формування методів оцінки системи забезпечення ІБ організації на основі експертних методів та системних поглядів на процеси ІБ. Такі методики в подальшому можливо використати в оцінках управління ризиками бізнес-процесів з урахуванням проблем ІБ.

## Характеристика проблеми інформаційної безпеки

Нині питання забезпечення інформаційної безпеки держав, міністерств, окремих компаній та інших державних і приватних установ, суспільства і осіб стали розглядатись як в контексті забезпечення національної безпеки держав, так і як окремий напрям діяльності, що впливає на оборону, безпеку економічної і фінансової діяльності соціально-економічних систем тощо. Наприклад, на питаннях забезпечення інформаційної безпеки США в рамках міждержавної стратегічної конкуренції акцентується увага в Стратегії національної безпеки США (National Security Strategy, NSS) [14], яку затвердив президент та оприлюднив 18 грудня 2017 року, та в Національній оборонній стратегії США (National Defense Strategy, NDS), яку підписав Міністр оборони і яку частково оприлюднено 19 січня 2018 року [15]. Ця NDS – перша після 2008 року.

Голова ОКНШ генерал армії США М. Демпсі в червні 2015 року підписав Національну військову стратегію (The National Military Strategy, NMS), попередня версія якої була випущена в 2011 році. У цій військовій стратегії особлива увага приділяється переважаючій в цей час тактиці гібридних війн, в рамках яких застосовуються нові технології, інформаційні війни та забезпечується ІБ існуючих ІС та ТКС [16].

В Національній стратегії кібербезпеки (The National Cyber Strategy, NCS), яку президент США Д. Трамп підписав та оприлюднив у вересні 2018 року, також акцентується увага на посиленні інформаційних загроз національній безпеці США [17]. Згідно з цим документом Міністерству внутрішньої безпеки (Department of Homeland Security, DHS) надані повноваження на забезпечення інформаційної безпеки федеральних міністерських і відомчих мереж, за винятком ІС національної безпеки Міністерства оборони (Department of Defense, DOD) та ІС розвідувального співтовариства (Intelligence Community).

В новій національній кіберстратегії США проголошено настання «нової ери стратегічного суперництва» в інформаційній сфері. У США заявили, що вони можуть розпочати наступальні кібероперації у відповідь на зловмисні дії держав, злочинних та терористичних організацій, які прагнуть викрасти у США інтелектуальну власність, персональні дані, заподіяти шкоду їхній інфраструктурі та навіть підірвати їх демократію за допомогою кіберінструментів. Для подолання цих викликів і забезпечення кібербезпеки в США поставлені завдання щодо вдосконалення інформаційних технологій, процвітання сектору сучасних технологій і підвищення ефективності серед представників співтовариства інформаційних технологій. Стратегія пропонує федеральному уряду вживати заходів для забезпечення довгострокового поліпшення стану безпеки в кіберпросторі для всіх американців.

У Стратегії кібербезпеки України також акцентується увага на тому, що кіберзлочинність стає транснаціональною та здатна завдати значної шкоди інтересам особи, суспільства, бізнесу і держави [18].

У Доктрині інформаційної безпеки України [19] зафіксовано, що «комплексний характер актуальних загроз національній безпеці в інформаційній сфері потребує визначення інноваційних підходів до формування системи захисту та розвитку інформаційного простору в умовах глобалізації та вільного обігу інформації», а Міністерство оборони України має організувати і забезпечувати супроводження інформаційними засобами

виконання завдань оборони України. Тому розробка методологічних підходів до оцінки інформаційної безпеки, у тому числі у сфері оборони, є дуже актуальним питанням.

Закон України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України» визначає правові та організаційні основи забезпечення захисту життєво важливих інтересів людини і громадянина, суспільства та держави, національних інтересів України у кіберпросторі, основні цілі, напрями та принципи державної політики у сфері кібербезпеки, повноваження державних органів, підприємств, установ, організацій, осіб та громадян у цій сфері, основні засади координації їхньої діяльності із забезпечення кібербезпеки [20]. Згідно із цим Законом (ст. 8) національна система кібербезпеки України є сукупністю суб'єктів забезпечення кібербезпеки та взаємопов'язаних заходів політичного, науково-технічного, інформаційного, освітнього характеру, організаційних, правових, оперативно-розшукових, розвідувальних, контррозвідувальних, оборонних, інженерно-технічних заходів, а також заходів криптографічного і технічного захисту національних інформаційних ресурсів, кіберзахисту об'єктів критичної інформаційної інфраструктури. Функціонування національної системи кібербезпеки забезпечується шляхом (серед іншого):

- впровадження єдиної (універсальної) системи індикаторів кіберзагроз з урахуванням міжнародних стандартів з питань кібербезпеки та кіберзахисту;
- впровадження організаційно-технічної моделі національної системи кібербезпеки як комплексу заходів, сил і засобів кіберзахисту, спрямованих на оперативне (кризове) реагування на кібератаки та кіберінциденти, впровадження контрзаходів, спрямованих на мінімізацію вразливості комунікаційних систем.

Впровадження організаційно-технічної моделі кібербезпеки як складової національної системи кібербезпеки здійснюється Державним центром кіберзахисту, який забезпечує створення та функціонування основних складових системи захищеного доступу державних органів до мережі Інтернет, системи антивірусного захисту національних інформаційних ресурсів, аудиту інформаційної безпеки та стану кіберзахисту об'єктів критичної інформаційної інфраструктури, системи виявлення вразливостей і реагування на кіберінциденти та кібератаки щодо об'єктів кіберзахисту, системи взаємодії команд реагування на комп'ютерні надзвичайні події, а також у взаємодії з іншими суб'єктами забезпечення кібербезпеки розробляє сценарії реагування на кіберзагрози, заходи щодо протидії таким загрозам, програми та методики проведення кібернавчань.

В 2016 році в РФ була затверджена нова Доктрина інформаційної безпеки РФ, в якій представлена система офіційних поглядів на забезпечення національної безпеки РФ в інформаційній сфері. Під інформаційною сферою розуміється сукупність інформації, об'єктів інформатизації, інформаційних систем, сайтів в інформаційно-телекомунікаційній мережі «Інтернет», мереж зв'язку, інформаційних технологій, суб'єктів, діяльність яких пов'язана з формуванням і обробкою інформації, розвитком і використанням названих технологій, забезпеченням інформаційної безпеки, а також сукупність механізмів регулювання відповідних суспільних відносин. Вищезазначена Доктрина стала основою в РФ для: формування державної політики в області забезпечення ІБ РФ; підготовки пропозицій з удосконалення правового,



методичного, науково-технічного і організаційного забезпечення ІБ РФ; розробки цільових програм забезпечення ІБ РФ [21].

В РФ існує закон «Про інформацію, інформаційні технології і про захист інформації» (Федеральный закон «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»). Цей закон визначає і закріплює права на захист інформації та інформаційну безпеку громадян і організацій в ЕОМ і в інформаційних системах, а також питання інформаційної безпеки громадян, організацій, суспільства і держави. У законі дане правове визначення поняття «інформація»: «інформація – відомості (повідомлення, дані) незалежно від форми їх представлення» [22].

В РФ закон «О безопасности критической информационной инфраструктуры» [23] регулює відносини у сфері забезпечення безпеки критичної інформаційної інфраструктури РФ із метою її стійкого функціонування при проведенні у відношенні її комп'ютерних атак. Критична інформаційна інфраструктура (КІІ) являє собою сукупність об'єктів КІІ, а також мережі електрозв'язку, які використовуються для організації взаємодії таких об'єктів. У цьому законі безпека критичної інформаційної інфраструктури розуміється як стан захищеності КІІ, що забезпечує її стійке функціонування при проведенні у відношенні її комп'ютерних атак. Об'єктами КІІ є інформаційні системи, інформаційно-телекомунікаційні мережі, автоматизовані системи управління суб'єктів КІІ. Суб'єктами КІІ є державні органи, державні установи, російські юридичні особи і (або) індивідуальні підприємці, яким на праві власності, оренди або на іншій законній підставі належать інформаційні системи, інформаційно-телекомунікаційні мережі, автоматизовані системи управління, що функціонують у сфері охорони здоров'я, науки, транспорту, зв'язку, енергетики, банківській сфері та інших сферах фінансового ринку, паливно-енергетичного комплексу, в області атомної енергії, оборонної, ракетно-космічної, гірничодобувної, металургійної і хімічної промисловості, російські юридичні особи і (або) індивідуальні підприємці, які забезпечують взаємодію зазначених систем або мереж. Під автоматизованою системою управління (АСУ) розуміється комплекс програмних і програмно-апаратних засобів, призначених для контролю над технологічним і (або) виробничим устаткуванням (виконавчими пристроями) і виробленими ними процесами, а також для управління такими устаткуванням і процесами. У вищезазначеному законі комп'ютерна атака розглядається як цілеспрямований вплив програмних і (або) програмно-апаратних коштів на об'єкти КІІ, мережі електрозв'язку, використовувані для організації взаємодії таких об'єктів, з метою порушення і (або) припинення їх функціонування і (або) створення загрози безпеці оброблюваної такими об'єктами інформації. Комп'ютерний інцидент розглядається як факт порушення і (або) припинення функціонування об'єкта КІІ, мережі електрозв'язку, яка використовується для організації взаємодії таких об'єктів, і (або) порушення безпеки оброблюваної таким об'єктом інформації, у тому числі що відбувся в результаті комп'ютерної атаки.

Значимий об'єкт КІІ розглядається як об'єкт КІІ, якому привласнено одну з категорій значимості і який включений до реєстру значимих об'єктів КІІ.

Аналіз нормативно-правової бази деяких країн з питань ІБ, включаючи кібернетичну безпеку, показує, що ІБ нині приділяється дуже велика увага на різних рівнях.

## **Характеристика державних структур провідних країн з проблем інформаційної безпеки**

З 90-х років ХХ ст. по мірі зростання загроз ІБ провідні країни почали формувати спеціальні державні структури з питань ІБ. Основними завданнями таких структур були: оцінка загроз державам у сферах інформаційної безпеки або кібербезпеки; розробка пропозицій для урядів та приватного бізнесу зі зменшення таких загроз тощо.

Кібербезпека розглядається одним із напрямів ІБ, у рамках якого вивчають процеси формування, функціонування і еволюції кібероб'єктів, для виявлення джерел кіберзагроз, що утворюються при цьому, визначення їх характеристик, а також їх класифікацію і формування нормативних документів, виконання яких повинне гарантувати захист кібероб'єктів від усіх виявлених і вивчених джерел загроз кібербезпеки. Кібербезпека – це процес використання заходів безпеки для забезпечення конфіденційності, цілісності і доступності даних у кібернетичному просторі.

У жовтні 2016 року почав функціонувати національний центр кібербезпеки Великобританії (англ. National Cybersecurity Center, NCSC), який є організацією уряду Великобританії, щоб допомогти британським організаціям краще захищатися від нападу хакерів і реагувати на інциденти (своєчасне виявлення кібератак і їх швидке усунення), пов'язані з кібернетичною безпекою [24].

NCSC є частиною британського агентства з електронної розвідки, інформації та урядового зв'язку GCHQ (англ. Government Communications Headquarters). GCHQ за своїми функціями співставно з Агентством національної безпеки (АНБ) США.

Національний центр кібернетичної безпеки NCSC почав роботу в рамках п'ятирічної стратегії з бюджетом в £1.9 млрд. Згідно з офіційними заявами центр є першою «кіберсилою» країни, якій доручено займатися великими кібернетичними інцидентами. Завдяки роботі GCHQ, NCSC може виявити кібератаки з усього світу.

За повідомленнями ЗМІ, в завдання Національного центру кібернетичної безпеки Великобританії стали входити завдання активної відповіді на кібератаки.

Національний центр кібербезпеки (нім. Nationales Cyber-Abwehrzentrum, NCAZ) Федеративної Республіки Німеччини – міжвідомче урядове агентство, створене для захисту від кібератак критично значимих об'єктів національної ІТ-інфраструктури і економіки. У відповідності до «Стратегії кібербезпеки для Німеччини» кібератака – це дія, яка спрямована проти однієї або декількох ІТ-систем з метою злов'язу їх систем безпеки. BSI відносить до різновидів кібератак, зокрема, крадіжки особистих даних, хакерські атаки, поширення комп'ютерних вірусів, Dos-атаки, атаки на інфраструктуру Інтернету тощо.

Національний центр кібербезпеки створений на підставі рішення уряду Німеччини від 23 лютого 2011 року та вступив у дію 1 квітня 2011 року. Офіційне відкриття NCAZ відбулося 16 червня 2011 року. NCAZ перебуває в головному офісі Федерального управління з інформаційної безпеки (BSI) у Бонні. Необхідність створення NCAZ була пов'язана з ростом з 2005 року числа хакерських атак на комп'ютерні системи органів влади та комерційних підприємств у Німеччині, у тому числі появою комп'ютерних вірусів Ghostnet

і Stuxnet. У відповідності з рекомендаціями BSI, NCAZ веде, зокрема, збір інформації про терористичні загрози, виявлення уразливостей в ІТ-продуктах і ІТ-інцидентах і аналіз цих даних. NCAZ веде свою діяльність в інтересах цивільних організацій. Питаннями кібербезпеки у військовій сфері в Німеччині з 2002 року займається аналогічна організація – Команда стратегічної розвідки.

NCAZ поєднує засоби кібербезпеки BSI, Федерального відомства із захисту Конституції, Федеральної розвідувальної служби (BND), Федеральної поліції, слідчого управління митниці Німеччини, Бундесверу, Федерального управління цивільного захисту і допомоги при стихійних лихах і Федерального відомства карної поліції, а також співробітничает з наглядовими органами операторів критично важливої інфраструктури, у межах своїх статутних обов'язків і повноважень. Основою взаємодії є «угоди про співробітництво» відповідних органів і відомств Німеччини.

NCAZ також співробітничает з інститутами ЄС, з використанням ресурсів існуючих органів країн ЄС, що займаються питаннями кібербезпеки. BSI також співробітничает з Європейським агентством із мережевої і інформаційної безпеки (англ. – ENISA).

У рамках ЄС створений Центр електронної кіберзлочинності під егідою Європола.

Найбільш розвинена інфраструктура щодо забезпечення ІБ розгорнута у США у різних відомствах. Наприклад, Національний центр кібербезпеки (англ. National Cybersecurity Center, NCSC) – підрозділ міністерства внутрішньої безпеки США, створений в березні 2008 року відповідно до Директив NSPD-54/HSPD-23, перебуває в прямому підпорядкуванні міністра внутрішньої безпеки. На Центр покладений кібернетичний захист мереж зв'язку уряду США, включаючи моніторинг, збір і обмін інформацією про системи, що належать АНБ, ФБР, МО та міністерству внутрішньої безпеки.

### **Характеристика національних і міжнародних стандартів з питань інформаційної безпеки**

У міру розвитку ІС і ТКС відбувається розвиток систем їх ІБ і стандартів з класифікації, сертифікації, аудиту, побудови та інших аспектів як самих ІС і ТКС, так і систем забезпечення їх ІБ. Використання стандартів ІБ сприяє вирішенню наступних завдань:

- строго визначаються цілі забезпечення ІБ інформаційних і телекомунікаційних систем;
- створюється ефективна система управління ІБ;
- забезпечуються розрахунки сукупності деталізованих не тільки якісних, але й кількісних показників для оцінки відповідності ІБ заявленим цілям;
- створюються умови застосування наявного інструментарію (програмних і апаратних засобів) забезпечення ІБ і оцінки її поточного стану;
- відкривається можливість використання методик управління безпекою з обґрунтованою системою метрик і заходів забезпечення розробників інформаційних систем.

Станом на 2019 рік створені та діють ряд національних і міжнародних стандартів у сфері ІБ, які певною мірою доповнюють один одного. Найбільш відомими серед них є: Стандарт «Критерії оцінки надійності комп'ютерних систем». «Оранжева книга» (США); Гармонізовані критерії європейських країн; Німецький стандарт BSI; Британський стандарт BS7799; Міжнародний стандарт ISO17799; Міжнародний стандарт ISO/IEC 15408 «Загальні критерії»; Стандарт COBIT та інші.

Ці стандарти можна розділити на два види:

- 1) стандарти для оцінки, спрямовані на класифікацію інформаційних систем і засобів захисту відносно вимог безпеки;
- 2) технічні специфікації, що регламентують різні аспекти реалізації засобів захисту.

Стандарти для оцінки виділяють найважливіші, з погляду ІБ, аспекти ІС, відіграючи роль архітектурних специфікацій. Інші технічні специфікації визначають, як будувати ІС запропонованої архітектури.

Наприклад, у травні 2018 року на території ЄС набули чинності оновлені правила (стандарти) з ІБ щодо обробки персональних даних, установлені «Загальним регламентом по захисту даних» (Регламент ЄС 2016/679 від 27 квітня 2016 року або GDPR – General Data Protection Regulation).

Даний регламент замінить рамкову Директиву про захист персональних даних 95/46/ЄС від 24 жовтня 1995 року. Важливим нюансом GDPR є екстериторіальний принцип дії нових європейських правил обробки персональних даних.

Новий регламент надає резидентам ЄС інструменти для повного контролю над своїми персональними даними. Із травня 2018 року посилюється відповідальність за порушення правил обробки персональних даних: по GDPR штрафи досягають 20 мільйонів євро або 4% річного глобального доходу компанії.

Це означає, що компанії інших країн, які обробляють персональні дані країн ЄС, підпадають під дію GDPR і зобов'язані дотримуватися нових європейських правил обробки персональних даних (перевезення, медичні послуги, страхівки європейців тощо) щодо їх ІБ і забезпечити функціонування своїх ІС та ТКС відповідно до GDPR.

Важливою основою з питань стандартизації у сфері ІБ у США є Національний інститут стандартів і технологій (англ. The National Institute of Standards and Technology, NIST). Цей інститут разом з Американським національним інститутом стандартів (ANSI) бере участь у розробці стандартів і специфікацій до програмних рішень у сфері ІБ, які використовуються як у державному секторі США, так і у комерційній сфері. NIST є підрозділом управління технологіями США, у складі одного з агентств Міністерства торгівлі США. Штаб-квартира – Гейтерсберг. З 1901 по 1988 роки NIST називався Національне бюро стандартів США. Місією інституту визначено: просувати інноваційну та індустріальну конкурентоспроможність США.

## **Методологічні питання оцінки ефективності системи забезпечення інформаційної безпеки**

В роботі для подальшого аналізу і розробки методик термін інформаційна безпека (англ. Information Security, Infosec) буде використовуватись як

практика запобігання несанкціонованому доступу, використання, розкриття, викривлення, зміни, дослідження, запису або знищення інформації. Це універсальне поняття застосовується незалежно від форми, в якій представлені дані (електронна або, наприклад, фізична) [25].

В основі інформаційної безпеки (ІБ) лежить діяльність із захисту інформації за категоріями: забезпечення її конфіденційності, доступності і цілісності, а також недопущення якої-небудь компрометації в критичних ситуаціях. До таких ситуацій відносяться природні, техногенні і соціальні катастрофи, комп'ютерні збої, фізичне викрадення інформації і тому подібні явища. Навіть коли діловодство організацій засноване на паперових документах, потрібні відповідні заходи забезпечення ІБ. Під конфіденційністю (англ. Confidentiality) розуміється властивість інформації бути недоступною або закритою для неавторизованих осіб, сутностей або процесів; доступністю (англ. Availability) – властивість інформації бути доступною і готовою до використання по запиті авторизованого суб'єкта; цілісністю (англ. Integrity) – властивість збереження правильності й повноти активів. У сукупності ці три ключові категорії інформаційної безпеки йменуються тріадою CIA. В 1998 році Д. Паркер доповнив класичну тріаду CIA ще трьома категоріями: володіння або контроль (англ. Possession or Control), автентичність (англ. Authenticity) і корисність (англ. Utility). В 1996 році американський NIST сформулював вісім основних принципів, які засвідчують, що комп'ютерна безпека «підтримує місію організації», «є невід'ємною складовою раціонального менеджменту», «повинна бути економічно ефективною», «вимагає всеосяжного і комплексного підходу», «обмежується соціальними факторами», «повинна періодично зазнати перегляду», «обов'язки і відповідальність за комп'ютерну безпеку повинні бути чітко сформульовані», а «власники систем відповідають за безпеку за межами своєї організації». На основі цієї моделі в 2004 році NIST опублікував 33 принципи інженерного проектування систем забезпечення інформаційної безпеки, для кожного з яких були розроблені практичні керівництва і рекомендації, які донині постійно доповнюються і підтримуються в актуальному стані [26].

В 2009 році міністерство оборони США опублікувало «Три основні принципи комп'ютерної безпеки»: схильність системи [до ризику] (англ. System Susceptibility), доступність уразливості (англ. Access to the Flaw) і здатність експлуатувати уразливість (англ. Capability to Exploit the Flaw). В 2011 році міжнародний консорціум The Open Group опублікував стандарт управління інформаційною безпекою O-ISM3. Згідно із цим стандартом для кожної організації можливо ідентифікувати індивідуальний набір цілей безпеки, що ставляться до однієї з п'яти категорій, які відповідають тому або іншому компоненту тріади CIA: пріоритетні цілі безпеки (конфіденційність), довгострокові цілі безпеки (цілісність), цілі якості інформації (цілісність), цілі контролю доступу (доступність) і технічні цілі безпеки [26].

Із усіх згаданих вище категорій ІБ класична тріада CIA як і раніше залишається найбільш визнаною та розповсюдженою в міжнародному професійному співтоваристві. Вона зафіксована в національних і міжнародних стандартах і увійшла в основні освітні та сертифікаційні програми з ІБ.

Основне завдання інформаційної безпеки – це збалансований захист конфіденційності, цілісності і доступності даних, з урахуванням вимог її застосування без якого-небудь збитку продуктивності організації.

Це досягається, в основному, за допомогою багатоетапного процесу управління ризиками, які дозволяють ідентифікувати основні засоби і нематеріальні активи, джерела загроз, уразливості, потенційний ступінь впливу і можливості керування ризиками. Цей процес супроводжується оцінкою ефективності плану з управління ризиками.

Нині об'єкти інформаційного захисту можуть мати дуже різну та складну структуру, різний обсяг інформаційних ресурсів, різне територіальне розміщення, різні інформаційні загрози функціонування ІС та телекомунікаційних систем. Наприклад, ІС критичної інфраструктури держави будуть суттєво відрізнятися від ІС автоматизованих систем управління технологічними процесами. Тому для розробки та оцінки ефективності системи забезпечення інформаційної безпеки (СЗІБ) необхідний системний підхід. Методологічні питання оцінки ефективності СЗІБ об'єкта (підрозділу, компанії, установи і т. д.), що має у своєму складі інформаційні ресурси, ІС або телекомунікаційні системи, потребують визначення факторів (показників) та критеріїв, за якими буде проводитись оцінка.

При виборі критерію необхідно, щоб виконувалася наступна умова: критерії, які використані для вирішення завдань нижчого рівня, мають логічно збігатися із критеріями, які використовуються на наступному, більш високому рівні [27].

Основними принципами вибору показників і критеріїв мають бути:

- необхідність строгої відповідності цілі (задачі), яка поставлена перед системою;
- критичність до цілей дослідження (мають відповідати масштабу досліджень – незначна зміна процесу має викликати помітну зміну значення критерію);
- можливість повного урахування всіх факторів, які визначають ефективність системи;
- вибір таких критеріїв, при яких показники ефективності системи легко визначаються та обчислюються;
- простота, наочність, ясний фізичний зміст;
- відсутність протиріччя окремих показників загальному.

В якості інтегрального критерію оцінки стану ефективності системи забезпечення ІБ визначимо ефективність за сукупністю комплексних показників (факторів), які зумовлюють в цілому оцінку ефективності складових СЗІБ. Оцінку стану ефективності СЗІБ визначимо за формулою

$$S = \sum_{i=1}^N L_i E_i , \quad (1)$$

де  $L_i$  – вагові коефіцієнти комплексних факторів,  $E_i$  – значення  $i$ -го комплексного фактору складової СЗІБ,  $N$  – кількість комплексних факторів складових СЗІБ. Вагові коефіцієнти комплексних факторів складових СЗІБ визначаються на експертному рівні. Сума вагових коефіцієнтів повинна дорівнювати одиниці.

Визначимо шкалу оцінки стану ефективності СЗІБ наступним чином (таблиця 1).

Таблиця 1

Оцінка стану ефективності СЗІБ	Значення показника $S$
Дуже ефективна	$S > 0,8$
Ефективна	$0,6 < S < 0,8$
Недостатньо ефективна	$0,4 < S < 0,6$
Неефективна	$0,2 < S < 0,4$
Дуже неефективна	$0,2 < S$

Враховуючи, що оцінка стану ефективності СЗІБ та її складових є багатокритеріальною з великою кількістю невизначеностей та суперечностей, розробку методик оцінки необхідно здійснювати на основі статистичного та системного аналізу з використанням експертних методів.

На основі статистичної, нормативно-правової, наукової та експертної інформації, що необхідна для належної підготовки методичних та аналітичних матеріалів у галузі ІБ, проблему необхідно аналізувати в різних площинах, які включають нормативно-правові, інформаційні, політичні, економічні, інноваційні, наукові та інші аспекти. Значення вагових коефіцієнтів комплексних факторів на перших етапах проведення експертних опитувань можна визначити рівнозначними. У подальшому їх значення можуть уточнюватись, але у будь-якому разі їх сума повинна дорівнювати одиниці.

Для оцінки ефективності СЗІБ необхідно враховувати наступні головні фактори (таблиця 2):

- наявність інформаційних ресурсів, телекомунікаційних систем (ТКС) і ІС об'єкта захисту. З оцінки майна починається процес забезпечення інформаційної безпеки, визначення інформаційних активів об'єкта захисту, цілей та завдань забезпечення ІБ, факторів, що загрожують цій інформації і її уразливості, значимості загального ризику для об'єкта захисту. Залежно від майна й буде складатися політика безпеки (інформації в організації /об'єкті захисту) (англ. Organizationalsecurity policy) – як сукупність документованих правил, процедур, практичних рішень або керівних принципів в області безпеки інформації, якими керується організація у своїй діяльності;

- наявність інформаційних загроз об'єкту захисту. Це забезпечить виявлення безлічі потенційно можливих загроз і каналів витоку інформації; оцінки уразливості і ризиків інформації при наявній безлічі загроз і каналів витоку; визначення вимог до системи захисту; її організаційної структури, здійснення вибору засобів захисту інформації і їх характеристик;

- структури і завдання органів (підрозділів) у СЗІБ, що забезпечують ІБ. Це забезпечить впровадження і організацію використання обраних неформальних заходів, способів і засобів захисту;

- програмно-технічні способи і засоби забезпечення інформаційної безпеки ТКС та ІС в СЗІБ;

- ефективність функціонування системи менеджменту (керування) інформаційною безпекою (СМІБ) об'єкта захисту.

Таблиця 2

Позначення основних факторів	Найменування основних факторів
$E_1$	Оцінка наявності інформаційних ресурсів, ТКС і ІС на об'єкті захисту
$E_2$	Оцінка наявності інформаційних загроз об'єкту захисту
$E_3$	Оцінка структури і завдань органів (підрозділів) у СЗІБ, що забезпечують ІБ на об'єкті захисту
$E_4$	Оцінка програмно-технічних способів і засобів забезпечення інформаційної безпеки ТКС та ІС в СЗІБ
$E_5$	Оцінка ефективності функціонування СМІБ

Проаналізуємо перший головний фактор оцінки наявності інформаційних ресурсів, телекомунікаційних систем і ІС об'єкта захисту у формулі (1).

Значення 1-го комплексного фактору складової СЗІБ позначимо  $E_1$ . Оцінку цього фактору також можливо провести через фактори (показники) другого рівня за формулою

$$E_1 = \sum_{i=1}^K M_i D_i, \quad (2)$$

де  $K$  – кількість факторів другого рівня, що використовуються для розрахунку  $E_1$  (таблиця 3),  $M_i$  – вагові коефіцієнти комплексних факторів другого рівня,  $D_i$  – значення  $i$ -го комплексного фактору другого рівня. Вагові коефіцієнти комплексних факторів складових СЗІБ визначаються на експертному рівні. Сума вагових коефіцієнтів другого рівня також повинна дорівнювати одиниці. В таблиці 3 для характеристики об'єкта захисту для прикладу вибрані 3 фактори другого рівня.

Таблиця 3

Позначення факторів другого рівня	Найменування факторів другого рівня
$D_1$	Оцінка наявних інформаційних ресурсів об'єкта захисту
$D_2$	Оцінка наявних ІС
$D_3$	Оцінка наявних ТКС

Проаналізуємо другий головний фактор у формулі (1) щодо оцінки наявності інформаційних загроз об'єкту захисту  $E_2$ . Оцінку цього фактору також можливо провести через фактори (показники) другого рівня за формулою

$$E_2 = \sum_{i=1}^P G_i F_i, \quad (3)$$

де  $P$  – кількість факторів другого рівня, що використовуються для розрахунку  $E_2$  (таблиця 4),  $G_i$  – вагові коефіцієнти комплексних факторів другого рівня,



$F_i$  – значення  $i$ -го комплексного фактору другого рівня. Вагові коефіцієнти комплексних факторів складових СЗІБ визначаються на експертному рівні. Сума вагових коефіцієнтів другого рівня також повинна дорівнювати одиниці

$$\sum_{i=1}^P G_i = 1 \tag{4}$$

В залежності від характеристики об’єкта захисту, категорії інформації, яка знаходиться в ІС та ТКС, кількість факторів другого рівня, що використовуються для розрахунку  $E_2$ , може суттєво змінюватись. В таблиці 4 для характеристики інформаційних загроз об’єкту захисту вибрані 4 фактори другого рівня.

Таблиця 4

Позначення факторів другого рівня	Найменування факторів другого рівня
$F_1$	Оцінка кібернетичних загроз об’єкту захисту
$F_2$	Оцінка фізичних загроз ІБ об’єкту захисту
$F_3$	Оцінка інформаційних загроз ІБ ТКС та ІС
$F_4$	Оцінка загроз ІБ ТКС та ІС щодо їх знищення або виведення з ладу за допомогою систем РЕБ, оптико-електронних систем тощо

В таблиці 4 розглядаються фактори другого рівня, які характеризують інформаційні загрози, що можуть виникати: через процеси, процедури, програми обробки, передачі, зберігання інформації (кібернетичні загрози); через фізичне знищення ІС та ТК її носіїв (паперових, пристроїв пам’яті, дисків) тощо; через канали зв’язку (акустичні, інфрачервоні, провідні, радіоканали та ін.), через побічні випромінювання; знищення або тимчасове виведення з ладу ТКС та ІС за допомогою систем РЕБ, оптико-електронних засобів /лазерних/ тощо.

Проаналізуємо третій головний фактор  $E_3$  оцінки структури і завдань органів (підрозділів) у СЗІБ, що забезпечують ІБ на об’єкті захисту у формулі (1). Оцінку цього фактору також можливо провести через фактори (показники) другого рівня за формулою

$$E_3 = \sum_{i=1}^T R_i H_i \tag{5}$$

де  $T$  – кількість факторів другого рівня, що використовуються для розрахунку  $E_3$  (таблиця 3),  $R_i$  – вагові коефіцієнти комплексних факторів другого рівня,  $H_i$  – значення  $i$ -го комплексного фактору другого рівня. Вагові коефіцієнти  $R_i$  факторів другого рівня визначаються на експертному рівні. Сума вагових коефіцієнтів другого рівня також повинна дорівнювати одиниці. В таблиці 5 для характеристики оцінки структури і завдань органів (підрозділів) у СЗІБ, що забезпечують ІБ на об’єкті захисту, вибрані 3 фактори другого рівня.

Таблиця 5

Позначення факторів другого рівня	Найменування факторів другого рівня
$H_1$	Оцінка організації фізичного захисту об'єкта
$H_2$	Оцінка організації доступу до ІС
$H_3$	Оцінка організації доступу до ТКС

Фактично головний фактор  $E_3$  оцінює організаційний аспект забезпечення ІБ завдяки регламентації виробничої діяльності і взаємин виконавців на нормативно-правовій основі, що виключає або суттєво утрудняє неправомірне оволодіння конфіденційною інформацією і прояв внутрішніх і зовнішніх загроз. До системи організації фізичного захисту об'єкта, як правило, входять служба економічної безпеки; служба безпеки персоналу (режимний відділ); кадрова служба; служба інформаційної безпеки тощо. Організаційний захист забезпечує організацію:

- режиму і охорони з метою виключення можливості таємного проникнення сторонніх осіб на територію об'єкта захисту або у приміщення, де здійснюється робота з конфіденційною інформацією;
- роботи зі співробітниками, яка передбачає набір і розміщення персоналу, включаючи ознайомлення зі співробітниками, навчання правилам роботи з конфіденційною інформацією, ознайомлення із заходами відповідальності за порушення правил захисту інформації тощо;
- роботи з документами і документованою інформацією, роботи з ІС та ТКС, включаючи організацію розробки і використання документів і носіїв конфіденційної інформації, їх облік, виконання, повернення, зберігання і знищення;
- використання технічних засобів збору, обробки, нагромадження і зберігання конфіденційної інформації;
- роботи з аналізу внутрішніх і зовнішніх загроз конфіденційній інформації і вироблення заходів щодо забезпечення її захисту;
- використання технічних засобів безпеки з виявлення внутрішніх і зовнішніх загроз інформаційній діяльності;
- організацію роботи із проведення систематичного контролю над роботою персоналу з конфіденційною інформацією, порядком обліку, зберігання і знищення документів і технічних носіїв.

У кожному конкретному випадку організаційні заходи носять специфічну для даної організації форму і утримування, спрямовані на забезпечення безпеки інформації в конкретних умовах.

Проаналізуємо четвертий головний фактор  $E_4$  оцінки програмно-технічних способів і засобів забезпечення інформаційної безпеки ТКС та ІС в СЗІБ, що забезпечують ІБ на об'єкті захисту у формулі (1). Оцінку цього фактору також можливо провести через фактори (показники) другого рівня за формулою

$$E_4 = \sum_{i=1}^x V_i B_i, \quad (6)$$

де  $X$  – кількість факторів другого рівня, що використовуються для розрахунку  $E_4$  (таблиця 6),  $V_i$  – вагові коефіцієнти комплексних факторів другого рівня,

$V_i$  – значення  $i$ -го комплексного фактору другого рівня. Вагові коефіцієнти  $V_i$  факторів другого рівня визначаються на експертному рівні. Сума вагових коефіцієнтів другого рівня також повинна дорівнювати одиниці. В таблиці 6 для характеристики оцінки програмно-технічних способів і засобів забезпечення інформаційної безпеки ТКС та ІС в СЗІБ, що забезпечують ІБ на об'єкті захисту, вибрані 10 факторів другого рівня.

Таблиця 6

Позначення факторів другого рівня	Найменування факторів другого рівня
$V_1$	Оцінка можливості перерозподіляти ресурси мережі у випадках порушення працездатності окремих елементів
$V_2$	Оцінка системи аналізу і моделювання інформаційних потоків (Case-Системи)
$V_3$	Оцінка системи моніторингу мереж (Системи виявлення і запобігання вторгненню (IDS/IPS). Системи запобігання витокам конфіденційної інформації /DLP-системи/).
$V_4$	Оцінка антивірусних засобів
$V_5$	Оцінка міжмережевих екранів
$V_6$	Оцінка криптографічних засобів
$V_7$	Оцінка систем резервного копіювання
$V_8$	Оцінка систем безперебійного електроживлення
$V_9$	Оцінка систем аутентифікації і ідентифікації
$V_{10}$	Оцінка комплексу технічних заходів щодо контролю об'єктів ІС та ТКС (облаштування приміщення камерами спостереження, сигналізацією тощо)

Група програмно-технічних способів і засобів забезпечення інформаційної безпеки ТКС та ІС в СЗІБ включає велику кількість апаратних та програмних засобів. Основними з них є:

- резервне копіювання і окреме зберігання найбільш важливих масивів даних у ІС або ТКС – на регулярній основі;
- дублювання і резервування всіх підсистем мереж, які мають значення для збереження даних;
- створення можливості перерозподіляти ресурси мережі у випадках порушення працездатності окремих елементів;
- забезпечення можливості використовувати резервні системи електроживлення;
- забезпечення безпеки від пожежі або ушкодження устаткування водою;
- установка програмного забезпечення, яке забезпечує захист баз даних та іншої інформації від несанкціонованого доступу;
- установа комплексу технічних заходів щодо забезпечення контролю об'єктів комп'ютерних мереж, наприклад, облаштування приміщення камерами спостереження і сигналізацією;
- аутентифікація і ідентифікація.

Щоб виключити неправомірний доступ до інформації, застосовують такі способи, як ідентифікація та аутентифікація. Ідентифікація – це механізм присвоєння власного унікального імені або образу користувачеві, який

взаємодіє з інформацією. Аутентифікація – це система способів перевірки збігу користувача з тим образом, якому дозволений допуск. Ці засоби спрямовані на те, щоб надати або, навпаки, заборонити допуск до даних. Реально, як правило, це визначається трьома способами: програмою, апаратом, людиною. При цьому об’єктом аутентифікації може бути не тільки людина, а й технічні коштзасоби (комп’ютер, монітор, носії) або дані. Найпростіший спосіб захисту – пароль.

Для контролю витоків інформації використовують DLP-системи (Data Leak Prevention). Під DLP-системами (Data Leak Prevention) прийнято розуміти програмні продукти, що захищають організації від витоків конфіденційної інформації. Подібного роду системи створюють захищений цифровий «периметр» навколо організації, аналізуючи всю вихідну, а в ряді випадків і вхідну інформацію. Контрольованою інформацією може бути не тільки інтернет-трафік, але й ряд інших інформаційних потоків: документи, які виносяться за межі контуру, що захищається, контроль документів ІБ на зовнішніх носіях, що роздруковуються на принтері, що відправляються на мобільні носії через Bluetooth і т. д. Оскільки DLP-система повинна перешкоджати витокам конфіденційної інформації, то вона в обов’язковому порядку має вбудовані механізми визначення ступеня конфіденційності документа, виявленого в перехопленому трафіку.

Проаналізуємо п’ятий головний фактор  $E_5$  оцінки ефективності функціонування СМІБ, що забезпечують ІБ на об’єкті захисту у формулі (1). Оцінку цього фактору також можливо провести через фактори (показники) другого рівня за формулою

$$E_5 = \sum_{i=1}^Z W_i Q_i, \tag{7}$$

де  $Z$  – кількість факторів другого рівня, що використовуються для розрахунку  $E_5$  (таблиця 7),  $W_i$  – вагові коефіцієнти комплексних факторів другого рівня,  $Q_i$  – значення  $i$ -го комплексного фактору другого рівня. Вагові коефіцієнти  $W_i$  факторів другого рівня визначаються на експертному рівні. Сума вагових коефіцієнтів другого рівня також повинна дорівнювати одиниці. В таблиці 7 для характеристики оцінки ефективності функціонування СМІБ, що забезпечують ІБ на об’єкті захисту, вибрані 3 фактори другого рівня.

Таблиця 7

Позначення факторів другого рівня	Найменування факторів другого рівня
$Q_1$	Оцінка моніторингу ефективності функціонування СМІБ
$Q_2$	Оцінка системи управління ризиками функціонування СМІБ
$Q_3$	Оцінка системи впровадження змін з СЗІБ

Для оцінки ефективності функціонування СМІБ, що забезпечують ІБ на об’єкті захисту, нині використовують різні методи. В деяких випадках ці методи базуються на міжнародних стандартах. Наприклад, Міжнародною комісією зі стандартизації (ISO) та Міжнародною енергетичною комісією

(IEC) розроблена група стандартів ISO/IEC 27000, в яких міститься ряд рекомендацій і практичних порад для впровадження системи менеджменту інформаційної безпеки (СМІБ).

Крім стандартів серії ISO/IEC 27000, європейські держави розробляють і впроваджують власні нормативні документи, що визначають вимоги до забезпечення ІБ. Найчастіше національні стандарти, розроблені для внутрішньодержавного застосування, використовуються іншими державами. Наприклад, розроблені у Великобританії Практичні правила керування інформаційною безпекою BS 7799 вийшли за межі національного рівня. Вищезазначені правила використані у міжнародному стандарті ISO17799.

Ряд компаній для захисту власної конфіденційної інформації і сертифікації товарів, послуг і контролю СМІБ використовують стандарт ISO 9001. Згідно з моделлю менеджменту стандарту ISO 9001, процес створення, впровадження та контролю СМІБ включає чотири етапи, які позначаються аббревіатурою PDCA (табл. 8).

При впровадженні СМІБ шляхом PDCA система буде відповідати вимогам міжнародних стандартів сертифікації.

Слід зазначити, що методичний підхід PDCA є постійним циклічним процесом, завдяки якому СМІБ постійно удосконалюється.

Таким чином, використовуючи дані оцінок з таблиць 3–7 факторів другого рівня, можливо за формулами (2–7) здійснити розрахунок головних факторів оцінки ефективності СЗІБ, що визначені в таблиці 2. Використовуючи ці значення головних факторів за формулою (1), можливо розрахувати оцінку ефективності СЗІБ. Порівнюючи цю оцінку з даними таблиці 1, можливо оцінити рівень ефективності СЗІБ.

Таблиця 8

Етап	Назва етапу	Характеристика етапу
Plan	Плануй	На етапі Plan розробляють внутрішню нормативну документацію, проводять аудит систем, інвентаризацію можливих ризиків або критичних активів, розробляють систему технічних заходів.
Do	Роби	На етапі Do впроваджують розроблену систему і засоби оцінки ефективності вжитих заходів.
Check	Визначай	На етапі Check оцінюють якість роботи системи, причому оцінка повинна носити цільовий і регулярний характер.
Act	Дій	На етапі Act здійснюють доробку і усунення виявлених недоліків.

У запропонованій методиці оцінки рівня ефективності СЗІБ в залежності від цілей оцінки можливо змінювати як головні фактори в таблиці 2, так і фактори оцінки другого рівня. Фактори другого рівня також можливо розраховувати на основі експертних оцінок на основі факторів третього рівня, як це запропоновано в роботі [27].

## Висновки

1. По мірі розвитку ІС та ТКС і їх використання в економічному розвитку держав, національній безпеці, компаніях, суспільстві і окремими особами, кіберзлочинність стає ключовою загрозою розвитку світової економіки, а проблема забезпечення інформаційної безпеки буде ставати все актуальнішою. Тому провідні країни світу проблемі ІБ приділяють все більше уваги, а для її забезпечення формують відповідну нормативну базу і спеціальні інститути.

2. Проблема ІБ нині зачіпає не тільки окремі ІС та ТКС, окремі організації та компанії, а й в цілому держави та міждержавні відносини, з формуванням відповідних міждержавних угод у сфері ІБ. Питання ІБ регулярно обговорюються на зустрічах «Великої двадцятки», на майданчику ООН, на зустрічах міністрів телекомунікацій і інформаційних технологій країн різних союзів та блоків.

3. Вже сьогодні сформовані та продовжують удосконалюватись державні (національні) та міждержавні стандарти у сфері ІБ, зокрема стандарт «Критерії оцінки надійності комп'ютерних систем». «Оранжева книга» (США); Гармонізовані критерії європейських країн; Міжнародний стандарт ISO17799; Міжнародний стандарт ISO/IEC 15408 «Загальні критерії»; Стандарт COBIT; Регламент ЄС 2016/679 від 27 квітня 2016 року або GDPR – General Data Protection Regulation та інші.

4. По мірі розширення застосування ІС та ТКС у різних сферах економічної, політичної, екологічної, воєнної, наукової діяльності та інших галузях ІБ стала розглядатись як певний ризик для основної діяльності. При цьому для створення, аналізу та оцінки ефективності СЗІБ необхідна розробка методів оцінки ефективності СЗІБ, які необхідні для систем управління ризиками основної діяльності з включенням в цю систему проблеми ІБ. Тому запропонована методика оцінки ефективності СЗІБ з використанням міждержавних стандартів у сфері ІБ, експертних методів та системного аналізу, що реально дозволяє оцінити конкретні об'єкти інформаційного захисту (компанії, окремі підприємства, установи тощо) як з урахуванням ІС та ТКС на цих об'єктах, так і інших організаційних заходів.

5. Використання запропонованої методики оцінки ефективності СЗІБ в системі ризик-менеджменту бізнес-процесів дозволить більш ефективно управляти ризиками об'єктів інформаційного захисту (компаній, окремих підприємств, організацій тощо).

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Международный конгресс по кибербезопасности 5-6 июля 2018 года. Пленарное заседание. 06.07.2018. [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://kremlin.ru/events/president/news/57957>.
2. Statement from the Press Secretary. Whitehouse. 15.05.2019. [Електронний ресурс] – Режим доступу : <https://www.whitehouse.gov/briefings-statements/statement-press-secretary-56/>.
3. Трамп ввел чрезвычайное положение в США для защиты коммуникационных сетей. Ведомости. 16.05.2019. [Електронний ресурс] – Режим доступу : <https://www.vedomosti.ru/politics/news/2019/05/16/801521-tramp>.

4. Пентагон запретил контракты с РФ на запуск коммерческих спутников с 2023 года. Interfax.ru. 30.05.2019. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://www.interfax.ru/world/663107>.
5. Пять проблем и тенденций информационной безопасности: чего ожидать в 2018 году. Компания GlobalSign. 09.02.2018. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://habr.com/ru/company/globalsign/blog/348690/>.
6. Прогнозы по информационной безопасности на 2018 год. RVision. 01.06.2019. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://rvision.pro/blog-posts/prognozy-po-informatsionnoj-bezopasnosti-na-2018-god/>.
7. Прогнозы по информационной безопасности на 2019 год. RVision. 01.06.2019. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://rvision.pro/blog-posts/prognozy-po-informatsionnoj-bezopasnosti-na-2019-god/>.
8. Информационная безопасность (тренды). 2019: Топ-10 трендов в сфере кибербезопасности интернета вещей – Counterpoint Technology. Tadviser. 08.02.2019. [Электронный ресурс] – Режим доступа : [http://www.tadviser.ru/index.php/Статья: Главные\\_тенденции\\_в\\_защите\\_информации](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья: Главные_тенденции_в_защите_информации).
9. Статьи по информационной безопасности за 2016 год. МИРЭА. 01.06.2019. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://www.mirea.ru/umo/scientific-activities/articles-on-information-security-for-2016/>.
10. Шерстюк В.П. МГУ: научные исследования в области информационной безопасности. МГУ. 01.06.2019. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/BPA/892ea7cb332e596cc32571cb00319141>.
11. Вопросы информационной безопасности. 09.09.2014. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://www.marketing.spb.ru/mr/it/giss.htm>.
12. Складов Д. Как менялась информационная безопасность за последние 20 лет. Центр стратегических оценок и прогнозов. 06.05.2019. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://csef.ru/ru/oborona-i-bezopasnost/272/kak-menyalas-informacionnaya-bezopasnost-zapоследnie-20-let-8881>.
13. Информационная безопасность предприятия: ключевые угрозы и средства защиты. КР. 01.06.2019. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://www.kp.ru/guide/informatsionnaja-bezopasnost-predprijatija.html>.
14. A New National Security Strategy for a New Era. Whitehouse. 18.12.2019. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://www.whitehouse.gov/articles/new-national-security-strategy-new-era/>.
15. The National Defense Strategy. DOD/ 19.01.2018. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://dod.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/2018-National-Defense-Strategy-Summary.pdf>.
16. The National Military Strategy of the United States of America. 2015. JCS.mil. 15.05.2019. [Электронный ресурс] – Режим доступа : [https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Publications/2015\\_National\\_Military\\_Strategy.pdf](https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Publications/2015_National_Military_Strategy.pdf).
17. The National Cyber Strategy, (NCS). Whitehouse. 28.09.2018. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/09/National-Cyber-Strategy.pdf>.
18. Стратегія кібербезпеки України. Указ Президента України № 96/2016 від 15 березня 2016 року. 2019. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/96/2016#n11>.
19. Доктрина інформаційної безпеки України. Указ Президента України № 47/2017 від 25 лютого 2017 року 2019. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/47/2017>.
20. Закон України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України» № 2163-VIII від 05.10.2017. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 45, ст.403 із змінами. 2019. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19>.

21. Доктрина информационной безопасности РФ, 2016. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201612060002?index=0&rangeSize=1>.
22. Федеральный закон РФ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» от 27.07.2006 N 149-ФЗ. Консультант плюс. 27.05.2019. [Электронный ресурс] – Режим доступа : [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_61798/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61798/).
23. Федеральный закон РФ «О безопасности критической информационной инфраструктуры РФ» от 26.07.2017 N 187-ФЗ. Консультант плюс. 27.05.2019. [Электронный ресурс] – Режим доступа : [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_220885/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_220885/).
24. Центр национальной компьютерной безопасности Великобритании. 01.06.2019. [Электронный ресурс] – Режим доступа : [https://ru.wikipedia.org/wiki/Центр\\_национальной\\_компьютерной\\_безопасности\\_Великобритании](https://ru.wikipedia.org/wiki/Центр_национальной_компьютерной_безопасности_Великобритании).
25. ISO/IEC 27000 - серия международных стандартов, включающая стандарты по информационной безопасности, опубликованные совместно Международной Организацией по Стандартизации (ISO) и Международной Электротехнической Комиссией (IEC).
26. Информационная безопасность. Википедия. 01.06.2019. [Электронный ресурс] – Режим доступа : [https://ru.wikipedia.org/wiki/Информационная\\_безопасность](https://ru.wikipedia.org/wiki/Информационная_безопасность).
27. Методологічні аспекти оцінки стану військово-технічної політики та її складових : наук.-метод. видання. / В.П. Горбулін (кер. авт. кол.), В.В. Зубарев, О.П. Кутовий; О.О. Свергунов; С.М. Химченко. – К.: Інтертехнологія, 2009. – 208 с.

*Стаття надійшла до редакції 21.05.2019 і прийнята до друку після рецензування 10.06.2019*

## **REFERENCES (TRANSLATED AND transliterated)**

1. Plenarное zasedanie Mezhdunarodnogo kongressa po kiberbezopasnosti. (2018, July 06). Retrieved from <http://kremlin.ru/events/president/news/57957> (in Russian).
2. Statement from the Press Secretary. Whitehouse. (2019, May 15). Retrieved from <https://www.whitehouse.gov/briefings-statements/statement-press-secretary-56/>.
3. Vedomosti. (2019, May 16). Tramp vvel chrezvychajnoe polozhenie v SShA dlya zaschity kommunikacionnyh setej. Retrieved from <https://www.vedomosti.ru/politics/news/2019/05/16/801521-tramp> (in Russian).
4. Interfax.ru. (2019, May 30). Pentagon zapretil kontrakty s RF na zapusk kommercheskih sputnikov s 2023 goda. Retrieved from <https://www.interfax.ru/world/663107> (in Russian).
5. Kompaniya GlobalSign. (2018, February 09). Pyat' problem i tendencij informacionnoj bezopasnosti: chego ozhidat' v 2018 godu. Retrieved from <https://habr.com/ru/company/globalsign/blog/348690/> (in Russian).
6. Prognozy po informacionnoj bezopasnosti na 2018 god | R-Vision. (n.d.). Retrieved June 1, 2019 from <https://rvision.pro/blog-posts/prognozy-po-informatsionnoj-bezopasnosti-na-2018-god/> (in Russian).
7. Prognozy po informacionnoj bezopasnosti na 2019 god | R-Vision. (n.d.). Retrieved June 1, 2019 from <https://rvision.pro/blog-posts/prognozy-po-informatsionnoj-bezopasnosti-na-2019-god/> (in Russian).
8. Informacionnaya bezopasnost' (trendy). 2019: Top-10 trendov v sfere kiberbezopasnosti interneta veschej. (2019, February 8). Retrieved from <http://www.tadviser.ru/index.php/> (in Russian).
9. MIREA. (n.d.). Stat'i po informacionnoj bezopasnosti za 2016 god. Retrieved June 1, 2019 from <https://www.mirea.ru/umo/scientific-activities/articles-on-information-security-for-2016/> (in Russian).



10. Sherstyuk, V. P. (n.d.). MGU: Nauchnye issledovaniya v oblasti informacionnoj bezopasnosti. Retrieved June 1, 2019, from <http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/BPA/892ea7cb332e596cc32571cb00319141> (in Russian).
11. Voprosy informacionnoj bezopasnosti. (2014, September 9). Retrieved from <https://www.marketing.spb.ru/mr/it/giss.htm> (in Russian).
12. Sklyarov, D. (2019, May 6). Kak menyalas' informacionnaya bezopasnost' za poslednie 20 let. Retrieved from <http://csef.ru/ru/oborona-i-bezopasnost/272/kak-menyalas-informacionnaya-bezopasnost-za-poslednie-20-let-8881> (in Russian).
13. Informacionnaya bezopasnost' predpriyatiya: Klyuchevye ugrozy i sredstva zaschity. (n.d.). Retrieved June 1, 2019, from <https://www.kp.ru/guide/informatsionnaja-bezopasnost-predpriyatija.html> (in Russian).
14. A New National Security Strategy for a New Era. Whitehouse. (2017, December 19). Retrieved from <https://www.whitehouse.gov/articles/new-national-security-strategy-new-era/>
15. The National Defense Strategy. DOD. (2018, January 19). Retrieved from <https://dod.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/2018-National-Defense-Strategy-Summary.pdf>.
16. The National Military Strategy of the United States of America. 2015. JCS.mil. (n.d.). Retrieved May 15, 2019, from [https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Publications/2015\\_National\\_Military\\_Strategy.pdf](https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Publications/2015_National_Military_Strategy.pdf).
17. The National Cyber Strategy, (NCS). Whitehouse. (2018, September 28). Retrieved from <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/09/National-Cyber-Strategy.pdf>.
18. Strategiya Kiberbezpeki Ukrai'ny. (2016, March 15). *Ukaz Prezidenta Ukrai'ny № 96/2016*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/96/2016#n11> (in Ukrainian).
19. Doktrina informacijnoi bezpeki Ukrai'ny. (2017, February 25). *Ukaz Prezidenta Ukrai'ny № 47/2017*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/47/2017> (in Ukrainian).
20. Verhovna Rada Ukrai'ny. (2017, October 5). *Zakon Ukrai'ny «Pro Osnovni Zasadi Zabezpechennya Kiberbezpeki Ukrai'ny» № 2163-VIII* (Vidomosti Verhovnoi Radi (VVR), 2017, № 45, st.403 iz zminami). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19> (in Ukrainian).
21. Doktrina informacionnoj bezopasnosti RF, 2016. (n.d.). Retrieved from <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201612060002?index=0&rangeSize=1> (in Russian).
22. Federal'nyj Zakon RF «Ob Informacii, Informacionnyh Tehnologiyah i o Zaschite Informacii» (2006, July 27). Retrieved May 27, 2019, from [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_61798/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61798/) (in Russian).
23. Federal'nyj zakon RF «O bezopasnosti kriticheskoy informacionnoj infrastruktury RF» N 187-FZ (2017, July 26). Retrieved May 27, 2019, from [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_220885/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_220885/) (in Russian).
24. Centr nacional'noj komp'yuternoj bezopasnosti Velikobritanii. Retrieved June 1, 2019, from [https://ru.wikipedia.org/wiki/Centr\\_nacional'noj\\_komp'yuternoj\\_bezopasnosti\\_Velikobritanii](https://ru.wikipedia.org/wiki/Centr_nacional'noj_komp'yuternoj_bezopasnosti_Velikobritanii) (in Russian).
25. ISO/IEC 27000 – seriya mezhdunarodnyh standartov, vklyuchayuschaya standarty po informacionnoj bezopasnosti, opublikovannye sovместno Mezhdunarodnoj Organizacii po Standartizacii (ISO) i Mezhdunarodnoj `Elektrotehnicheskoy Komissii (IEC).
26. Informacionnaya bezopasnost'. Vikipediya. (n.d.). Retrieved June 1, 2019, from [https://ru.wikipedia.org/wiki/Informacionnaya\\_bezopasnost'](https://ru.wikipedia.org/wiki/Informacionnaya_bezopasnost') (in Russian).
27. Zubarev, V. V., Kutovij, O. P., Svergunov, O. O., & Himchenko, S. M. (2009). *Metodologichni aspekti ocinki stanu vijs'kovo-tehnichnoi politiki ta її skladovih : Nauk.-metod. vidannya* (V. P. Gorbulin, Ed.). Kyiv: Intertehnologiya (in Ukrainian).

*The article was received 21.05.2019 and was accepted after revision 10.06.2019*

**Чепков Ігор Борисович**

доктор технічних наук, професор, ЦНДІ ОБТ ЗС України

**Адреса робоча:** 03049 Україна, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 28

**e-mail:** *i.chepkov@mil.gov.ua*

ORCID ID 0000-0002-4294-4152

**Зубарєв Валерій Володимирович**

доктор технічних наук, професор, ЦНДІ ОБТ ЗС України

**Адреса робоча:** 03049 Україна, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 28

**e-mail:** *doktorzubarev.2016@gmail.com*

ORCID ID 0000-0002-4998-726X

**Свергунов Олександр Олексійович**

кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник НІСД

**Адреса робоча:** 01030 Україна, м. Київ, вул. Пирогова, 7А

**e-mail:** *asverg@niss.gov.ua*

ORCID ID 0000-0002-2158-1532

**Зубарєв Олександр Валерійович**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник ЦНДІ ОБТ ЗС України

**Адреса робоча:** 03049 Україна, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 28

**e-mail:** *aleksanderzubarev@gmail.com*

ORCID ID 0000-0001-5590-7660

UDC 004.82 + 004.91 + 005.94

**Oleksandr Y. Stryzhak**<sup>1</sup>, Doctor Habilitat (computer science), Supervisor Scientist  
ORCID ID 0000-0002-4954-3650 *e-mail*: sae953@gmail.com

**Hrihorii M. Potapov**<sup>1</sup>, PhD (computer science), Senior Scientist  
ORCID ID 0000-0002-5778-9327 *e-mail*: pgm201602@gmail.com

**Vitalii V. Prychodniuk**<sup>1</sup>, PhD (computer science), Junior Scientist  
ORCID ID 0000-0002-2108-7091 *e-mail*: tangens91@gmail.com

**Roman I. Chepkov**<sup>2</sup>, advisor to the director  
ORCID 0000-0003-2810-4576 *e-mail*: chepkovroman@ukr.net

<sup>1</sup>Institute for Telecommunications and Global Information Space of NASU, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Scientific and Research Institute of Geodesy and Cartography, Kyiv, Ukraine

## EVOLUTION OF MANAGEMENT – FROM SITUATIONAL TO TRANSDISCIPLINARY

**Abstract.** *The article examines the development of management as a system based on the analysis of information resources that determine management processes. The main stages of processing information database management systems – analysis, structuring, synthesis, selection are considered. Methodological apparatus, which is based on metacategory of transdisciplinarity is determined. The definition of the category of transdisciplinarity is also analyzed, its definition is given, its system components are described. Technological solutions for the creation of transdisciplinary systems are suggested. The conditions for the formation of a transdisciplinary display of network information resources as the basis of the control circuit are considered.*

**Key words:** *management; transdisciplinarity; efficiency; hyperproperty; recursion; reflection; reduction; ontology*

**О.Є. Стрижак<sup>1</sup>, Г.М. Потапов<sup>1</sup>, В.В. Приходнюк<sup>1</sup>, Р.І. Чепков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Науково-дослідний інститут геодезії і картографії, м. Київ, Україна

## ЕВОЛЮЦІЯ УПРАВЛІННЯ – ВІД СИТУАЦІЙНОГО ДО ТРАНСДИСЦИПЛІНАРНОГО

**Анотація.** *У статті розглядається розвиток управління як системи, в основу якої покладено аналіз інформаційних ресурсів, які визначають управлінські процеси. Розглядаються основні етапи обробки інформаційної бази систем управління – аналіз, структуризація, синтез, вибір. Визначається методологічний апарат, в основі якого лежить метакатегорія трансдисциплінарності. Також дається і аналізується визначення категорії трансдисциплінарності, описуються її системні складові. Запропоновані технологічні рішення щодо створення трансдисциплінарних систем. Розглядаються умови формування трансдисциплінарного відображення мережових інформаційних ресурсів, як основи контуру управління.*

**Ключові слова:** *управління; трансдисциплінарність; ефективність; гіпервласивість; рекурсія; рефлексія; редукція; онтологія*

## Вступ

Керівництвом міністерств і відомств України з метою підвищення ефективності діяльності в сучасних умовах проводиться реформування системи їх управління [1–7]. Здійснюються організаційно-штатні заходи, які спрямовані на зменшення витрат, що пов'язані з утриманням адміністративних структур.

Основними цілями при цьому визначено:

- спрощення та оптимізація процедури прийняття рішення для підвищення оперативності реагування на нові виклики та загрози, що виникають;

- раціональне використання ресурсів, які належать міністерствам та відомствам тощо.

Для досягнення цих цілей необхідне наукове обґрунтування механізму прийняття рішень у системі управління, окремих підсистем управління та уточнення завдань, на вирішення яких спрямовано систему, що створюється. Також при цьому необхідно врахувати результати аналізу еволюції управління, що в останні роки відбувається більш динамічно. Причиною цього є розвиток засобів, що використовуються під час прийняття рішень для оброблення невпинно зростаючого обсягу інформації, яку необхідно при цьому враховувати.

Під час аналізу еволюції управління, слід зазначити, що основою управління є певна система управлінських категорій, які визначають такі характеристики управлінської діяльності: для чого виконується процес управління; що є причиною виникнення цього процесу; на що цей процес направлений; який вид впливу має вироблятися у процесі управління. Управління здійснюється послідовно та поетапно. Етапами управління зазвичай є: постановка мети впливу; оцінка ситуації; визначення проблеми; вироблення управлінського рішення.

Результати аналізу дозволяють стверджувати, що управління – це завжди цілеспрямована діяльність і кожний процес управління здійснюється для досягнення певної мети. Тому процес управління передбачає, перш за все, постановку мети, заради якої він буде виконуватися. Недостатньо обґрунтована мета робить процес управління неефективним, а іноді й шкідливим для успішної діяльності організації.

Ситуація – стан керованої підсистеми або окремого об'єкта, який оцінюється відносно мети. Вона виникає в процесі управління під впливом зміни характеристик внутрішніх змінних установи (організації) або чинників зовнішнього середовища, в якому працює установа (організація). Ситуація може чинити на організацію або керований конкретний об'єкт позитивний вплив, підвищуючи ефективність, або негативний, зменшуючи її.

Численні ситуації, що впливають на організацію, як правило, є взаємопов'язаними. Одна ситуація викликає за собою багато інших. Тому перший процес управління, який виробляє реакцію на вплив ситуації, викликає появу інших процесів управління, а ті, у свою чергу, викликають нові процеси, тим самим створюючи постійні управлінські цикли.

Ситуації в процесі управління створюють проблеми, які мають вирішуватися особами, що приймають рішення. Проблема передбачає

виявлення основних протиріч між умовами роботи організації, породженими ситуацією, і необхідними умовами для досягнення організацією своєї мети.

Під час вирішення проблеми використовують системний підхід і простого переліку змінних, що викликали конкретну ситуацію та найбільше впливають на успіх організації, недостатньо для вибору кращого рішення. Для цього необхідно встановити взаємозв'язок між даними змінними і виробити комплексну реакцію на усунення небажаних впливів.

Вироблення управлінського рішення є заключним етапом і акумулює в собі вдалі і невдалі сторони попередніх етапів процесу управління й відкидає неефективні напрями діяльності керованих об'єктів або дій посадових осіб. Заключний етап в сучасних умовах безпосередньо залежить від рівня позиціонування на світовому ринку знань. Це підтверджує мережецентрична фаза еволюції, у яку вступив світ і яка функціонально реалізується на засадах трансдисциплінарної взаємодії усіх інформаційних ресурсів і процесів, що утворюють інтерактивну павутину, у середовищі якої забезпечується накопичення наукових і науково-технічних знань та їх інтегроване оброблення, реалізуються комунікації та підтримуються процеси прийняття рішень.

### Категорії управління

На сьогодні теорію управління можна охарактеризувати чотирма категоріями, які визначаються підходами з точки зору операціональності об'єктів та процесів управління (рис. 1).

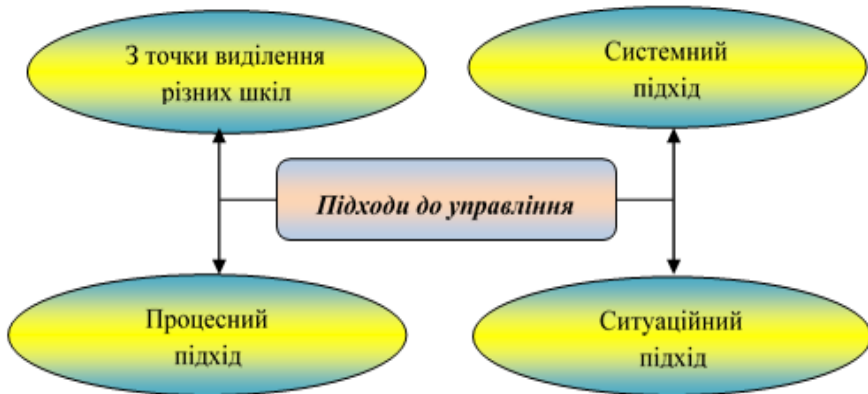


Рис. 1 – Класичні підходи до управління

Підхід з точки зору *виділення різних шкіл* включає в управління такі напрями: школа наукового й адміністративного управління, людських відносин, науки про поведінку з точки зору кількісних методів [1, 2, 6].

У *системному підході* організація приймається як відкрита система, що складається із сукупності взаємопов'язаних елементів (структури, задачі й технології), функціонування яких спрямовується на досягнення цілей в умовах змінного впливу зовнішнього середовища [6, 7].

Вихідним у системному підході є поняття цілі. Найявністю конкретної цілі – перша і найважливіша ознака організації, за якою дана система відрізняється

від інших оточуючих її систем. Завдання управління в цих умовах – забезпечити комплексний процес досягнення цілей, що стоять перед системою. Під час використання цього підходу припускають, що кожний з елементів системи має певні власні цілі і його сутність полягає в обґрунтуванні напрямів підвищення ефективності роботи організації в цілому.

Особливості системного підходу зводяться до:

- чіткого визначення цілей і встановлення їх ієрархії;
- досягнення найкращих результатів при найменших витратах шляхом використання інструментів порівняльного аналізу і вибору способів досягнення поставлених цілей;
- широкого всебічного оцінювання всіх можливих результатів діяльності з використанням кількісної інтерпретації цілей, визначенням методів і засобів їх досягнення.

Таким чином, зазначений підхід орієнтовано на досягнення цілей системи через вибір та реалізацію прийнятих рішень на основі врахування і аналізу всієї сукупності факторів, їх взаємозв'язку та взаємодії, що впливають на необхідність вирішення визначеної проблеми.

*Процесний підхід* розглядає управління як безперервну послідовність взаємопов'язаних управлінських функцій. У ньому приймається функціональний погляд на процес управління, в якому реалізуються такі функції, як планування, організація, мотивація і контроль за прийнятим рішенням. Функції є основою для розподілу управлінської праці, організації процесів управління, формування організаційних структур і, насамкінець, створення функціональних видів управління [2, 3].

*Ситуаційний підхід* базується на прийнятому припущенні, що використання різних методів управління визначається ситуаціями, на які необхідно реагувати [3–5]. Відповідно до того, що таких ситуацій безліч, припускається, що не існує єдиного оптимального способу управління і найбільш ефективним є метод, який відповідає ситуації, що склалася у даному випадку. Структурну схему концептуальної моделі ситуаційного підходу наведено на рис. 2.

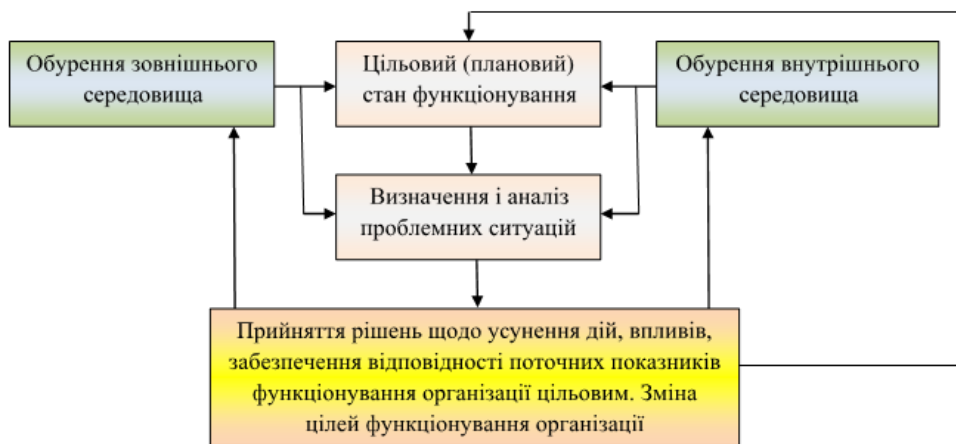


Рис. 2 – Структурна схема концептуальної моделі ситуаційного підходу

Розвиток динамічності процесів і необхідності оперативного прийняття рішень під час функціонування організації потребує ефективної взаємодії з мережевими, міждисциплінарними інформаційними ресурсами, розробки нових методів та засобів управління інформацією для забезпечення доступу до знань, їх об'єднання та формування нових знань. Тому, для більш об'єктивного управління необхідно розглядати відповідні об'єкти та процеси на основі аксіоматик декількох наукових дисциплін, що є найважливішим завданням під час прийняття рішень і потребує розроблення та обґрунтування розподілених мережових інформаційно-аналітичних систем підтримки прийняття рішень. Потрібно розглядати усю сукупність знань, положення якої відображають різні предметні області. Зазначена система функціонально реалізується на засадах трансдисциплінарної взаємодії усіх інформаційних ресурсів і процесів і формується на основі трансдисциплінарно зв'язаних між собою процесів добування, оброблення, зберігання, розповсюдження та використання інформації і знань, які необхідні під час формування рішень.

Відповідно до цього, виникає новий підхід – трансдисциплінарний [8–14], що обумовлює актуальність створення інтелектуальних аналітичних інструментів, які б були спроможні «перебрати» на себе взагалі частину функцій з основного когнітивного тракту людини. Цей підхід забезпечує достовірність та коректність процедури зв'язування тематичних контекстів інформаційних ресурсів глобального середовища на основі множинної впорядкованості [1, 2]. Більше того, усі мережеві інформаційні ресурси являють собою певну сукупність знань, які характеризують їх операціональність [1, 2].

Трансдисциплінарність в цьому переліку є замикаючою метакатегорією, яка ґрунтується на онтологічному представленні формального взаємозв'язку наукових розумінь окремих предметних областей знань (ПДО) та їх функціональної реалізації. При цьому забезпечується формування логічних метарамок, за допомогою яких знання, що відображають тематичні профілі цих предметних областей, можуть бути інтегровані на більш високому рівні абстракції. Трансдисциплінарні онтології забезпечують й реалізують синергію функціональної взаємодії різних предметних областей, включаючи й їх інтеграцію, яка використовується для інформаційно-аналітичного забезпечення підтримки прийняття рішень в контурі управління.

Таким чином, трансдисциплінарний підхід реалізує систематизацію, контекстний та структурний аналіз предметних знань, які відображаються у різних інформаційних ресурсах, забезпечуючи при цьому дослідження інформації.

Слід зазначити, що на процес взаємодії з інформаційними ресурсами глобального середовища впливають такі аспекти:

- синтаксичний, який стосується формальної правильності повідомлень з точки зору синтаксичних правил мови, що використовується, безвідносно до його змісту;
- семантичний, який відображає рівень понятійної взаємодії;
- прагматичний, який визначає операціональні аспекти їх використання.

Трансдисциплінарність інформаційного середовища визначається як множинна часткова впорядкованість таксономічних та операціональних властивостей концептуальних (онтологічних) моделей дисциплінарних метасистем, як певних систем представлення предметних знань.

При цьому категорія взаємодії з мережевими інформаційними ресурсами глобального середовища може розглядатися як певний процес використання будь-яких контекстів, що їх складають. І на сьогодні найбільш продуктивним та конструктивним є застосування онтологічного підходу [8, 15–20]. Онтологічні методи та системи забезпечують концептуальне відображення взаємодії мережових інформаційних процесів і систем в різних предметних областях.

Вони містять наступні системні компоненти:

- множину концептів як структуру семантичних одиниць-понять;
- формальну модель предметних знань, представлену за допомогою певної мови на основі опису концептуальної системи;
- функціональну модель, яка забезпечує уніфікацію термінології, логіку обробки таксономічних категорій і відношень між ними, а також аксіоматизацію описів процесів, причинних зв'язків і процедур онтології. В якості онтологічних систем, що різною мірою формалізовані, у літературі розглядаються такі категорії, як: словник з визначеннями; таксономія; тезаурус; аксіоматизована теорія тощо.

### Концептуальні засади трансдисциплінарного управління

Трансдисциплінарне використання інформаційних ресурсів реалізується на основі інтерпретації таких гіпервластивостей, як рефлексія, рекурсія та редукція [3, 8, 16, 17, 21–25]. Рефлексивність інформації полягає у її спроможності відображати явища, які можна трактувати як знання. Рекурсивність реалізується як здатність постійно використовувати ці знання в операціональному просторі експертів. Редуктивність забезпечує представлення описів явищ через спрощені дефініції.

Вказані гіпервластивості операціонально реалізуються на основі функціональності категорій *онтологія* та *нормальна система* [8, 25]. За рахунок цього вказані гіпервластивості інтерпретуються певними функціональними сервісами, які забезпечують когнітивні процедури, до складу яких входять аналіз, структуризація, синтез та вибір. Ці когнітивні процедури досить повно реалізують інтегровану взаємодію з інформаційними ресурсами [8, 17, 25].

Онтологія  $O$  являє собою концептуально-понятійний каркас усіх без виключення наукових теорій. Вона включає понятійну систему предметної області  $X$ , властивості об'єктів із множини  $X-R$ , включаючи відношення, які визначають їх взаємодію, та функції  $F$ , які інтерпретують ці властивості та відношення.

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

Якщо множину  $F$  представити у вигляді {дія – результати}, то ми отримаємо клас натуральних систем  $SN$ , які є певним натуральним покриттям множин  $X$  та  $R$ . Більше того, множина  $SN$  визначається множиною можливих наборів узгоджених дій зі множиною очікуваних результатів [25]. Також слід зауважити, що набір можливих дій  $F$  може бути визначений за умови, що кожен об'єкт зі множини  $X$  визначається певним набором зі множини  $R$ .



$$SN = (F, X / X(R)). \quad (2)$$

Виходячи з визначень (1) та (2), можна стверджувати, що довільну онтологію можна представити у вигляді натуральної системи та навпаки. Ця двоїстість їх існування визначає гіпервластивість пластичності цих категорій.

За рахунок їх пластичності можливе інтегроване відображення довільного інформаційного ресурсу, який включено у контур управління. Натуральна система  $SN$  забезпечує інтегроване відображення набору певних документів, якщо сформована онтологія  $O$ , яка забезпечує відображення понятійних систем предметних областей, що використовуються. Тоді реалізуються узгоджені дії, які визначають множину результатів взаємодії з документами. Вказані результати являють собою інтерактивний документ  $I$ , який змістовно являє собою інтегроване представлення частково впорядкованих контекстів усіх документів, що використовуються.

$$I = \langle O, SN \rangle. \quad (3)$$

Таким чином, пластичність натуральної системи та онтології забезпечує інтерактивну взаємодію з наявною в онтології інформацією у довільному контурі управління. Це, у свою чергу, реалізує формування аналітичних додатків в процесі управління. Аналітичний додаток  $AA$  (analytic application) задається на основі функціональних інтерпретацій  $F$  властивостей  $R$  понятійних систем онтології  $O$ , що використовується. Сформований на основі інтерактивного документу  $I$  аналітичний додаток  $AA$  може бути представлений у вигляді (4) [27].

$$AA = \langle X_g, R_g, A^{op}, S, O \rangle, \quad (4)$$

де  $X_g$  – множина об'єктних сутностей, над якими виконуються аналітичні операції для вирішення задачі;

$R_g$  – множина відношень між об'єктами понятійної системи, які визначають тип виконуваних операцій;

$A^{op}$  – множина аналітичних операцій над об'єктами, виконуваних в процесі вирішення задачі;

$S$  – множина станів задачі, які використовують зв'язані контексти в процесі її вирішення;

$O$  – онтологічний опис об'єктів, процесів і задач заданої предметної області.

Множина аналітичних операцій  $A^{op}$  визначає набір узгоджених дій натуральної системи, до складу якого входять когнітивні операції структуризації; аналізу/виділення проблеми; синтезу та вибору. Варіативність їх використання задається гіпервластивістю рефлексивності  $R_{ref}$ , яка включає ці операції до контуру управління та забезпечує знаходження різних рішень і вибір найбільш оптимального [17, 23, 25]. Ця варіативність певним чином залежить, згідно з виразами (2)–(4), від наявності та суттєвості міжконтекстної зв'язності об'єктів, які використовуються у процесі взаємодії. Це визначається вибором аналітичної операції  $A^{op}$  конкретного стану зв'язності контекстів інтерактивного документу  $I$ . Вказану зв'язність представлено у вигляді виразу (5):

$$R_{ref} = (A^{op}, I). \quad (5)$$

Таким чином, рефлексія, представлена виразом (5), визначає умови активізації когнітивних операцій на основі уточнення контекстної значимості та зв'язності об'єктів й процесів управління.

Одним із системних компонентів інтерактивного документа є онтологія. Когнітивні узгоджені операції натуральної системи, як другої системної компоненти інтерактивного документа, забезпечують інтерпретацію гіпервластивостей рекурсія  $R_{rec}$  та редукція  $R_{red}$ . Вказані гіпервідношення утворюють множину  $Gr$ , яку задано над множинними бінарними відношеннями часткової упорядкованості, що визначають таксономічну ієрархію онтологічної системи [21–26].

Інше представлення рефлексії, у вигляді виразу (6), визначає, що кожен контекст понятійної системи онтології є частиною самого себе.

$$\forall xR(x, x) \rightarrow XGX=X. \quad (6)$$

Це дозволяє уявити певні предикативні вирази, що формуються на основі об'єктів понятійної системи онтології із заданим множинним відношенням часткової упорядкованості у вигляді рекурсивного предиката [21–25]:

$$Pr(x_1, \dots, x_n) = \begin{cases} 1, & \neg Pr(X Gr x_i) \wedge Pr(x_1, \dots, x_n) \\ 0, & Pr(X Gr x_i) \end{cases} \quad (7)$$

де  $x_i \in X; 1 \leq i \leq n$ ,  $X$  – понятійна система онтології й інтерактивного документа.

Фактично предикат виду (7) дозволяє визначити, які об'єкти онтологічної системи володіють даною властивістю. Сформувавши множину класів об'єктів онтологічної системи за допомогою предикативного виразу виду (7), ми отримуємо таксономію  $T$ , над якою задано множинне бінарне відношення «частина-ціле». Така таксономія може мати складну структуру низхідних ієрархій. Кожний складник являє собою клас об'єктів, що мають як мінімум одну загальну семантичну властивість.

$$Pr(x_1, \dots, x_n) = 0 \Rightarrow \exists T \subseteq \check{T}: \forall x \in X \exists Y \subseteq X: T = YGrx. \quad (8)$$

Гіпервідношення  $Gr$  визначає взаємодію між об'єктами кожної таксономії, виділеної з різних класів предметної області. Відповідно до цього, рекурсивний предикат виду (7) дозволяє визначити нові види таксономії онтологічної системи. Особливу роль у формуванні нових таксономій відіграє, крім рекурсивних предикатів, функція вибору. У термінах таксономічних категорій вона має наступний вигляд:

$$\forall T [\emptyset \notin T \Rightarrow \exists F: T \rightarrow \cup T, \forall T \in \check{T} (F(T) \in \check{T})]. \quad (9)$$

Тоді характеристична функція рекурсивного предиката (7) може визначати умови застосовності функції вибору при формуванні множини таксономій онтологічної системи. Якщо значення характеристичної функції дорівнює нулю, то ми виділили множину об'єктів, з контекстів яких неможливо сформувати істинні висловлювання, тому вони не володіють жодним з бінарних гіпервідношень упорядкованості. В протилежному випадку

характеристична функція приймає значення 1, а з множини контекстів обраних об'єктів формують істинні висловлювання.

Згідно з цим, над ними можуть бути визначені гіпервідношення  $Gr$ . Тобто, завжди можна знайти непорожню множину об'єктів онтологічної системи, де існує хоча б один з типів відношень упорядкованості виду і контексти об'єктів, пов'язані таким відношенням, можуть утворювати істинні висловлювання. Таким чином, ця умова задає індуктивність процесу формування множин зв'язних між собою контекстами об'єктів, між якими встановлюються гіпервідношення  $Gr$ , і фактично конструюється таксономія та/або таксономічна категорія. На підставі тверджень, наданих у вигляді (6)–(9), ця умова може бути представлена в наступному вигляді:

$$\exists P \subseteq Gr, \exists p \in P, \forall x \in X \exists Y \subseteq X : YGrx \Rightarrow \exists T = YGrx. \quad (10)$$

Індуктивність виразу (10) задається послідовністю застосування предикативного виразу виду (7) і (8) до множини об'єктів онтологічної системи  $O$  й послідовного формування множини інтерактивних документів  $I$ , як системного компоненту контуру управління.

Послідовність виразів (1)–(10) фактично визначають індуктивність формування і рекурсії  $R_{rec}$ , як гіпервластивості, що забезпечує міжконтекстну зв'язність об'єктів інтерактивного документа.

Однак повне визначення когнітивних операцій, які оперують контекстами інтерактивного документа, потребує ще визначення редукції, яка забезпечує конвертацію складних представлень міжконтекстних зв'язків об'єктів контуру управління у більш прості вирази.

Таку гіпервластивість, як редукція, та її функціональну інтерпретацію найбільш конструктивно описувати в термінах  $\lambda$ -теорії.  $\lambda$ -теорія ( $\lambda$ -числення) – формальна теорія, розроблена для формалізації і аналізу поняття обчислюваності [28]. Поняття редукції є досить конструктивним для представлення взаємодії всіх системних утворюючих онтології в термінах  $\lambda$ -числення. Системні складові визначаються канонічною формою онтології, і як вже було зазначено вище, це – кількість об'єктів онтології, множина відношень між ними і множина інтерпретуючих функцій. Якщо формувати  $\lambda$ -вирази за кожною категорією окремо, то ми все одно отримуємо безтипові вирази, які відображають набори певних правил, згідно з якими можуть бути сформульовані розв'язувані твердження.

Основними поняттями  $\lambda$ -теорії є аплікація (застосування функції до аргументу) і абстракція. Абстракція означає, що якщо  $t(x)$  – вираз, який, можливо, містить в собі вільну змінну  $x$ , то запис  $\lambda x. t(x)$  – це функція  $f$ , яка ставить у відповідність значенню  $a$  значення  $t(a)$ , інакше кажучи, має місце рівність (11).

$$(\lambda x. t(x))a = t(a), \quad (11)$$

де  $x$  – певна змінна;

$t$  – вираз, що містить, можливо, входження змінної  $x$ ;

$a$  – аргумент, що визначає значення  $x$ .

Центральним елементом  $\lambda$ -теорії є поняття терму [23, 24, 28]. Множина  $\Lambda$   $\lambda$ -термів визначається індуктивно, як показано виразом (12):

$$\begin{aligned} x \in \Lambda \\ M \in \Lambda \Rightarrow (\lambda x M) \in \Lambda \\ M, N \in \Lambda \Rightarrow (MN) \in \Lambda \end{aligned} \tag{12}$$

де  $x$  – довільна змінна;  
 $M, N$  – довільні терми.

Крім того, в  $\lambda$ -теорії діє так зване спостереження Штейнфінкеля (13), що дозволяє зводити функції багатьох аргументів до функції одного аргументу [28].

$$\lambda x_1 \dots x_n. M = \lambda x_1 (\lambda x_2 (\dots (\lambda x_n. (M)) \dots)), \tag{13}$$

де  $x_i$  – довільні змінні;  
 $M$  – довільний терм.

Важливе значення має поняття  $\beta$ -редукції, яке можна визначити як відношення (14) між двома термами:

$$\beta = \{((\lambda x. M)N, M[x := N]) \mid M, N \in \Lambda\}, \tag{14}$$

де  $x$  – довільна змінна;  
 $M, N$  – довільні терми;

$M[x := N]$  – вираз, отриманий підстановкою  $N$  замість змінної  $x$  у виразі  $M$ .

Поняття редукції в  $\lambda$ -численні може бути визначено як бінарне відношення  $r$  над множиною абстракцій  $\lambda$ -термів –  $\Lambda$  [28]. Редукція  $R_{red}$  має властивості транзитивності, рефлексивності і є бінарним відношенням. Тут слід зазначити, що будь-яка онтологічна система може бути представлена таксономією об'єктів, яка відображає ієрархічні відношення між ними. Причому над таксономією онтології задано множинне відношення часткової упорядкованості  $\tilde{r}$ . Тобто, ми можемо визначити відношення  $\tilde{r}$  як редукцію  $R_{red}$  на множині абстракцій  $\lambda$ -термів –  $\Lambda$ , де терми – суть твердження із контекстів об'єктів онтології, що представлені у вигляді виразів (10)–(14).

Тобто, ми конструємо математичні вирази, які інтерпретуються смислами і контекстами конкретних тверджень. І проблема полягає в тому, щоб семантично синхронізувати і зв'язати відповідні твердження. При вирішенні зазначеної проблеми ми отримуємо певну повноту інтерпретаційних моделей, представлених у вигляді вирішуваних тверджень. Всі контексти об'єктів, що утворюють ці твердження, обов'язково мають певну ієрархічну підпорядкованість, що утвориться на основі множинного відношення часткової упорядкованості  $\tilde{r}$ . І ці ієрархічні відношення точно визначають об'єктні класи [29], утворені об'єктами онтології на підставі виділених властивостей і бінарних відношень.

Синхронізація смислів і контекстів всіх тверджень вимагає формування певних правил, які враховують типи їх відношень і властивостей, а також функціональність, яка визначається цими властивостями. Для цього потрібні інструменти, що володіють певною синтаксичною виразністю. Однак, це не відводить нас від проблеми, яку ми вже визначили – семантичної синхронізації контекстів використовуваних типів даних, а тільки ускладнює її рішення.

Згідно з вищенаведеним, ми можемо побудувати вирази із  $\lambda$ -термів, які будуть включати в себе як концепти, так і відношення з функціями. Так як на

множині цих виразів задається відношення  $\tilde{r}$ , то ми можемо це відношення визначити як редукцію  $R_{red}$  на множині абстракцій  $\Lambda$ . Так як абстракція в  $\lambda$ -численні трактується як певний засіб конструювання нових функцій з виразів виду (11), то можливе формування досить складних функціональних виразів з  $\lambda$ -термів, які дозволять зв'язати концепти, їх відношення, властивості і функції інтерпретації контекстів концептів онтології.

Тобто, так як редукція  $R_{red}$  забезпечує підстановку одних виразів в  $\lambda$ -записи замість інших, то використовуючи вирази виду (11)–(14), ми можемо побудувати пов'язані за значеннями змінних і аргументів розв'язувані  $\lambda$ -вирази. Ці вирази можуть бути аплікаціями – функціями, застосованими як до конкретних змінних, так і до абстракцій – складних  $\lambda$ -виразів, які дозволяють пов'язувати контексти конкретних концептів онтологічної системи. При цьому, змінним функцій в  $\lambda$ -виразі ставляться у відповідність контексти об'єктів онтології, пов'язані між собою  $\tilde{r}$  і такі, що беруть участь у конструюванні абстракції як складної функції виду (12)–(14).

В рамках формалізму, прийнятого в  $\lambda$ -численні [7], описані правила застосування редукції  $r$  можуть бути представлені в наступному вигляді:

$$R_{red} = \{(\lambda x. L_1)L_2, L_3[x = L_2]\}, \quad (15)$$

де  $L_j \in \Lambda$ , тобто  $L_j$  являється абстракцією у  $\lambda$ -виразі вигляду (15).

У зв'язку з цим, весь етап побудови онтологічної системи може бути представлений множиною складних  $\lambda$ -виразів виглядів (11)–(15). І якщо для декларативного подання онтології достатньо одного з виразів (11)–(14), то її активне використання при взаємодії з різними мережевими інформаційними ресурсами вимагає обов'язкового застосування редукції (15).

Таким чином, основною конструктивною перевагою редукції є її використання у якості множинного відношення часткової упорядкованості, яке забезпечує поетапне зв'язування концептів на основі врахування їх властивостей і контекстів як функціональних інтерпретаторів ієрархічно пов'язаних об'єктів. Ієрархію, чи точніше таксономію, тепер вже  $\lambda$ -термів і  $\lambda$ -виразів визначає редукція множини абстракцій  $\Lambda$ . Причому між множинним відношенням часткової упорядкованості  $\tilde{r}$ , заданим на множині об'єктів  $X$  онтологічної системи, і редуктором множин абстракцій  $\Lambda$  може бути завжди визначено неперервне відображення. Тобто, вся множина детермінованих станів взаємодії онтологічної системи може безперервно відобразитися в множину функціональних безтипових виразів, прийнятих в теорії  $\lambda$ -числення. Таке відображення, крім властивості безперервності, володіє також властивістю оборотності, симетричності, рефлексивності і транзитивності. Тоді відображення між онтологією і її множиною абстракцій має властивість еквівалентності.

Цікавим є те, що існує відображення з властивістю еквівалентності між структурами, які не можуть мати таку властивість. Ця властивість множинного відношення бінарної упорядкованості дозволяє визначати способи взаємодії між топологічними множинами, що можуть становити функціональні властивості онтологічних систем:

$$(R_{red} \rightarrow \tilde{r}) \Rightarrow ((X, R, Rul) \rightarrow \Lambda). \quad (16)$$

Вирази (1)–(16) визначають трансдисциплінарність інтерактивного документа як базового системного компонента контуру управління. Вони забезпечують знаходження різних рішень у процесі вирішення задач, що входять у контур управління, на основі інтерпретації властивостей об'єктів онтологічних систем, що взаємодіють. Це фактично відображає людську здатність варіативно мислити.

### Технологічні рішення трансдисциплінарного підходу

Реалізація трансдисциплінарного підходу управління може реалізовуватися на базі когнітивної трансдисциплінарної мережевої технології ІТ-ТОДОС [8, 30–32]. Ця технологія показала ефективність розроблених методів та засобів типізації трансдисциплінарних онтологічних моделей у процесі інтегрованої взаємодії з контекстами, які відображають семантичні властивості інформаційних ресурсів глобального середовища. На основі використання моделей відображення впорядкованої множинності семантичних властивостей об'єктів забезпечується трансдисциплінарна інтеграція інформаційних ресурсів на кожному кроці взаємодії з ними.

Програмна система трансдисциплінарного представлення мережевої інформації є системою, призначеною для обробки великих масивів слабо і неструктурованих документів, що можуть бути представлені у вигляді природномовних текстів [16, 30, 32]. Система виконує виділення з них інформації за заданими користувачем правилами, її представлення у вигляді онтологічної структури, а в подальшому – трансдисциплінарне представлення.

Система трансдисциплінарного представлення мережевої інформації призначена для реалізації множини компонентів інформаційної технології структуризації текстів [8, 31, 32], а також розширення множини компонентів інформаційної технології представлення інформації, що реалізується системою ТОДОС.

З точки зору програмної інженерії програмна система розглядається у вигляді набору описів, які представлені у вигляді математичних моделей, формалізмів і технік моделювання [33, 34].

Структура математичних моделей ПС такого роду включає в себе такі моделі [33, 34]:

- 1) інформаційна модель;
- 2) функціонально-компонентна модель.

Інформаційна модель використовується для представлення і опису потоків інформації, структур даних, а також програмних модулів в програмній системі.

Узагальнена інформаційна модель програмної системи трансдисциплінарного представлення мережевої інформації  $\Pi_R$  має вигляд (17). Вона представляється деякою скінченною сукупністю програмних модулів  $\Pi_{R_i}$ , що інтегруються в інформаційно-аналітичну систему ТОДОС  $\Pi_T$

$$\Pi_R = \sum_{i=1}^n \Pi_{R_i} \cup \Pi_T \quad (17)$$

При цьому реалізується відображення  $G_{\Pi_R}$  інтеграції функцій окремих програмних модулів системи, що має вигляд (18). Дане відображення перетворює об'єднання множини функцій  $S_{R_i}$  кожного з її програмних модулів  $\Pi_{R_i}$  в узагальнену (цільову) функцію  $F_R$  – трансдисциплінарне представлення мережевої інформації.

$$G_{\Pi_R} : \bigcup_{i=1}^n S_{R_i} \rightarrow F_R \quad (18)$$

Система ТОДОС, у свою чергу, також має велику кількість багатофункціональних модулів різного призначення. В роботі системи трансдисциплінарного представлення мережевої інформації використовується тільки сукупність  $\Pi_T^R \subset \Pi_T$  модулів, що релевантні задачі формування шарів ГС. Таким чином, формули (17) і (18) перетворюються в (19) і (20).

$$\Pi_R = \sum_{i=1}^n \Pi_{R_i} \cup \sum_{i=1}^m \Pi_{T_i}^R \quad (19)$$

$$G_{\Pi_R} : \bigcup_{i=1}^n S_{R_i} \cup \bigcup_{i=1}^m S_{T_i}^R \rightarrow F_R \quad (20)$$

Сукупність модулів системи трансдисциплінарного представлення мережевої інформації, що входять до складу базової структури ТОДОС, можна розглядати як окрему підсистему – підсистему структуризації тексту  $\Pi_{TX} = \sum_{i=1}^n \Pi_{R_i}$ . Дана сукупність має вигляд (21).

$$\Pi_{TX} = \{ \Pi_{\text{ПА}}, \Pi_{\text{ЛА}}, \Pi_{\text{ШШ}}, \Pi_{\text{ЗШ}}, \Pi_{\text{П}}, \Pi_{\text{ВГТ}}, \Pi_{\text{ФТД}}, \Pi_{\text{РШ}} \} \quad (21)$$

Розглянемо детальніше функції різних модулів підсистеми виділення мережевої інформації з тексту.

$\Pi_{\text{ПА}}$  – модуль виконання попереднього аналізу вхідного документа. Даний модуль необхідний для приведення документа до текстового формату. Множина функцій даного модуля має вигляд (22):

$$S_{\text{ПА}} = \langle S_1^{\text{ПА}}, S_2^{\text{ПА}}, S_3^{\text{ПА}}, S_4^{\text{ПА}}, S_5^{\text{ПА}} \rangle \quad (22)$$

До його функцій відносяться:

- 1)  $S_1^{\text{ПА}}$  – зчитування вхідного файлу одного з підтримуваних форматів (текст, документи Word, електронні таблиці Excel, файли HTML та ін.);
- 2)  $S_2^{\text{ПА}}$  – отримання текстової інформації, що знаходиться у файлі;
- 3)  $S_3^{\text{ПА}}$  – нормалізація кодування отриманої текстової інформації;
- 4)  $S_4^{\text{ПА}}$  – виділення і збереження оригінальної розмітки вхідного документа;

5)  $S_5^{ЛА}$  – збереження вкладеної в документ мультимедійної інформації (картинок, відео, аудіо та ін.), якщо тип вхідного документа підтримує це. Вихідними даними для даного модуля є текстовий файл.

$П_{ЛА}$  – модуль виконання лексичного аналізу (23).

$$S_{ЛА} = \langle S_1^{ЛА}, S_2^{ЛА}, S_3^{ЛА}, S_4^{ЛА}, S_5^{ЛА}, S_6^{ЛА}, S_7^{ЛА}, S_8^{ЛА} \rangle \quad (23)$$

Функції модуля:

- 1)  $S_1^{ЛА}$  – зчитування вхідного текстового файлу;
- 2)  $S_2^{ЛА}$  – розбиття вхідного тексту на речення, а речень – на лексеми (слова і символи);
- 3)  $S_3^{ЛА}$  – нормалізація розбиття у відповідності з правилами мови (наприклад, видалення розривів речень, викликаних крапками в складі скорочень і чисел);
- 4)  $S_4^{ЛА}$  – нормалізація слів;
- 5)  $S_5^{ЛА}$  – визначення частини мови для слів і деяких символів (таких як тире, що замінює певне слово);
- 6)  $S_6^{ЛА}$  – визначення додаткових характеристик лексем;
- 7)  $S_7^{ЛА}$  – визначення синтаксичних зв'язків між лексемами;
- 8)  $S_8^{ЛА}$  – формування структур даних первинного представлення тексту.

$П_{ІІІ}$  – модуль інтерпретації шаблонів (24).

$$S_{ІІІ} = \langle S_1^{ІІІ}, S_2^{ІІІ}, S_3^{ІІІ}, S_4^{ІІІ} \rangle \quad (24)$$

Функції модуля:

- 1)  $S_1^{ІІІ}$  – зчитування файлів шаблонів;
- 2)  $S_2^{ІІІ}$  – формування внутрішнього представлення для предикатів, з яких формуються шаблони;
- 3)  $S_3^{ІІІ}$  – формування внутрішнього представлення для шаблонів правил;
- 4)  $S_4^{ІІІ}$  – формування внутрішнього представлення для правил ідентифікації інформації.

$П_{ЗІІ}$  – модуль застосування шаблонів (25):

$$S_{ЗІІ} = \langle S_1^{ЗІІ}, S_2^{ЗІІ}, S_3^{ЗІІ}, S_4^{ЗІІ} \rangle \quad (25)$$

- 1)  $S_1^{ЗІІ}$  – вибірка підпоследовностей лексем з вхідного тексту;
- 2)  $S_2^{ЗІІ}$  – вибірка шаблонів-кандидатів з наявної множини шаблонів;



- 3)  $S_3^{3II}$  – застосування шаблонів-кандидатів до вибраних підпоследовностей лексем;
- 4)  $S_4^{3II}$  – вибір шаблону, що найкраще відповідає вхідній підпоследовності.

$PII$  – модуль інтерпретації інформації (26):

$$S_{II} = \langle S_1^{II}, S_2^{II}, S_3^{II}, S_4^{II} \rangle \quad (26)$$

- 1)  $S_1^{II}$  – вибір застосовної функції інтерпретації інформації;
- 2)  $S_2^{II}$  – встановлення відповідності між елементами вхідної підпоследовності, що містить інформацію, і аргументами вибраної функції інтерпретації;
- 3)  $S_3^{II}$  – застосування функції інтерпретації;
- 4)  $S_4^{II}$  – визначення належності отриманої інформації до географічної.

$PIV$  – модуль валідації географічної інформації (27):

$$S_{IV} = \langle S_1^{IV}, S_2^{IV}, S_3^{IV}, S_4^{IV} \rangle \quad (27)$$

Функції модуля:

- 1)  $S_1^{IV}$  – визначення коректності всіх частин географічної інформації (наприклад, в географічних координатах значення градусів не повинно перевищувати 180);
- 2)  $S_2^{IV}$  – нормалізація координат, при необхідності – переведення їх в систему координат WGS-84 [35];
- 3)  $S_3^{IV}$  – геокодування текстових адрес за допомогою основної або резервних систем геокодування [35];
- 4)  $S_4^{IV}$  – визначення належності результату до географічної області.

$PIV$  – модуль формування онтологій (28):

$$S_{IV} = \langle S_1^{IV}, S_2^{IV}, S_3^{IV}, S_4^{IV} \rangle \quad (28)$$

Функції модуля:

- 1)  $S_1^{IV}$  – нормалізація строкового представлення об'єктів, описаних в тексті;
- 2)  $S_2^{IV}$  – формування ієрархії об'єктів згідно з наданою текстом інформацією;
- 3)  $S_3^{IV}$  – формування атрибутів об'єктів, зокрема тих, що містять географічну інформацію;
- 4)  $S_4^{IV}$  – запис результуючої таксономії у файл формату XML [1, 121, 124].

$P_{PШ}$  – модуль редактора шаблонів. Даний модуль являє собою користувацький інтерфейс системи. Він містить в собі набір візуальних редакторів для різноманітних структур даних, що використовуються системою. Множина функцій даного модуля має вигляд (29):

$$S_{PШ} = \langle S_1^{PШ}, S_2^{PШ}, S_3^{PШ}, S_4^{PШ}, S_5^{PШ}, S_6^{PШ}, S_7^{PШ}, S_8^{PШ} \rangle \quad (29)$$

Функції модуля:

- 1)  $S_1^{PШ}$  – створення і редагування предикатів ідентифікації інформації;
- 2)  $S_2^{PШ}$  – створення і редагування правил ідентифікації інформації;
- 3)  $S_3^{PШ}$  – встановлення відповідності між правилами ідентифікації інформації і функціями інтерпретації;
- 4)  $S_4^{PШ}$  – перегляд результатів лексичного аналізу тексту;
- 5)  $S_5^{PШ}$  – автоматизоване створення правил і предикатів на основі результатів лексичного аналізу;
- 6)  $S_6^{PШ}$  – перегляд результатів роботи системи;
- 7)  $S_7^{PШ}$  – виправлення і уточнення результатів роботи системи;
- 8)  $S_8^{PШ}$  – формування файлів шаблонів.

Функціонально-компонентна модель використовується для представлення взаємодій, відношень і залежностей програмних модулів, а також для детального опису компонентів системи. Узагальнено дану модель для програмного комплексу трансдисциплінарного представлення геопросторової інформації можна представити структурою (30):

$$S_R = \langle M_D, M_S, M_P, M_C, P_0(M_D, M_S) \rangle \quad (30)$$

Елементи, що входять в дану модель:

- 1)  $M_D$  – модель, що задає поведінку системи;
- 2)  $M_S$  – модель, що задає структуру системи;
- 3)  $M_P$  – модель, що задає структуру програмних сутностей;
- 4)  $M_C$  – модель (схема) компонентів програмної системи;
- 5)  $P_0(M_D, M_S)$  – предикат цілісності системи.

Використання ІТ-ГОДОС є перспективним підходом для створення й застосування інформаційних технологій та систем для автоматизованої переробки та використання інформації мережевого середовища, яка, на відміну від відомих підходів до забезпечення інтегрованої взаємодії з інформаційними ресурсами, не лише враховує атрибутивні ознаки об'єктів предметної області прикладної задачі, а й забезпечує повномасштабне врахування усіх властивостей тематичних об'єктів, які використовуються при розв'язанні складних політематичних проблем та задач теорії управління.

Узагальнена схема трансдисциплінарного представлення мережевих інформаційних ресурсів за технологією ГОДОС представлена на рис. 3.

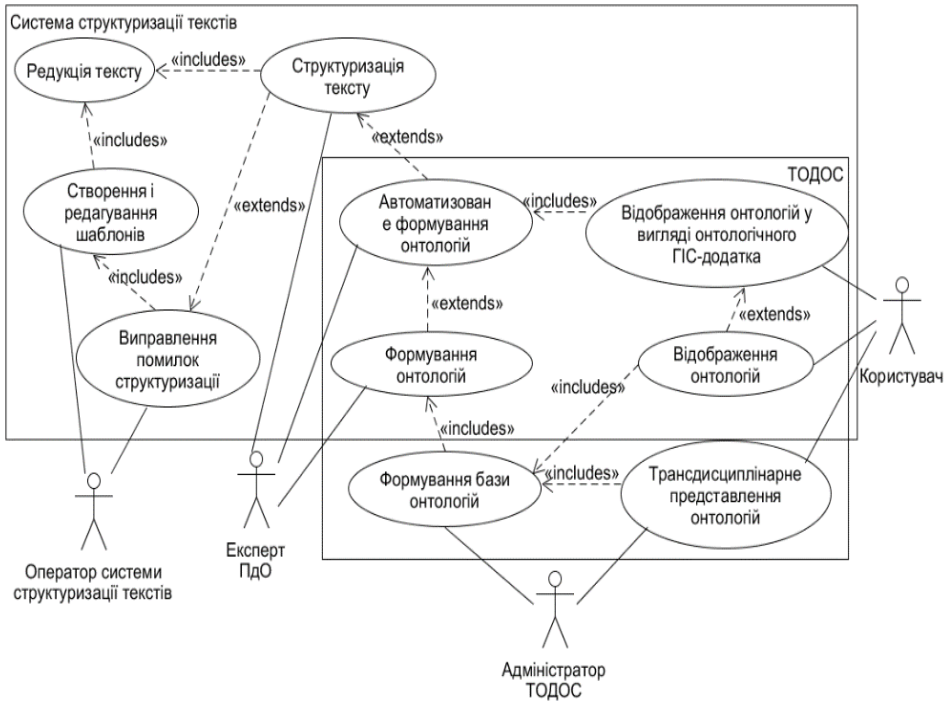


Рис. 3 – Узагальнена схема трансдисциплінарного представлення мережових інформаційних ресурсів за технологією ТОДОС

## Висновки

Дослідження проблем, пов'язаних з організацією ефективного управління на основі аналізу міждисциплінарних інформаційних ресурсів, показує, що існує необхідність розробки нових методів та засобів управління інформацією для забезпечення доступу до знань, їх об'єднання та формування нових знань. Гострота питання особливо відчувається у великих комплексних проектах, а також мультидисциплінарних і трансдисциплінарних дослідженнях, які полягають у розгляді того чи іншого явища поза рамками якоїсь однієї наукової дисципліни, що є найважливішим завданням для проектувальників і творців розподілених мережових інформаційно-аналітичних систем підтримки прийняття рішень.

Представлені наукові, методологічні засади та технічні рішення побудови сучасних інформаційних технологій використання мережових інформаційних ресурсів показали, що трансдисциплінарні рішення повністю дозволяють використовувати у довільному контурі управління саме політематичні інформаційні ресурси через множинність та неупорядкованість їх семантичних властивостей, а також нечіткість їх описів під час розв'язання складних прикладних задач міждисциплінарного характеру.

Трансдисциплінарність ґрунтується на зусиллях формального взаємозв'язку розумінь окремих дисциплін із формуванням логічних метарамок, за допомогою яких знання, що викладені в цих дисциплінах, можуть бути інтегровані на більш високому рівні абстракції, ніж це відбувається в міждисциплінарності. Тому один з вірних виборів методу

вирішення задачі здобування та управління знаннями в міждисциплінарному інформаційному середовищі – використання методів інженерії знань, а саме – використання онтологій на основі методології трансдисциплінарності.

Тому розв’язання задачі забезпечення трансдисциплінарних досліджень в міждисциплінарному інформаційному середовищі полягає в необхідності розробки засобів забезпечення загального трансдисциплінарного онтологічного представлення семантики, що надасть можливості зберігання, обробки та доступу до його різномірних об’єктів та інформаційних одиниць.

Інтеграція міждисциплінарних ресурсів в єдиному онтолого-керованому середовищі також вирішується шляхом застосування трансдисциплінарного підходу.

Методологія трансдисциплінарності – це спосіб розуміння, пізнання і опису об’єкта у складі єдиного множинного упорядкованого середовища; спосіб управління станом об’єкта і природного середовища його існування.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Довгий С.О. Системи підтримки прийняття рішень на основі статистично-ймовірнісних методів [Текст] : (наук.-навч. вид.) / С.О. Довгий, П.І. Бідюк, О.М. Трофимчук ; Нац. акад. наук України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. – Київ : Логос, 2014. – 419 с.
2. Інформаційно-аналітичне супроводження бюджетного процесу [Текст] : монографія / С.О. Довгий, І.В. Сергієнко, М.Ю. Авксентьев [та ін.] ; за ред. С.О. Довгого, І.В. Сергієнка ; Нац. акад. наук України, Ін-т економіки та прогнозування [та ін.]. – Київ : Інформ. системи, 2013. – 420 с.
3. Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика / Д.А. Поспелов. – М. : Наука, 1986. – 284 с.
4. Ильин Н.И. Ситуационные центры. Опыт, состояние, тенденции развития / Н.И. Ильин, Н.Н. Демидов, Е. В. Новикова. – М. : Медиа Пресс, 2011. – 336 с.
5. Массель Л. В. Ситуационное управление и семантическое моделирование в энергетике / Л. В. Массель, А. Г. Массель // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2014) : материалы IV междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 20-22 февраля 2014 года) / редкол.: В. В. Голенков (отв. ред.) [и другие]. – Минск : БГУИР, 2014. – С. 111–116.
6. Основи системного аналізу [Текст] / М. З. Згуровський, Н. Д. Панкратова ; за заг. ред. акад. НАН України М. З. Згуровського. – Київ : Видавнична група ВНУ, 2007. – 543 с.
7. Кунц Г., Донел С.О. Управление: системный и ситуационный анализ управленческих функций / Г. Кунц, С.О. Донел; пер. с англ.; под ред. Д.М. Гвишиани. – Т.1, II. – М. : Прогресс, 1991. – 250 с.
8. 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.
9. Киященко Л. П. Философия трансдисциплинарности [Текст] / Киященко Л.П. Моисеев В.И.; Рос. акад. наук, Ин-т философии. – М. : ИФРАН, 2009. – 205 с.
10. Князева Е.Н. Трансдисциплинарные стратегии исследований [Текст] / Е.Н. Князева // Вестник ТГПУ, 2011. – №10. – С. 193–201.
11. Мокий М. С. Трансдисциплинарная методология в экономических исследованиях : автореф. дис. на соискание ученой степени д-ра эконом.наук : спец. 08.00.01 «Экономическая теория» / М. С. Мокий ; Российская Экономическая академия им. Г.В. Плеханова. – М., 2010 – 50 с.

12. Klein J. Th. *Transdisciplinarity: Joint Problem Solving Among Science, Technology, and Society: An Effective Way for Managing Complexity* / Julie Thompson Klein. – Birkhäuser, 2001.
13. *Transdisciplinarity: Basarab Nicolescu. Talks with Russ Volckmann*, *Integral Review Journal*, 4, 2007. – P. 76.
14. *Transdisciplinary Mind: An Interview with Ian Mitroff*, by Russ Volckmann // *Integral Review Journal*, 2006, Vol.2. – P. 25–42.
15. Палагин А.В. *Онтологические методы и средства обработки предметных знаний: моногр.* / А.В. Палагин, С.Л. Крытый, Н.Г. Петренко. – Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. – 323 с.
16. Гладун В.П. *Процессы формирования новых знаний [Текст]* / В.П. Гладун. – София : СД «Педагог 6», 1994. – 192 с.
17. Стрижак А. Е. *Онтологические аспекты трансдисциплинарной интеграции информационных ресурсов* / А. Е. Стрижак // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*, 2014. – № 65. – С. 211–223.
18. Gonzales-Castillo J., Trastour D., and Bartolini C., “Description logics for matchmaking of services”, In *Proc. of Workshop on Application of Description Logics*, 2001.
19. Guarino N. *Understanding, Building, and Using Ontologies* // URL: <http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/KAW/KAW96/guarino/guarino.html>.
20. Добров Б. В. *Онтологии и тезаурусы: модели, инструменты, приложения: учебное пособие* / Б. В. Добров, В. В. Иванов, Н. В. Лукашевич, В. Д. Соловьев. – М. : Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний. – 2009. – 173 с. (Серия «Основы информационных технологий»).
21. Грей П. *Логика, алгебра и базы данных [Текст]* / П. Грей. – М. : Машиностроение, 1989. – 368 с.
22. Кантор Г. *Труды по теории множеств.* – Москва: Наука, 1985. – 436 с.
23. Клини С. К. *Введение в метаматематику [Текст]* / С. К. Клини. – М. : Иностранная литература, 1957. – 526 с.
24. Колмогоров А. Н., Драгалин А. Г. *Математическая логика.* – М. : УРСС, 2005. – 240 с.
25. Малишевский А. В. *Качественные модели в теории сложных систем.* – М.: Наука. Физматлит. 1998. – 528 с.
26. Шаталкин А.И. *Таксономия. Основания, принципы и правила [Текст]* / А.И. Шаталкин. – М. : Товарищество научных изданий КМК, 2012. – 600 с.
27. Stryzhak O., Prychodniuk V., Podlipaiev V. (2019) *Model of Transdisciplinary Representation of GEOspatial Information*. In: Ilchenko M., Uryvsky L., Globa L. (eds) *Advances in Information and Communication Technologies. UKRMICO 2018. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 560. Springer, Cham
28. Барендрегт Х. *Лямбда-исчисление. Его синтаксис и семантика: Пер. с англ.* – М. : Мир, 1985. – 606 с.
29. Буч Г. *Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на C++* / Г. Буч; [пер. с англ. И. Романовского, Ф. Андреева]. – 1998. – 359 с.
30. Величко В.Ю. *Комплексные инструментальные средства инженерии онтологий* / В.Ю. Величко, К.С. Малахов, В.В. Семенов, А.Е. Стрижак // *International Journal «Information Models and Analyses»*, 2014. – Volume 3. – Number 4. – P. 336–361.
31. Приходнюк В.В. *Технологічні засоби трансдисциплінарного представлення геопросторової інформації [Текст]* : автореф. дис. ... к-та техн. наук : 05.13.06 // Приходнюк Віталій Валерійович; Нац. акад. наук України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. – Київ, 2017. – 20 с.
32. Приходнюк В.В. *Таксономизация естественно-языковых текстов* / Приходнюк В. // *International Journal «Information Models and Analyses»*, 2016. – Volume 5. – Number 3. – С. 270–284.

33. Broy M. *Mathematical Methods in System and Software Engineering*. NATO ASI SERIES F COMPUTER AND SYSTEMS SCIENCES. Berlin : Springer, 1997. – №. 158. – С. 271–312.
34. Broy M. *Mathematical System Models as a Basis of Software Engineering*. Berlin.
35. Melo F., Martins B. *Automated Geocoding of Textual Documents: A Survey of Current Approaches*. *Transactions in GIS*, 2017.

*Стаття надійшла до редакції 20.05.2019 і прийнята до друку після рецензування 07.06.2019*

## REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Dovgyj S.O., Bidjuk P.I., Trofymchuk O.M. (2014). *Systemy pidtrymky pryjnjattja rishen' na osnovi statystychno-jmovirnisnyh metodiv* [Decision support systems based on statistical probabilistic methods]. Kyi'v: Logos, 419 [in Ukraine].
2. Dovhyi S.O., Serhiienko I.V., Avksentiev M.Iu., Bihdan V.B., Horbachuk V.M., Huliaiev K.D., Hulianytskyi L.D., Karpets E.P., Kopiika O.V., Lebeda T.B., Sember S.V., Siverskyi P.M., Skrypnuchenko M.I., Sokolyk M.P., Trofymchuk O.M., Chorny Yu.M., Shumska S.S. (2013). *Informacijno-analitychne suprovodzhennja bjudzhetnogo procesu* [Information and analytical support of the budget process]. K.: TOV «Informacijni systemy», 420 [in Ukraine].
3. Pospelov D.A. (1986). *Situatsionnoe upravlenie. Teoriya i praktika* [Situational management. Theory and practice]. M.: Nauka, 284 [in Russian].
4. Il'in N.I., Demidov N.N., Novikova E. V. (2011). *Situacionnye centry. Opyt, sostojanie, tendencii razvitija* [Situation centers. Experience, state, development trends]. M.: Media Press, 336 [in Russian].
5. Massel' L.V. Massel' A.G. (2014). *Situacionnoe upravlenie i semanticheskoe modelirovanie v jenergetike* [Situational management and semantic modeling in the energy sector] *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii (Minsk, 20-22 fevralja)* [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference (Minsk, February 20-22)]. pp. 111-116 [in Russian].
6. Zghurov's'kyj M.Z., Pankratova N.D. (2007). *Osnovy systemnoho analizu* [Fundamentals of system analysis]. K.: Vydavnycha hrupa BHV, 546 [in Ukraine].
7. Kunc G., Donel S. O. (1991). *Upravlenie: sistemnyj i situacionnyj analiz upravlencheskih funkcij* [Management: system and situational analysis of management functions]. Progress, T.1, II, 250 [in Russian].
8. Stryzhak O. Ye. (2014). *Transdystyplinarna intehratsiia informatsijnykh resursiv* [Tekst] : avtoref. dys. ... d-ra tekhn. nauk : 05.13.06 / Stryzhak Oleksandr Yevhenijovych ; Nats. akad. nauk Ukrainy, In-t telekomunikatsij i hlobal. inform. prostoru [Strizhak O. E. Transdisciplinary integration of information resources [text]: author's abstract. dis ... Dr. tech. Sciences: 05.13.06 / Strizhak Alexander Evgenevich; National acad. Sciences of Ukraine, Institute of Telecommunications and Global. inform space]. Kyiv, 47 [in Ukraine].
9. Kyjashhenko L. P., Moyseev V. Y. (2009) *Fylosofija transdyscyplynarnosti* [Transdisciplinarity Philosophy] *Ros. akad. nauk, Yn-t fylosofyy* [Russian Acad. Sciences, Institute of Philosophy]. M.: YFRAN [in Russian].
10. Knjazeva E. N. (2011). *Transdisciplinarnye strategii issledovanij* [Transdisciplinary Research Strategies] *Vestnik TGPU* [Tomsk State Pedagogical University Bulletin], 10, 193-201 [in Russian].
11. Mokij M. S. (2010). *Transdisciplinarnaja metodologija v jekonomicheskikh issledovanijah* : avtoref. dis. na soiskanie uchenoj stepeni d-ra jekonom. nauk : spec. 08.00.01 «Jekonomicheskaja teorija» [Transdisciplinary methodology in economic research: author. dis. for the degree of doctor of economical science: spec. 08.00.01 “Economic Theory”],

- Rossijskaja Jekonomicheskaja akademija im. G. V. Plehanova – M. Russian Academy of Economics. G.V. Plekhanov, 50 [in Russian].
12. Klein J. Th. (2001). Transdisciplinarity: Joint Problem Solving Among Science, Technology, and Society: An Effective Way for Managing Complexity – Birkhäuser.
13. Basarab Nicolescu (2007). Transdisciplinarity. Talks with Russ Volckmann. Integral Review Journal, 4, P.76.
14. Transdisciplinary Mind (2006): An Interview with Ian Mitroff, by Russ Volckmann. Integral Review Journal, Vol.2, P. 25-42.
15. Palagin A.V., Kryvyj S.L., Petrenko N.G. (2012). Ontologicheskie metody i sredstva obrabotki predmetnyh znaniy: monogr. [Ontological methods and means of processing subject knowledge: monograph]. Lugansk: izd-vo VNU im. V. Dalja – Lugansk: publishing house of the National University of Ukraine. V. Dahl, 323 [in Russian].
16. Gladun V. P. (1994). Processy formirovaniya novyh znaniy [Processes of formation of new knowledge]. Sofija : SD «Pedagog 6» – Sofija: ST «Teacher 6», 192 [in Russian].
17. Strizhak A. E. (2014). Ontologicheskie aspekty transdisciplinarnoj integracii informacionnyh resursov [Ontological aspects of transdisciplinary integration of information resources]. Otkrytye informacionnye i komp'yuternye integrirovannye tehnologii – Open information and computer integrated technologies, 65, 211-223 [in Russian].
18. Gonzales-Castillo J., Trastour D., & Bartolini C. (2001). Description logics for matchmaking of services, In Proc. of Workshop on Application of Description Logics.
19. Guarino N. Understanding, Building, and Using Ontologies. Retrieved from: <http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/KAW/KAW96/guarino/guarino.html>.
20. Dobrov B. V., Ivanov V. V., Lukashevich N. V., Solov'ev V. D. (2009). Ontologii i tezaury: modeli, instrumenty, prilozheniya: uchebnoe posobie [Ontologies and thesauri: models, tools, applications: a tutorial]. M. : Internet-Universitet Informacionnyh Tehnologij; BINOM. Laboratorija znaniy. Serija «Osnovy informacionnyh tehnologij» - M.: Internet University of Information Technologies; BINOMIAL. Lab knowledge, A series of "Fundamentals of Information Technology", 173 [in Russian].
21. Grej P. (1989). Logika, algebra i bazy dannyh [Logic, algebra and database]. M. : Mashinostroenie – M.: Mechanical Engineering, 368 [in Russian].
22. Kantor G. (1985). Trudy po teorii mnozhestv [Works on set theory]. Moskva: Nauka – Moscow: Science, 436 [in Russian].
23. Klini S. K. (1957). Vvedenie v metamatematiku [Introduction to metamathematics]. M. : Inostrannaja literatura – M.: Foreign literature, 526 [in Russian].
24. Kolmogorov A. N., Dragalin A. G. (2005). Matematicheskaja logika [Mathematical logic]. M.: URSS, 240 [in Russian].
25. Malishevskij A. V. (1998). Kachestvennyye modeli v teorii slozhnyh system [Qualitative models in the theory of complex systems]. M.: Nauka. Fizmatlit – M. : Science. Fizmatlit, 528 [in Russian].
26. Shatalkin A. I. (2012). Taksonomija. Osnovaniya, principy i pravila [Taxonomy. Grounds, principles and rules]. M. : Tovarišhestvo nauchnyh izdanij KMK – Fellowship of scientific publications KMK, 600 [in Russian].
27. Stryzhak O., Prychodniuk V., Podlipaiev V. (2019). Model of Transdisciplinary Representation of GEOspatial Information. In: Ilchenko M., Uryvsky L., Globa L. (eds) Advances in Information and Communication Technologies. UKRMICO 2018. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 560. Springer, Cham [in English].
28. Barendregt X. (1985). Lambda-ischislenie. Ego sintaksis i semantika [Lambda calculus. Its syntax and semantics]. Mir, 606 [in Russian].
29. Buch G. (1998). Ob'ektno-orientirovannyj analiz i proektirovanie s primerami prilozhenij na C++ / per. s angl. I. Romanovskogo, F. Andreeva [Object-oriented analysis and design with examples of applications in C ++ / transl. from English I. Romanovsky, F. Andreeva], 359 [in Russian].

30. Velichko V. Ju., Malahov K. S., Semenov V. V., Strizhak A. E. (2014). Kompleksnye instrumental'nye sredstva inzhenerii ontologij [Comprehensive ontology engineering tools]. International Journal «Information Models and Analyses», Vol. 3, № 4, 336-361.
31. Prihodnjuk V.V. (2017). Tehnologichni zasobi transdisciplinarnogo predstavlennja geoprosstorovoї informacii [Tekst] : avtoref. dis. ... k-ta tehn. nauk : 05.13.06 / Prihodnjuk Vitalij Valerijovich; Nac. akad. nauk Ukraїni, In-t telekomunikacij i global. inform. Prostoru [Technological means of transdisciplinary representation of geospatial information [Text]: author's abstract. dis ... to that tech. Sciences: 05.13.06 / Vitaly Valerievich Prihodnjuk; National acad. Sciences of Ukraine, Institute of Telecommunications and Global. inform space Kyiv, 20 [in Ukraine].
32. Prihodnjuk V.V. (2016). Taksonomizacija estestvenno-jazykovykh tekstov [Taxonomization of natural language texts]. International Journal «Information Models and Analyses», Volume 5, Number 3, 270–284 [in Russian].
33. Broy M. (1997). Mathematical Methods in System and Software Engineering. NATO ASI SERIES F COMPUTER AND SYSTEMS SCIENCES. Berlin : Springer, №. 158, 271–312.
34. Broy M. Mathematical System Models as a Basis of Software Engineering. Berlin.
35. Melo F., Martins B. (2017). Automated Geocoding of Textual Documents: A Survey of Current Approaches. Transactions in GIS.

*The article was received 20.05.2019 and was accepted after revision 07.06.2019*

**Стрижак Олександр Євгенійович**

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник відділу онтологічних систем та прикладної алгебраїчної комбінаторики Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України  
**Адреса робоча:** 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13  
**e-mail:** sae953@gmail.com  
ORCID ID 0000-0002-4954-3650

**Потапов Григорій Михайлович**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України  
**Адреса робоча:** 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13  
**e-mail:** pgm201602@gmail.com  
ORCID ID 0000-0002-5778-9327

**Приходнюк Віталій Валерійович**

кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України  
**Адреса робоча:** 03186 Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13  
**e-mail:** tangens91@gmail.com  
ORCID ID 0000-0002-2108-7091

**Чепков Роман Ігорович**

Радник директора з геоінформаційних питань Науково-дослідного інституту геодезії і картографії  
**Адреса робоча:** 03150, Україна, м. Київ, вул. Велика Васильківська, 69  
**e-mail:** chepkovroman@ukr.net  
ORCID ID 0000-0003-2810-4576



UDC 551.509

**Anatolii P. Sirenko**, PhD, Docent, Docent of Department of dynamics and strength machines and strength of materials of the Institute of Mechanical Engineering  
ORCID ID: 0000-0002-4951-1165 *e-mail*: [sirenkoap@gmail.com](mailto:sirenkoap@gmail.com)

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

## FORMATION BY OPTIMAL ON PARETO RESOLVE OF THE PROBLEMS OF GROUND-BASED FAILURE IN CONDITIONS OF SEISMIC DANGER

**Abstract.** From 2000 to 2009, natural disasters damaged and destroyed about one million objects, which directly affected nearly 2.5 billion people worldwide. Increasing seismic activity in the Vrancea and Black Sea regions, as well as on the planet as a whole, has led to an increase in seismic hazard throughout Ukraine. Ukraine (and not only the Carpathian and Crimean regions, as it was previously thought) is a zone where potentially possible earthquakes, and quite strong. In areas with weakened soils, 7-8-ball effects can be observed. For a long time, during the course of the twentieth century and until now, seismic security of construction in the territory of Ukraine is mainly associated with regional estimates of seismicity, which, according to the results of researches of specialists of the Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine and others, correlated with so-called seismically active zones, mountain structures of Crimea and the Carpathians and the foothills. According to the estimates of the departments of the State Geological Survey of the Ministry of Environmental Protection, Ministry of Regional Development and Building and other 70% of the territory of Ukraine, forest and loamy formations of I and II categories of draft are developed, 25% of developed open and semi-open karst, the processes of man-made flooding cover up to 10-15% of the industrial urban agglomerations. The most complex impact on the technogenic deterioration of engineering-seismological conditions is associated with flooding, as a result of which occur the following processes in the upper zone of the geological environment, where the stress-strain state of the base of objects is formed: deformation of the front of seismic waves in the substructure of buildings at contact level groundwater with foundations and maintenance of increased pore pressure; decrease of stability of shift-dangerous areas; the formation of zones for the formation of plumes and thixotropic transformations of water of saturated clay rocks; man-made generation of land-summers during floods, mining operations in areas of influence of large water reservoirs. In general, a significant complex of changes in the stress-strain state of the geological environment due to natural and man-made factors increases the probability of occurrence of resonance phenomena in the system of "soil rock foundation – building construction" due to a wide spectrum of seismic shock shocks and man-made microseismic influences. In the article the algorithm of system harmonization of various requirements and indicators of soil ground reliability is considered with the help of compromise of opposite goals by means of formation of Pareto set. The practical possibility of obtaining the Pareto set is illustrated numerically.

**Key words:** seismic activity; soil foundation; set; Pareto

А.П. Сіренко

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

## ФОРМУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПО ПАРЕТО РІШЕНЬ ВІДМОВ ҐРУНТОВОЇ ОСНОВИ В УМОВАХ СЕЙСМІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

***Анотація.** Посилення сейсмічної активності в зоні Вранча та Чорноморському регіоні, а також в цілому на планеті призвело до підвищення рівня сейсмічної небезпеки на всій території України. Україна (а не тільки Карпатський і Кримський регіони, як раніше вважалося) є зоною, де потенційно можливі землетруси, причому доволі сильні. У районах з послабленими ґрунтами можуть спостерігатися і 7-8-бальні ефекти. Упродовж ХХ століття і дотепер сейсмічна безпека будівництва на території України переважно пов'язується з регіональними оцінками сейсмічності, які за результатами досліджень фахівців Інституту геофізики Національної академії наук України та інших корелювали з так званими сейсмоактивними зонами, гірськими спорудами Криму та Карпат та передгірськими прогинами. За наявними оцінками підрозділів Держгеолслужби Мінприроди, Мінрегіонбуду та інших, на 70% території України розвинуті лесові та лесово-суглинисті формації I та II категорій просадковості, на 25% розвинутий відкритий та напіввідкритий карст, процеси техногенного підтоплення охоплюють до 10-15% площі промислово-міських агломерацій. Найбільш комплексний вплив на техногенне погіршення інженерно-сейсмогеологічних умов пов'язаний з підтопленням, внаслідок якого відбуваються наступні процеси у верхній зоні геологічного середовища, де формується напружено-деформований стан підґрунтя об'єктів: деформація фронту сейсмічних хвиль в підґрунті будівель при контакті рівня ґрунтових вод з фундаментами та утримання підвищеного порового тиску; зниження стійкості зсувнебезпечних територій; формування зон утворення пливунів і тиксотропних перетворень водонасичених глинистих порід; техногенне генерування землетрусів при повенях, проведенні гірничих робіт в зонах впливу великих водосховищ. В цілому значний комплекс змін напружено-деформованого стану геологічного середовища під впливом природних і техногенних чинників підвищує ймовірність виникнення резонансних явищ у системі "породи підґрунтя – будівельна споруда" внаслідок широкого спектру хвиль сейсмічних поштовхів та техногенних мікросейсмічних впливів. У статті розглянуто алгоритм системного узгодження різних вимог та показників надійності ґрунтової основи за допомогою пошуку компромісу протилежних цілей шляхом формування множини Парето. Практична можливість отримання множини Парето проілюстрована чисельно.*

***Ключові слова:** сейсмічна активність; ґрунтова основа; множина Парето*

### Вступ

Протягом десятиліття (з 2000 по 2009 рр.) стихійні лиха пошкодили та зруйнували близько одного мільйона об'єктів, що безпосередньо торкнулося майже 2,5 млрд людей в усьому світі [1]. Посилення сейсмічної активності в зоні Вранча та Чорноморському регіоні, а також в цілому на планеті призвело до підвищення рівня сейсмічної небезпеки на всій території України.

Наукові дослідження із сейсмостійкості ґрунтових основ, будівель та споруд розглянуті в роботах вітчизняних і зарубіжних дослідників: Alonso-Rodriguez A. et al. 2018, Anastasopoulos I. et al. 2018, Antolini F. et al. 2014, Balducci M. et al. 2011, Bardi F. et al. 2018, Barla M. et al. 2014, Basile G. et al. 2018, Borja R. et al. 2011, Burghignoli A. et al. 2016, Burton H. et al. 2018, Buttiglia S. et al. 2011, Callisto L. et al. 2016, Casagli N. et al. 2010, 2011, 2018, Catani F. et al. 2010, Ciampalini A. et al. 2018, Dao S. et al. 2014, Del Ventisette C. et al. 2010, Di Traglia F. et al. 2018, Frodella W. et al. 2018, Gigli G. et al. 2011, Kaliukh I. et al. 2013, 2015, 2015, Kampas G. et al. 2018, Knappett J. et al. 2018, Lacasse S. 2013, Liu X.Y. et al. 2011, Lollino G. & Chiara A. 2006, Luzi G. et al. 2010, Martinelli M. et al. 2016, Nikitas N. et al. 2018, Piccioni R. et al. 2011, Regni R. et al. 2011, Salvatici T. et al. 2018, Shokrabadi M. et al. 2018, Sirenko A. 2013, 2014, Stewart J. et al. 2018, Trofymchuk O. et al. 2015, Venanti L. et al. 2011, Wang Y. & Rathje E. 2018, White J. et al. 2011, Wu W. et al. 2011 та інші [2–18].

## Основна частина

Приблизно до 2000 р. РФ, Україна, Білорусь та ін. використовували карти загального сейсморайонування, на яких регламентувалося єдине значення розрахункової сейсмічності, яке переважно враховувало вертикальне навантаження на будівельні (залізобетонні) несучі конструкції, в тому числі з урахуванням ґрунтово-геологічних (місцевих інженерно-геологічних) умов. Основним методом диференціації останніх було і залишається сейсмічне мікрорайонування. Треба відмітити, що сейсмічне мікрорайонування значною мірою відображає напружено-деформований стан верхньої зони геологічного середовища (ГС) складних техногенно-геологічних систем "техногенний об'єкт – зона впливу на ГС" безпосередньо на момент його виконання. Водночас верхня зона ГС має значні зміни водонасичення (техногенні інфільтрація, підтоплення), вплив механічної і хімічної суфозії, змін кліматичних параметрів, фізико-хімічні перетворення порід підґрунтя (утворення колоїдів та зон тиксотропності, порушення водно-сольового і теплового балансу та ін.). За наявними оцінками підрозділів Держгеолслужби Мінприроди, Мінрегіонбуду, ІГН НАНУ та ін., на 70% території України розвинуті лесові та лесово-суглинисті формації I та II категорій просадковості, на 25% розвинутий відкритий та напіввідкритий карст, процеси техногенного підтоплення охоплюють до 10-15% площі промислово-міських агломерацій. Найбільш комплексний вплив на техногенне погіршення інженерно-сейсмогеологічних умов території України пов'язаний з підтопленням, внаслідок якого відбуваються наступні процеси у верхній зоні ГС, де формується напружено-деформований стан підґрунтя промислових та цивільних об'єктів [19]:

- деформація фронту сейсмохвиль в підґрунті будівель при контакті рівня ґрунтових вод з фундаментами та утримання підвищеного порового тиску;
- зниження стійкості схилів територій;
- формування зон пливунотворення і тиксотропних перетворень водонасичених глинистих порід;
- техногенне генерування землетрусів при повенях, проведенні гірничих робіт в зонах впливу великих водосховищ.

Вищенаведені висновки щодо суттєвого ускладнення інженерно-сейсмогеологічних умов будівництва на ділянках підтоплення, на наш погляд, можна проілюструвати наступними приблизними розрахунками [19]:

1) При розмірі монолітного фундаменту блоку АЕС  $l_{\phi} \approx 100 \times 100$  м в умовах підтоплення слабопроникних суглинків підгрунтя час проходження сейсмічної хвилі  $t_{сейсм}$  із середньою швидкістю  $V_{сейсм} \approx 10^3$  м/сек складе  $t_{сейсм} \approx l/V_{сейсм} \approx 10^2:10^3 \approx 0,1$  сек, а час зниження додаткового порового тиску  $t_{пор}$ , при середній проникності суглинків  $K_0 \approx 0,1 \div 1,0$  м/добу та рівнепровідності  $a_y = 10^1 \div 10^2$  м<sup>2</sup>/добу, складе:

$$t_{пор(min)} \approx \frac{0,5 \cdot (l_{\phi}/2)^2}{a_y} \approx \frac{0,5 \cdot (100/2)^2}{(10^2)} \approx 12,5 \text{ діб (} 10^6 \text{ сек).}$$

Таким чином, можна бачити, що більш довгий час зниження порового тиску в породах підгрунтя при його підтопленні суттєво підвищує ризик додаткових деформацій та впливу афтершоків ( $t_{пор}/t_{сейсм} \approx 10^6:0,1 = 10^7$  разів) [19].

2) На прикладі викиду водногрунтової маси на схилівій ділянці житломасиву "Тополь" у м. Дніпропетровську (1997 р.) можна проілюструвати підвищену чутливість підтопленого масиву лесово-суглинистих порід, які перетворилися на тиксотропне утворення, геодинамічно-активної зони (яружно-балкова система в межах промислово-міської агломерації) при статичному напруженні зрушення водно-колоїдного утворення  $\delta \approx 100$  мг/см<sup>2</sup>, густиною  $\rho = 1,4$  г/см<sup>3</sup>. Кут рівноваги при переході породно-колоїдного утворення у рідинний стан буде сягати  $\alpha = \arctg \frac{\delta}{\rho} \approx \frac{0,1}{1,4} \approx 4^\circ$  [19].

В цілому значний комплекс змін напружено-деформованого стану ГС під впливом природних і техногенних чинників підвищує ймовірність виникнення резонансних явищ у формуванні "породи підгрунтя – будівельна споруда" внаслідок широкого спектру хвиль сейсмічних поштовхів та техногенних мікросейсмічних впливів. Таким чином, для того щоб спроектувати єдину систему управління надійністю ґрунтових основ, необхідно перш за все розробити систему взаємопов'язаних критеріїв (деякі з яких описані вище). Необхідно визначити залежність між критеріями і їх системну підпорядкованість цільовій функції, що визначає надійність ґрунтових основ в цілому.

*На даний час, на жаль, достовірну ймовірність ґрунтової відмови в будь-який момент експлуатації, строго кажучи, визначити неможливо через величезну кількість чинників, що впливають на надійність, і велику різноманітність можливих поєднань різних факторів. Тому можна реально говорити лише про наближену оцінку ймовірності ґрунтової відмови.*

На різних етапах оцінка ймовірності ґрунтової відмови проводиться в абсолютно різних умовах і на основі інформації, яка щоразу є лише частиною інформації, необхідної для вироблення управлінських рішень. Послідовність управлінських рішень повинна регулюватися системою критеріїв, які представляють собою взаємопов'язану систему оцінок ймовірності ґрунтової відмови. Для вироблення таких критеріїв необхідно на основі моніторингової інформації вміти вирішувати зворотну задачу теорії надійності – для заданої ґрунтової основи і при відомих зовнішніх впливах необхідно визначити межі змін вхідних параметрів, що забезпечують задану ймовірність відмови або

заданий коефіцієнт запасу, тобто мінімум (максимум) цільової функції. При вирішенні завдань системного узгодження різних вимог і показників надійності необхідно враховувати не тільки обмеження матеріальних, фінансових та інших ресурсів, а й вплив на них техногенних непередбачуваних факторів ризику.

Вирішення таких завдань зводиться до пошуку компромісів суперечливих цілей на основі формування множини Парето. При цьому в методах формування оптимальних по Парето рішень багатокритеріальних задач (БЗ) апріорно вважається, що множина Парето існує [20]. Разом з тим, в реальних системних задачах формування множини компромісів суперечливих цілей апріорно можна виключити ситуації, коли вихідні умови і задані вимоги до надійності ґрунту є принципово несумісними в рамках даного підходу.

При використанні принципу Парето в процедурах рішення БЗ потрібно, перш за все, встановити необхідність і довести можливість формування непорожньої множини компромісів цілей при заданих вимогах, обмеженнях та умовах. Слід звернути увагу, що ці завдання принципово відрізняються від типових задач системної оптимізації тим, що цільові функції, області визначення і множини значень апріорно не задаються. Вони повинні бути визначені на основі неповної, найчастіше різномірної вхідної інформації про фізико-механічні характеристики ґрунту, сейсмічність майданчика та ін.

Суть методу знаходження раціонального компромісу і можливість його застосування для вирішення БЗ, системного узгодження суперечливих цілей в умовах невизначеності розглянемо на прикладі задачі погодження вимог до зовнішніх і внутрішніх показників досліджуваного будівельного об'єкта при апріорно відомих обмеженнях на показники зовнішнього впливу.

### Математична постановка задачі

Задані вимоги до зовнішніх показників у вигляді

$$y \in B^\pm, B^\pm = \{B_i^\pm, i = \overline{1, m}\}, B_i^\pm = \{y_i | b_i^- \leq y_i \leq b_i^+, i \in [1, m]\}; \quad (1)$$

вимоги до внутрішніх показників  $x_1$

$$x_1 \in D_1^\pm, D_1^\pm = \{x_1 | x_1 = \langle x_{1j_1}, j_1 = \overline{1, n_1} \rangle, d_{1j_1}^- \leq x_{1j_1} \leq d_{1j_1}^+\}; \quad (2)$$

і визначені обмеження на показники  $x_2, x_3$  зовнішнього впливу

$$x_2 \in D_2^*, D_2^* = \{x_2 | x_2 = \langle x_{2j_2}, j_2 = \overline{1, n_2} \rangle, d_{2j_2}^- \leq x_{2j_2} \leq d_{2j_2}^+\}, \quad (3)$$

$$x_3 \in D_3^*, D_3^* = \{x_3 | x_3 = \langle x_{3j_3}, j_3 = \overline{1, n_3} \rangle, d_{3j_3}^- \leq x_{3j_3} \leq d_{3j_3}^+\}. \quad (4)$$

Відомі функціональні залежності зовнішніх показників у від змінних  $x = (x_1, x_2, x_3)$  у вигляді багаторівневої ієрархічної системи моделей в класі мультиплікативних функцій. Система реалізована в наступній формі послідовності моделей:

$$y_i = \Phi_i(x); \quad i = \overline{1, m}; \quad (5)$$

$$[1 + \Phi_i(x)] = \prod_{k=1}^{K_0} [1 + \Phi_{ik}(x_k)]^{c_{ik}}; \quad (6)$$

$$[1 + \Phi_{ik}(x_k)] = \prod_{j_k=1}^{n_k} [1 + \Psi_{kj_k}(x_{kj_k})]^{a_{ikj_k}}, \quad (7)$$

$$[1 + \Psi_{kj_k}(x_{kj_k})] = \prod_{p_{j_k}=1}^{p_{kj_k}} [1 + \phi_{p_{j_k}}(x_{kj_k})]^{l_{kj_k}}. \quad (8)$$

Задані умови взаємного узгодження області  $D^*$  визначення кожної функції  $y_i = \Phi_i(x)$  множини  $\Phi = \{\Phi_i(x) \mid x \in D^*; i = \overline{1, m}\}$  та множини  $B_i^*$  значень  $y_i \in B_i^*, B_i^* \subset B^*$  кожної функції  $\Phi_i \in \Phi, i = \overline{1, m}$  у вигляді

$$(\forall x_1 \in D_1^*) \wedge (\forall x_2 \in D_2^*) \wedge (\forall x_3 \in D_3^*) \Rightarrow \exists y \in B^*, \quad (9)$$

$$\forall y \in B^* \Rightarrow (\exists x_1 \in D_1^*) \wedge (\exists x_2 \in D_2^*) \wedge (\exists x_3 \in D_3^*), \quad (10)$$

$$y \in B^* \Leftrightarrow (y_1 \in B_1^*) \wedge \dots \wedge (y_i \in B_i^*) \wedge \dots \wedge (y_m \in B_m^*). \quad (11)$$

### Потрібно:

- обґрунтувати необхідність і довести можливість формування непорожньої множини компромісів цілей БЗ при заданих вимогах, обмеженнях та умовах;

- сформулювати таку множину Парето  $P_{D,B}(\Phi)$ , в якій забезпечується виконання умов взаємного узгодження визначення області  $D^*$  і множини  $B_i^*$  визначення параметрів для кожної функції  $\Phi_i \in \Phi, i = \overline{1, m}$ ;

- визначити раціональні умови системного узгодження суперечливих цілей.

Рішення даної задачі зводиться до системного узгодження та спільного виконання умов (9) і (10) як основи формування непорожньої множини Парето [21].

Шукана множина Парето  $P_{D,B}(\Phi)$  характеризується тріадою  $\langle D^*, B^*, \Phi \rangle$ , забезпечує взаємне системне інтервальне узгодження області визначення  $D^*$  і множини значень  $B^*$  для кожної функції множини  $\Phi$  і описується співвідношенням:

$$P_{D,B}(\Phi) \stackrel{\Delta}{=} \{ \langle D^*, B^*, \Phi \rangle \mid [\Phi: D^* \rightarrow B^*] \wedge [\Phi^{-1}: B^* \rightarrow D^*] \}.$$

Дане співвідношення показує, що при будь-якому виборі значень зовнішніх і внутрішніх показників виконується умова  $\forall u \in B^* \Rightarrow \exists x_1 \in D_1^*$ , тобто для кожного  $u \in B^*$  існують відповідні значення  $x_1 \in D_1^*$  множини внутрішніх показників.

Представимо основні процедури алгоритму формування раціонального компромісу шуканої множини цілей.

1. Основною неформалізованою процедурою є вибір критеріїв і їх ранжування за ступенем важливості. Вважаємо, що особа, яка приймає рішення (ОПР), обрала наступні варіанти за ступенем важливості:

- всі критерії є рівнозначними за важливістю;
- всі критерії ранжовані за ступенем зменшення їх важливості.

2. Наступною за важливістю неформалізованою процедурою є ранжування за ступенем важливості заданих суперечливих цілей. Вважаємо, що ОПР обрала наступні варіанти ранжування цілей за ступенем важливості:

• варіант 1: пріоритетними є цілі, для яких оптимальним показником є показники надійності і безпеки. Такі цілі характеризуються співвідношеннями:

$$i_{01} = 2i_1 - 1; i_1 = \overline{1, m_1}; y_{i_{01}}^* = \max_{i_{01}} \Phi(x); \quad (12)$$

• варіант 2: пріоритетними є цілі, для яких оптимальним показником є показники вартості будівельних робіт з відновлення ґрунтових основ та фундаментів будівель та споруд. Такі цілі характеризуються співвідношеннями:

$$i_{02} = 2i_2; i_2 = \overline{1, m_2}; y_{i_{02}}^* = \min_{i_{02}} \Phi(x). \quad (13)$$

3. Попередні процедури створили основу для розробки процедури формування функціональних залежностей цілей. З огляду на функціональні залежності у від змінних  $x = (x_1, x_2, x_3)$ :

$$y_i = \Phi_i(x); i = \overline{1, m}, \quad (14)$$

на основі результатів  $B_i^*, D_2^*, D_3^*$  формується система рівнянь:

$$y_i[q_0] - \Phi_i(x_1, x_2[q_2], x_3[q_3]) = 0; i = \overline{1, m}; q_0 = \overline{1, Q_0}. \quad (15)$$

Тут дискретні аналоги  $y_i[q_0]; x_2[q_2]; x_3[q_3]$  для  $B_i^*, D_2^*, D_3^*$  визначаються співвідношеннями:

$$\begin{aligned} \hat{B}^* &= \{y_i | y_i = y_i[q_0]; y_i[q_0] \in B_i^*; q_0 = \overline{1, k_0}; y_i[1] = b_i^-; y_i[k_0] = b_i^+\} \\ \hat{D}_2^* &= \{x_2 | x_2 = x_2[q_2]; x_2[q_2] \in D_2^*; q_2 = \overline{1, k_2}; x_2[1] = d_2^-; x_2[k_2] = d_2^+\} \\ \hat{D}_3^* &= \{x_3 | x_3 = x_3[q_3]; x_3[q_3] \in D_3^*; q_3 = \overline{1, k_3}; x_3[1] = d_3^-; x_3[k_3] = d_3^+\} \end{aligned}$$

4. Система рівнянь (7) формується окремо для цілей варіанту 1 та варіанту 2 і містить відповідно  $N_1 = m_1 \times Q_0$  і  $N_2 = m_2 \times Q_0$  рівнянь, де невідомими є компоненти  $x_{1j_1}$ ,  $j_1 = \overline{1, n_1}$  вектора  $x_1$ . Кожен варіант системи (5) є несумісною системою нелінійних рівнянь. Рівняння є нелінійними, оскільки  $y_i$  визначаються ієрархічною системою нелінійних моделей (5), (12)–(14). Система рівнянь є несумісною, оскільки кількість  $N_1$  і  $N_2$  рівнянь перевищує кількість  $n_1$  компонентів вектора  $x_1$ . З огляду на зазначені особливості, доцільно кожен систему (15) звести до класу Чебишевських завдань наближень для несумісних систем нелінійних рівнянь, метод вирішення яких запропоновано в [21]. Результати рішення систем рівнянь для формування цілей варіанту 1 та варіанту 2 складають множину раціональних компромісів цілей.

Розглянемо приклад вирішення тестового завдання на основі формування множини Парето  $P_{D,B}(\Phi)$ . Мета прикладу – продемонструвати потенційні можливості концепції множини Парето  $P_{D,B}(\Phi)$  у вирішенні задачі багатокритеріального формування та системного узгодження суперечливих цілей в умовах невизначеності. Розглянемо тестові вихідні дані за 8 змінними параметрами (табл. 1) [21].

Таблиця 1 – Вихідні дані

Номер вибірки	Параметр № 1	Параметр № 2	Параметр № 3	Параметр № 4	Параметр № 5	Параметр № 6	Параметр № 7	Параметр № 8
1.	8	8	3	3	0	3	2	18
2.	5	5	3	3	0	2	4	12
3.	10	8	4	5	1	4	5	20
4.	2	6	2	3	0	3	4	11
5.	7	5	2	5	1	2	2	19
6.	6	4	3	1	0	2	5	13
7.	2	3	3	1	1	1	3	14
8.	5	5	2	2	0	2	2	17
9.	4	6	3	2	1	3	3	13
10.	5	5	2	1	0	2	2	18
11.	3	9	2	5	0	3	3	10
12.	4	7	5	4	0	5	2	17

Процедури розв'язання задачі відображалися в діалогових вікнах:

- Головне меню.
- Вибір параметрів функцій.
- Формування умов роботи.
- Формування вибірки рівнянь.
- Ітераційна процедура.

На рисунку представлено діалогове вікно «Ітераційна процедура», в якому відображено варіант формування множини Парето для вихідних даних (табл. 1) [21].

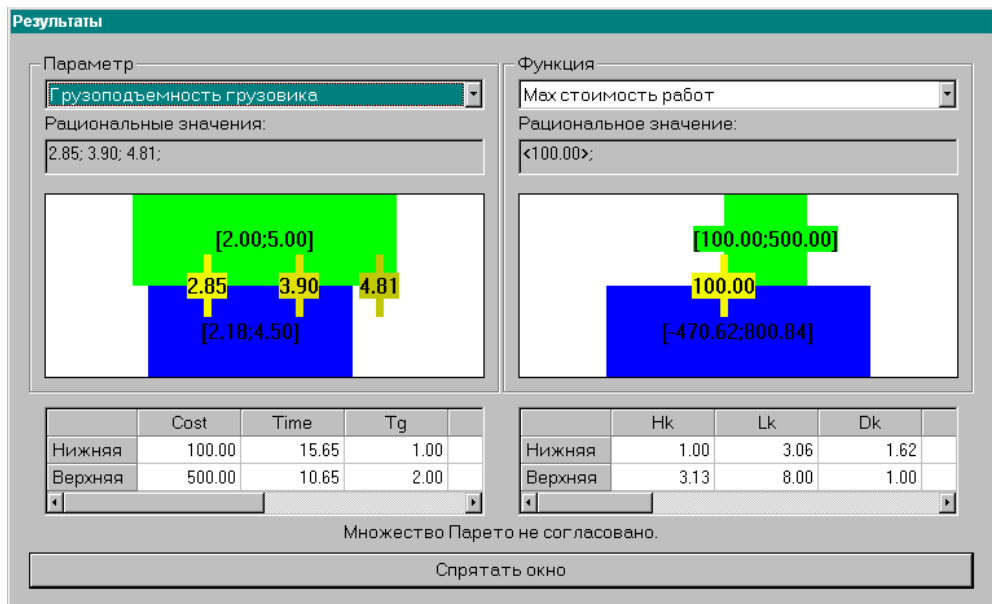


Рисунок – Ітераційна процедура знаходження множини Парето

В результаті ітераційного вирішення задачі в інтерактивному діалоговому режимі отримана наступна узгоджена множина Парето (табл. 2).



Таблиця 2 – Результати формування множини Парето

Параметр № 1	Параметр № 2	Параметр № 3	Параметр № 4	Параметр № 5	Параметр № 6	Параметр № 7	Параметр № 8
[3.4;5.8]	[5.9;7.5]	[2.4;3.5]	[2.1;4.1]	[0;1]	[2.8;4.2]	[2.4;4.4]	[11.2;18.9]

## Висновки

1. Значний комплекс змін напружено-деформованого стану ГС під впливом природних і техногенних чинників підвищує ймовірність виникнення резонансних явищ у формуванні "породи підгрунтя – будівельна споруда" внаслідок широкого спектру хвиль сейсмічних поштовхів та техногенних мікросейсмічних впливів.

2. Для того щоб спроектувати єдину систему управління надійністю ґрунтових основ, необхідно перш за все розробити систему взаємопов'язаних критеріїв, визначити залежність між критеріями і їх системну підпорядкованість цільовій функції.

3. Побудовано алгоритм системного узгодження різних вимог і показників надійності ґрунтової основи шляхом пошуку компромісу суперечливих цілей на основі формування множини Парето.

4. Завдання математичного моделювання відмови ґрунтової основи необхідно розглядати як складну самостійну задачу, від правильного і оптимального вирішення якої буде залежати надійність досліджуваного об'єкта або споруди, коректність підсумкових результатів і, в кінцевому результаті, – безпека життя і експлуатації будівель та споруд.

## REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Lacasse, S. (2013). 8th Terzaghi Oration Protecting society from landslides – the role of the geotechnical engineer. In *18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris* (pp. 15-34).
2. Uchenye: Sil'nye zemletrjasenija mogu byt' vo vsej Ukraine. (2011, March 23). *Novosti Ukrainy*. Retrieved from <http://for-ua.com/ukraine/2011/03/23/085121.html> (in Russian).
3. Alonso-Rodriguez, A., Nikitas, N., Knappett, J., Kampas, G., Anastasopoulos, I., & Fuentes, R. (2018). System identification of tunnel response to ground motion considering a simplified model. *Frontiers in Built Environment*, (4), 1-11.
4. Balducci, M., Regni, R., Buttiglia, S., Piccioni, R., Venanti, L.D., Casagli, N., & Gigli, G. (2011). Design and built of a ground reinforced embankment for the protection of a provincial road (Assisi, Italy) against rockslide. *Proc. XXIV conv. Naz. Geotecnica, AGI, Napoli, 22th-24th June 2011*.
5. Barla, M., Antolini, F., & Dao, S. (2014). Il monitoraggio delle frane in tempo reale. *Strade e Autostrade*, (107), 154-157.
6. Borja, R.I., White, J.A., Liu, X.Y., & Wu, W. (2011). Factor of safety in a partially saturated slope inferred from hydro-mechanical continuum modeling. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 63(2), 140-154.
7. Casagli, N., Catani, F., Del Ventisette, C., & Luzi, G. (2010). Monitoring, prediction, and early warning using ground-based radar interferometry. *Landslides*, 7(3), 291–301.
8. Frodella, W., Ciampalini, A., Bardi, F., Salvatici, T., Di Traglia, F., Basile, G., & Casagli, N. (2018). A method for assessing and managing landslide residual hazard in urban areas. *Landslides*, 15(2), 183-197.

9. Highland, L., Bobrowsky, P. (2008). *The Landslide Handbook – a Guide to Understanding Landslides*. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey Circular.
10. Intrieri, E., Gigli, G., Gracch, T., Nocentini, M., Lombardi, L., Mugnai, F., Frodella, W., Bertolini, G., Carnevale, E., Favalli, M., Fornaciai, A., Alavedra, J. M., Mucchi, L., Nannipieri, L., Rodriguez-Lloveras, X., Pizziolo, M., Schina, R., Trippi, F., & Casagli, N. (2018). Application of an ultra-wide band sensor-free wireless network for ground monitoring. *Engineering Geology*, (238), 1-14.
11. Kaliukh, I., Senatorov, V., Marienkov, N., Trofymchuk, O., Silchenko, K., & Kaliukh, T. (2015). Arrangement of deep foundation pit in restricted conditions of city build-up in landslide territory with considering of seismic loads of 8 points. *Proc. XVI ECSMGE, Edinburgh, 13th-17th September 2015*.
12. Kaliukh, I., Senatorov, V., Khavkin, O., Kaliukh, T., & Khavkin, K. (2013). Experimentally-analytical researches of the technical state of reinforce-concrete constructions for defense from landslide's pressure in seismic regions of Ukraine. *Proc. FIB symp., Tel-Aviv, 22-24 April 2013*.
13. Lollino, G., & Chiara, A. (2006). UNESCO World Heritage sites in Italy affected by geological problems, specifically landslide and flood hazard. *Landslides*, 3(4), 311-321.
14. Martinelli, M., Burghignoli, A., & Callisto, L. (2016). Dynamic response of a pile embedded into a layered soil. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, (87), 16-28.
15. Shokrabadi, M., Burton, H.V., & Stewart, J.P. (2018). Impact of Sequential Ground Motion Pairing on Mainshock-Aftershock Structural Response and Collapse Performance Assessment. *Structural Engineering* 144 (10).
16. Trofymchuk, O. M., Kaliukh, I. I., Hlebchuk, H. S., & Berchun, V. P. (2013). Experimental and analytical studies of landslides in the south of Ukraine under the action of natural seismic impacts. *Proceedings of the International Symposium on Earthquake-Induced Landslides, Kiryu, Japan* (pp. 883-890).
17. Sirenko, A. P. (2014). Vlihanie urovnja gruntovyh vod na ustojchivost' opolznevogo sklona. *Budivel'ni Konstrukcii*, (80), 210-213 (in Russian).
18. Sirenko, A. P. (2013). Krytychna vidstan' mizh utrymujuchymy elementamy dlja zsvnyh ta zsvonebezpechnyh shylyv Chernivec'koi' oblasti. *Ekologichna Bezpeka ta Pryrodokorystuvannja*, (13), 73-76 (in Ukrainian).
19. Lushhyk, A. V., & Jakovlev, J. O. (2000). Osnovni metodychni polozhennja inzhenerno-sejsmologichnogo rajonuvannja v umovah intensyvnoi' gospodars'koi' dijal'nosti. *Informacijnyj Bjuletyn' pro Stan Geologichnogo Seredovyshha Ukrai'ny u 1998 Roci*, (17), 134-137 (in Ukrainian).
20. Podinovskij, V. V., & Nogin, V. D. (1982). *Pareto-optimal'nye reshenija mnogokriterial'nyh zadach*. Moscow: Nauka (in Russian).
21. Pankratova, N. D., & Oparina, E. L. (2004). Vosstanovlenie mnogofaktornyh zakonomernostej v uslovijah konceptual'noj neopredelennosti. *Systemni Doslidzhennja ta informacijni Tehnologii*, (3), 103-114 (in Russian).

*The article was received 20.03.2019 and was accepted after revision 09.04.2019*

### **Сіренко Анатолій Петрович**

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри динаміки і міцності машин та опору матеріалів Механіко-машинобудівного інституту НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

**Адреса робоча:** 03056 Україна, м. Київ-56, проспект Перемоги, 37

**e-mail:** [sirenkoap@gmail.com](mailto:sirenkoap@gmail.com)

ORCID ID: 0000-0002-4951-1165

© Авторські і суміжні права належать авторам окремих публікацій, Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київському національному університету будівництва і архітектури.

© Авторские и смежные права принадлежат авторам отдельных публикаций, Институту телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины, Киевскому национальному университету строительства и архитектуры.

Copyring © authors of publications, Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine, Kyiv National University of Construction and Architecture. All rights reserved.

## ДО УВАГИ АВТОРІВ ЗБІРНИКА

Зміст матеріалів, що направляються до редакції, повинен відповідати профілю та науково-технічному рівню збірника.

Кожна наукова стаття повинна мати вступ, розділи основної частини та висновки, а також анотацію і ключові слова (не менше п'яти) трьома мовами (українською, російською та англійською).

Підготовка статті здійснюється в текстовому редакторі MS WORD for WINDOWS, з використанням шрифту Times New Roman, Суг, кегль 11, одинарний інтервал, полями 2,0 см з кожного боку, заданим розміром сторінок 17x26 см.

Усі формули мають бути набрані в редакторі MathType.

Люстрації повинні обов'язково нумеруватися, мати книжкову орієнтацію і не можуть перевищувати за розміром задану сторінку (параметри сторінки 17x26 см з полями 2,0 см). Перелік літературних джерел перекладається англійською мовою (або транслітерується в романському алфавіті) і подається відповідно до міжнародного стандарту оформлення наукових публікацій **APA (American Psychological Association) style** загальним списком у кінці статті за чергою посилань у тексті.

Наприкінці статті наводиться коротка довідка про авторів, де вказуються прізвище, повне ім'я та по батькові авторів, науковий ступінь, вчене звання, посада, назва підрозділу (кафедри) та організації, особисті дані кожного з авторів (адреса, місто, країна, контактний телефон, e-mail), ORCID ID.

Обов'язково слід надати електронну версію статті в редакторі Microsoft Word.

Усі представлені в редакцію рукописи проходять ретельне багатоланкове рецензування відповідними фахівцями за профілем статті. Якщо сумарна оцінка рецензентів менша за встановлений поріг, рукописи відхиляються.

Зміст статті та якість написання або перекладу (українською або англійською мовами) переглядаються коректорами збірника, проте відповідальність за зміст та якість статті несуть автори матеріалу. До статті можуть бути внесені зміни редакційного характеру без згоди автора.

Розділ збірника, до якого буде віднесена стаття, визначається редакцією, узгоджується – головним редактором або його заступником. Остаточний висновок щодо публікації матеріалів схвалює редакційна колегія збірника.

Електронна версія збірника, правила оформлення та вимоги до статей містяться в Інтернеті на сайті <http://www.es-journal.in.ua>, який систематично оновлюється.

Збірник наукових праць також представлений на сайті Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського, на сайті Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України <http://itgip.org/> у розділі «Видавнича діяльність» та на сайті бібліотеки Київського національного університету будівництва і архітектури <http://library.knuba.edu.ua/node/883>.

*Виконавчий редактор – В.П. Берчун*

---

Надруковано в ТОВ «Видавництво «Юстон»  
01034, м. Київ, вул. О. Гончара, 36а.  
Тел.: (044) 360-22-66  
[www.yuston.com.ua](http://www.yuston.com.ua)

**Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру  
видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції  
серія дк № 497 від 09.09.2015 р.**

---

Підписано і здано до друку 24.06.2019. Формат 70x108/16. Папір офсетний.  
Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 10.94  
Обл.-вид. арк. 11.5  
Замовлення № \_\_\_\_\_

Тираж 300 примірників

---