

**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 3 (31), липень-вересень 2019 р.

Заснований у 2008 р.  
Виходить 4 рази на рік

---

**Academic journal**

Issue 3 (31), July-September 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>Коржинєв 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>Яковлєв 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. Мустафасєв</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 № 26 від 20.09.2019 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

## ЗМІСТ

### ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

**Mustafayev M.G., Mammadov B.M., Huseynova N.M.**

Ameliorative state of irrigative soils of the Mughan plain depending on salinization degree and type..... 5

**Рогожин О.Г., Яковлев Є.О.**

Оцінка додаткового сейсмічного ризику руйнування споруд на підтоплених лесах та лесово-суглинистих породах в Україні..... 11

**Буглак О.В., Бойко К.Є., Луньова О.В.**

Збройний конфлікт як фактор екологічного ризику на об'єктах водопостачання на сході України (на прикладі каналу «Сіверський Донець – Донбас» КП «Компанія «Вода Донбасу»)..... 23

### ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

**Stefanyshyn D.V.**

Feasibility analysis of construction of new hydropower plants in Ukraine taking into account the risk of unused possibilities ..... 33

**Азаров С.І., Задунай О.С.**

Аналіз стійкості екосистем..... 46

**Барабаш О.В.**

Оцінка рівня екологічної безпеки урбоекосистем за станом атмосферного повітря..... 57

### ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ

**Горлинський Б.В., Зайцев С.В., Казнадій С.П., Зайцева Л.І.**

Формалізація процесу математичного моделювання адаптивної зміни структури кодів в безпроводових засобах передачі даних..... 64

**Власюк Ю.С., Стефанишин Д.В.**

Про деякі проблеми оцінки впливу на довкілля малих гідроелектростанцій в Україні..... 79

**ДО ВІДОМА АВТОРІВ..... 93**

## CONTENTS

### ENVIRONMENTAL SAFETY

- Mustafayev M.G., Mammadov B.M., Huseynova N.M.**  
Ameliorative state of irrigative soils of the Mughan plain depending on salinization degree and type..... 5
- Rogozhin O.G., Yakovlev Y.O.**  
Assessment of additional seismic risk of destruction of structures on flooded loesses and loessy-loamy rocks in Ukraine..... 11
- Buglak O.V., Boiko K.Y., Lunova O.V.**  
Armed conflict as an environmental risk factor at water supply facilities in eastern Ukraine (case study of “Voda Donbassa” utility company’s Siverskyi Donets – Donbas canal)..... 23

### NATURAL RESOURCES

- Stefanyshyn D.V.**  
Feasibility analysis of construction of new hydropower plants in Ukraine taking into account the risk of unused possibilities ..... 33
- Azarov S.I., Zadunaj O.S.**  
Assessment of stability of ecosystems..... 46
- Barabash O.V.**  
Assessment of the ecological safety level in the urban ecosystem by the atmospheric air condition..... 57

### INFORMATION RESOURCES AND SYSTEMS

- Horlynskyi B.V., Zaitsev S.V., Kaznadiy S.P., Zaitseva L.I.**  
Formalization of the mathematical modeling process of adaptive change of code structure in wireless data transmission..... 64
- Vlasiuk Y.S., Stefanyshyn D.V.**  
On some challenges of environmental impact assessment of small hydropower plants in Ukraine..... 79
- INFORMATION FOR AUTHORS**..... 93

# ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ENVIRONMENTAL SAFETY

UDC 631.6

**Mustafa Gilman Mustafayev**, D. S. (Agrarian), Associate Professor  
ORCID ID 0000-0003-2071-3078 *e-mail*: meliorasiya58@mail.ru

**Bakhtiyar Mursal Mammadov**, PhD

**Nisa Mustafa Huseynova**, Research Scientist

Institute of Soil Science and Agrochemistry of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

## AMELIORATIVE STATE OF IRRIGATIVE SOILS OF THE MUGHAN PLAIN DEPENDING ON SALINIZATION DEGREE AND TYPE

***Abstract.** The article is dedicated to the agromeliorative measures system prepared for the meliorative state improvement of these soils on the bases of the researches performed in the solonetzificated and salinized to a different degree in the Mughan-Salyan massive of the Kur-Araz lowland.*

*During the researches the slope depth of subsoil waters and mineralization dynamics were studied, the salts quantity and type was fixed in the soil, therefore the full and subtle water weight was performed in the samples taken from the experimental area.*

***Key words:** salinity; salinized; solonetzificated; ameliorative state; collector-drainage net; ground water*

### Formulation of the problem

As a result of agrarian reforms in the republic the new attitudes were created in Land use, the soils were given to the different farm forms.

Preparation of the agro-meliorative measures system on the basis of the researches performed in the areas salinized and solonetzificated to a different degree will serves improvement of ameliorative state in these soils. All the researches have been performed in the selected areas of the characteristic places in the Mughan plain. Depth of the soils salinity was deformed from soil sections till 2,0 m on genetic layers and sometimes in the soil samples taken from every 50 sm.

During the researches the samples were taken from subsoil waters which have been observed in the characteristic cuts with the purpose of investigation of the slope depth and mineralization dynamics in subsoil waters from the experimental area and their mineralization and type have been fixed.

To fix a quantity and a type of salts in the soil full and subtle water weight analysis was performed in the samples taken from the soil sections possessing different salinity in the experimental field.

### **Relevance of research**

At present till 570 000 hectares of the irrigative area more than 1,43 million hectares exposed to salinization to a different degree in the republic. 375 000 hectares of these soils are weak, 165 000 hectares are mean and strong salinization [1].

To meet the population's need rising for food products, an improvement of ameliorative state of the same soils remains current.

### **The object and methods of research**

Salinized and solonchakized sowing areas to a various degree in Mugan-Salyan massive of the Kur-Araz lowland have been adopted as a research object to study meliorative state of the irrigative soils in the Mughan plain. The soil and water analysis were performed by the general method (Arinushkin's method).

Preparation of the measures system for improvement of the same soils and definition of ecomeliorative state of soils (fertility indicators, an available condition of the collector-drainage and irrigation systems, change dynamics of water mineralization and experiment) in the experimental soils is a main problem.

As a result of an accumulative activity of the Kur-Araz rivers the relief in the Mughan plain was created and its formation was continuing up to now up to now. Here an alluvial-accumulative forms (tough and high coast, ancient deep river-beds, coast ways and etc.) of the relief are available.

Geology of the research zone concerns the background of the general historical geotectonics in the Caspian Sea, north and south zones fell down, Alazan-Ayrichay and Kur depression was created. A climate of Mughan concerns the subtropic semidesert arid climate group [2]. An average annual temperature is  $+14,1^{\circ}\text{C}$ , a relative humidity of the air is 60%, a yearly quantity of the atmospheric precipitations is 246-260 mm, annual evaporation from water surface reaches 950 mm. An average monthly temperature of the soil surface is  $0,6^{\circ}\text{C}$  in January,  $+18,9^{\circ}\text{C}$  in July-August [3, 4]. The plant-cover in the plain concerns semidesert type, mainly three kinds: wormwood, saline and herbaceous plants. Here heat-loving annual plants, including cotton planting is considered rational for the climate condition. The various kind of the plants are grown in a great part of the zone and they changed. At present natural plants are found in some places [2, 5].

The soil cover of the plain was learnt Y.A. Kamensky, S.A. Zakharov, S.I. Tyuramnov. The following soil types have been determined: little humic grey-meadow, mean humic grey-meadow, high humic grey-meadow, primitive-grey, meadowgrey soils [2, 4].

Recently the main reasons of the land salinization in the Kur-Araz lowland soil salinization was revealed by V.R. Volobuyev, M.E. Salayev, G.Sh. Mammadov, M.P. Babayev and others. The authors separated into meadow grey soils, salinelike, solonchaklike, marlaceous, gleyed, irrigating species and noted us of these soils under cotton, grain and orchard plants. But in the amelioration field V. Volobuyev, M. Abduev, Kh. Jafarov, G. Azizov, M. Mustafayev and others attracted an attention for investigation of the salinization changes occurring in use period of them [4, 5, 7].

The soils in the plain are wholly fertile and good for cultivation. But the soils of which water-physical characters are unsatisfactory aren't little. A main reason of difficulty of the sustainable product getting and obstacle of the agriculture development is presence of more salts. Distribution of salts on salinity gradation in the Mughan plain is as the following according to G.Z. Azizov and A.M. Gadimov [1, 4].

Table 1 – Distribution of the Mughan plain soils on salinity gradation,  $\frac{thous|h}{\%}$

Salinity gradation, %	< 0,25	0,25-0,50	0,50-1,00	1,00-2,00	> 2,00	Sum
Area, $\frac{thous,h}{\%}$	$\frac{117,1}{24,5}$	$\frac{49,8}{10,4}$	$\frac{78,6}{16,4}$	$\frac{137,3}{28,7}$	$\frac{95,6}{20,0}$	$\frac{478,4}{100,0}$

**Note:** Salinity of the unsalinized soils less than 0,5% 166,9 hectares, salinized (salinity more than 0,5%) soils are 311 500 hectares.

Change of granulometric composition in the research lands is as the following on the table, it is seen from the table that a quantity of the particles (physical gley), less than 0,01 mm changes by 52,64-68,58%, along the profile. The soils are mean and heavy loamy by a granulometric composition.

Table 2 – Granulometric composition of the soil samples, % (2018 year)

Number of section	Depth, cm	Diameter of particles, mm						
		1,0-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,0001	< 0,001
M-3	0-50	0,79	16,71	25,09	14,92	19,58	22,92	57,41
	50-100	0,83	26,79	21,78	15,04	16,32	19,24	50,60
	100-150	0,65	22,39	24,32	16,28	17,84	18,52	52,64
	150-200	0,61	22,71	23,16	14,62	18,86	20,04	53,52
M-5	0-50	0,40	14,20	24,67	10,89	26,22	23,67	60,73
	50-100	0,25	18,17	27,04	12,08	23,34	19,12	54,54
	100-150	0,22	7,14	24,06	18,24	27,62	42,72	68,58
	150-200	0,38	14,52	19,70	8,66	26,64	30,10	65,40

The salts quantity, ground and irrigative waters mineralization was fixed in the soils of the experimental area. As a result of the analyses it was determined that CO<sub>3</sub> ion wasn't observed in the soil samples taken from the zone.

HCO<sub>3</sub> ion vibrated by 0,012-0,102%. A quantity of Cl ion was 0,016-0,255%. But SO<sub>4</sub> ion number changed by 0,058-0,775% a long the profile. But the salts quantity in these samples (for the dry residue) was 0,206-0,733% (Table 3).

Table 3 – Quantity of salts in the irrigated meadow-grey soils of the experimental area in the Mughan plain,  $\frac{\%}{mg.ekv}$

Number of section	Depth, cm	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	Dry residue, %
1	2	3	4	5	6	7
M-1	0-50	No	$\frac{0,065}{1,06}$	$\frac{0,775}{1,62}$	$\frac{0,255}{0,72}$	0,254
	50-100	No	$\frac{0,093}{1,52}$	$\frac{0,058}{1,21}$	$\frac{0,016}{0,44}$	0,228

Continuation Table 3

1	2	3	4	5	6	7
M-1	100-150	No	$\frac{0,090}{1,48}$	$\frac{0,068}{1,42}$	$\frac{0,018}{0,52}$	0,292
	150-200	No	$\frac{0,102}{1,76}$	$\frac{0,074}{1,54}$	$\frac{0,021}{0,60}$	0,306
M-3	0-50	No	$\frac{0,017}{0,28}$	$\frac{0,276}{5,74}$	$\frac{0,058}{1,62}$	0,518
	50-100	No	$\frac{0,012}{0,20}$	$\frac{0,362}{7,53}$	$\frac{0,074}{2,03}$	0,570
	100-150	No	$\frac{0,024}{0,40}$	$\frac{0,203}{4,23}$	$\frac{0,028}{0,80}$	0,276
	150-200	No	$\frac{0,029}{0,48}$	$\frac{0,101}{2,11}$	$\frac{0,028}{0,80}$	0,206
M-5	0-50	No	$\frac{0,018}{0,30}$	$\frac{0,210}{4,38}$	$\frac{0,228}{6,44}$	0,733
	50-100	No	$\frac{0,019}{0,32}$	$\frac{0,167}{3,48}$	$\frac{0,214}{6,04}$	0,578
	100-150	No	$\frac{0,019}{0,32}$	$\frac{0,177}{3,70}$	$\frac{0,229}{6,44}$	0,654
	150-200	No	$\frac{0,022}{0,36}$	$\frac{0,128}{2,67}$	$\frac{0,203}{5,72}$	0,554

It is seen from the given results that the salts number begins to increase towards the low layers. So the soils of the experimental area aren't salinized, they are salinized to a mean and weak degree.

The ground waters are near the surface in the Mughan zone, the nourishment sources are the followings: irrigative waters, atmospheric precipitations, infiltration waters from the rivers and canals, underground pressure waters and etc. Nourishment at the expense of rain waters forming 8-10% from totality occurs in the spring and autumn seasons. There are pressure waters in the zone and they are connected with the ground waters. The same waters are 15-17% of the income part in water balance. The ground waters level reaches 1,0-1,5 m. These waters are hydrocalcereous for the chemical composition. The chlorine and sulphate types are found in some places [1, 3, 6].

Mineralization of ground waters in the experimental area is as the following table:

Table 4 – Mineralization of ground waters in the experimental area,  $\frac{\text{q/l}}{\text{mq.ekv}}$

Number of section	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	Dry residue, q/l
M-1	No	$\frac{0,018}{0,30}$	$\frac{0,187}{5,32}$	2,215
M-2	No	$\frac{0,027}{0,45}$	$\frac{0,203}{5,80}$	2,435
M-3	No	$\frac{0,031}{0,50}$	$\frac{0,248}{7,10}$	2,873

Mineralization of the subsoil waters in the research zone is different in these cuts: 2,215-2,873 g/l. CO<sub>3</sub> ion wasn't observed in anion content of these samples. A quantity of HCO<sub>3</sub> ion is 0,018-0,031 g/l but Cl ion changed 0,187-0,248 g/l. The



salts type soil was determined in available classifications. Cl ion number in this soil is 10-23% and 25-34%, the salt type is chlorine-sulphatic and sulphatic-chlorine in some places because Cl|SO<sub>4</sub> ratio is 1,0-0,2 and 2,0-1,0.

The salts quantity in soil is 0,206-0,733% for dry residue, humus number is 2,78-0,61%, pH is 7,6-8,5 along profile.

The experiments show that each agromeliorative measure performing with the purpose of fertility increase, displacement of the harmful waters and decrease of the salt quantity in soils causes improvement of the meliorative state of the same soils, increase of the sowing area productivity. The complex measures performed with the purpose of improvement of the ameliorative state in the soil areas good for sowing, provision of the plant productivity.

## Conclusion

The researches show that CO<sub>3</sub> ion in the salts content wasn't observed along the profile in the areas where the collector-drainage system is satisfactory in the Mughan plain. HCO<sub>3</sub> ion is 0,012-0,102%, SO<sub>4</sub> ion – 0,058-0,775%, Cl ion – 0,016-0,255%. The salts quantity for dry residue in soil is 0,206-0,733% and chlorine-sulphatic for Cl|SO<sub>4</sub> ratio. The soils in the Mughan plain are unsalinized, weak and mean salinized for these indices. The soils are mean and heavy loamy for granulometric composition. A quantity of physical clay is 52,64-68,58%, pH number is 7,6-8,5, humus quantity changes by 2,78-0,61 in soil solution along profile. The ground water mineralization is 2,2-2,9 g/l in these areas. The agromeliorative and ameliorative measures which will be performed against salinization and swamping by fulfilling provision of the tillage areas with irrigative water for the purpose of improvement of the soils ameliorative state in the areas good for sowing will swerve increase of soils fertility and agricultural plants productivity.

## REFERENCES

1. Mustafayev, M. G. (2012). Study of the water-salt balance in the ameliorated soils of the Mughan plain. In *Scientific Works collection of A S* (Vol. XXXII, pp. 87–92). Baku, Azerbaijan: Elm.
2. Abduev, M. R. (n.d.). *Delluvial shaped salinized soils of the Azerbaijan plain part*. (pp. 17-124). Baku: "CBS Poligraphy Production".
3. Abduev, M. R. (2012). *Delluvial shaped salinized soils and melioration problems*. Baku: Elm.
4. Jafarov, K. F. (2000). *Azerbaijan soils melioration*. Baku: Elm.
5. Azizov, G. Z. (2006). *Water-salt balance and scientific analysis of its results in ameliorated soil-ground waters of the Kur-Araz valley*. Baku: Elm.
6. Azizov, G. Z., & Guliyev, A. G. (1999). *Azerbaijan salinized soils, increase methods of their amelioration and fertility*. Baku: Az. IMU.
7. Azizov, G. Z., & Mustafayev, M. G. (2010). Change of mineralization and placement depth of subsoil waters in the Mughan-Salyan massive. In *Works collection of Azerbaijan Soil Scientists' Society* (Vol. XI, pp. 31–38). Baku, Azerbaijan.

*The article was received 17.07.2019 and was accepted after revision 14.08.2019*

**М.Г. Мустафасв, Б.М. Мамедов, Н.М. Гусейнова**  
**МЕЛІОРАТИВНИЙ СТАН ЗРОШУВАНИХ ҐРУНТІВ МУГАНСЬКОЇ РІВНИНИ**  
**В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД СТУПЕНЯ І ТИПУ ЗАСОЛЕННЯ**

**Анотація.** Стаття присвячена системі агромеліоративних заходів, розроблених для поліпшення меліоративного стану цих ґрунтів на основі досліджень, проведених в солонцюватих і засолених ґрунтах різного ступеня Мугано-Сальянського масиву Кура-Аразької низовини Азербайджану.

В ході досліджень були вивчені глибина залягання ґрунтових вод і динаміка мінералізації, кількість і тип солей в ґрунті. Для цього в зразках, взятих з дослідної ділянки, була виконана повна водна витяжка.

**Ключові слова:** мінералізація; засолення; солонцюватість; меліоративний стан, колекторно-дренажна мережа; ґрунтові води

**Мустафасв Мустафа Гілман огли**

доктор аграрних наук, доцент Інституту наук про ґрунти та агрохімії Національної академії наук Азербайджану

**Адреса робоча:** AZ1073 Азербайджан, м. Баку, вул. М. Рагіма, 5

**e-mail:** *meliorasiya58@mail.ru*

ORCID ID 0000-0003-2071-3078

**Мамедов Бахтіяр Мурсал огли**

кандидат технічних наук, Інститут наук про ґрунти та агрохімії Національної академії наук Азербайджану

**Адреса робоча:** AZ1073 Азербайджан, м. Баку, вул. М. Рагіма, 5

**e-mail:** *meliorasiya58@mail.ru*

**Гусейнова Ніса Мустафа**

науковий співробітник Інституту наук про ґрунти та агрохімії Національної академії наук Азербайджану

**Адреса робоча:** AZ1073 Азербайджан, м. Баку, вул. М. Рагіма, 5

**e-mail:** *meliorasiya58@mail.ru*

UDC 624.131

**Olexij G. Rogozhin**, D. S. (Economics), Principal researcher  
ORCID ID 0000-0001-8101-9368 *e-mail*: olexarog@gmail.com

**Yevheniy O. Yakovlev**, D. S., Principal researcher  
*e-mail*: yakovlev@niss.gov.ua

Institute of Telecommunication and Global Information Space of NASU, Kyiv, Ukraine

## ASSESSMENT OF ADDITIONAL SEISMIC RISK OF DESTRUCTION OF STRUCTURES ON FLOODED LOESSES AND LOESSY-LOAMY ROCKS IN UKRAINE

**Abstract.** *Over the recent decades in Ukraine regional activation of flooding of lands, accompanied by landslide formation and subsidence of surfaces take place. In the years 1982-2004, in the southern regions of Ukraine, the areas of underflooding increased 9 times. Therefore the risk of destruction of structures from probable seismic shaking increases in large areas, which will provoke landslides and thixotropic dilution of flooded loesses. The article is devoted to the regional economic assessment of additional seismic risk of destruction of structures in Ukraine in areas of distribution of flooded loesses-rock formations. Obtained data on the modern activation of changes in the geological conditions of loesses and loessy-loamy rocks and increasing their contribution to the increase of ecological and geological risks of life lead to the important conclusion that loess-rock massifs in most regions of Ukraine become vulnerable elements of the geological environment to the impact of increasing technogenic load and global climate change. To strengthening the hazardous properties of loesses and loessy-loamy rocks, in addition to subsidence, reduction of strength, etc., new processes have been added – activation of swelling and thixotropy. They are most active in cities and towns, which is caused by large losses of water and heat from urban networks, which reach 35-45% and exceed the filtration capacity of loesses and loessy-loamy soils. In most cases, this leads to the formation of anthropogenic aquifers as a key factor in the mechanism of degradation loesses and loessy-loamy rocks in cities and the formation of hydro-geodeformation fields during seismic shocks. The consideration of climate parameters significantly changes the value of economic assessment of the additional risk of seismic destruction of structures on flooded loesses and loessy-loamy rocks in Ukraine towards its reduction at the locally objective level. It is also advisable to add the number of days with rain for the year and the number of days with non-freezing soil in winter (November-February) to the climate parameters we consider at this stage. The rapid changes of the engineering-geological state of subsidence rock masses in the conditions of influence of factors of global climate change, the increase of global seismicity and technogenesis, in our opinion, require the development of new regulatory and methodological provisions for the study of loesses and loessy-loamy rocks formations in technogenic loaded and vulnerable regions of Ukraine.*

**Keywords:** *seismic risk; loesses; subsidence; engineering and geological conditions*

О.Г. Рогожин, Є.О. Яковлев

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

## ОЦІНКА ДОДАТКОВОГО СЕЙСМІЧНОГО РИЗИКУ РУЙНУВАННЯ СПОРУД НА ПІДТОПЛЕНИХ ЛЕСАХ ТА ЛЕСОВО-СУГЛИНИСТИХ ПОРОДАХ В УКРАЇНІ

*Анотація.* За 1982-2004 рр. в південних регіонах України площі підтоплення зросли у 9 разів. Через це на великих територіях збільшується загроза руйнування споруд від імовірного сейсмічного струшування, що провокуватиме зсуви та тиксотропне розрідження підтоплених лесів. Стаття присвячена регіональній економічній оцінці додаткового сейсмічного ризику руйнування споруд в Україні в ареалах поширення підтоплених лесово-породних товщ. Отримані дані про сучасну активізацію змін інженерно-геологічних умов лесів і лесово-суглинистих порід (ЛСП) та збільшення їх внеску у зростання еколого-геологічних ризиків життєдіяльності підводять до важливого висновку, що лесово-породні масиви у більшості регіонів України стають найбільш чутливим елементом геологічного середовища до впливу зростаючого техногенного навантаження та глобальних змін клімату. До посилення небезпечних властивостей лесів та ЛСП, крім просадковості, зменшення міцності тощо, додалися нові процеси – активізація набухасності, збільшення проявів пливунотворення та тиксотропії. Найактивніше вони проявляються в містах і селищах, що обумовлено великими втратами води і тепла з міських мереж, які сягають 35-45% і перевищують фільтраційну здатність лесів та ЛСП. У більшості випадків це призводить до формування техногенних водоносних горизонтів (так званих «верховодок») як ключового чинника в механізмі деградації лесово-породних товщ у містах та формування гідро-геодеформаційних полів при сейсмопоштовхах. Врахування кліматичних параметрів істотно змінює значення економічної оцінки додаткового ризику сейсмічного руйнування споруд на підтоплених лесах і ЛСП в Україні у бік його зменшення на локально-об'єктовому рівні. До врахованих нами на цьому етапі дослідження кліматичних параметрів доцільно додати також: кількість днів з дощем за рік та кількості днів із не замерзлим ґрунтом в зимовий період (листопад – лютий). Швидкі зміни інженерно-геологічного стану просадкових породних масивів в умовах впливу чинників глобальних змін клімату, зростання глобальної сейсмічності та техногенезу, на нашу думку, потребують розробки нових нормативно-методичних положень з вивчення лесових та лесово-породних формацій із виділенням їх опорних розрізів у техногенно навантажених та вразливих регіонах України.

**Ключові слова:** сейсмічний ризик; леси; просадковість; інженерно-геологічні умови

### Вступ

В останні десятиліття провідним чинником зниження інженерно-сейсмогеологічної стійкості лесових товщ стає їх деградація під зовнішнім впливом підтоплення і засолення, спричиненого техногенно-господарською діяльністю та змінами клімату. Як було показано у [1, 2], ці фактори активізують негативні інженерно-геологічні властивості лесів і ЛСП, такі як розмокаємість, просадковість та тиксотропність.

За 1982-2004 рр. в південних регіонах України площі підтоплення зросли у 9 разів [3, с. 188]. Через це на великих територіях збільшується загроза руйнування споруд від імовірного сейсмічного струшування, що провокуватиме зсуви та тиксотропне розрідження підтоплених лесів (перехід їх у пливунний стан внаслідок віброруйнування неводостійкої агрегатної структури лесового ґрунту).

Картометричний аналіз показав, що частка підтоплених лесів і лесово-суглинистих порід (ЛСП) в межах територій із сейсмічністю 6 балів і більше (від загальної площі лесів і ЛСП в Україні) становить понад 15%. Частка населених пунктів (міст і сіл) на підтоплених лесах і ЛСП із сейсмічністю 6 балів і більше (від тих, що на всіх лесах і ЛСП в Україні) перевищує 18%, а кількість населення в них (від населення на всіх лесах і ЛСП в Україні) наближається до 10%.

Нашою *метою* на поточному етапі дослідження було виконати регіональну економічну оцінку додаткового сейсмічного ризику руйнування споруд в Україні в ареалах поширення підтоплених лесово-породних товщ, спричиненого їх специфічними геотехнічними властивостями. Оцінка здійснена методом картометричного аналізу з використанням інструментів ГС ArcMap 9.3, поглиблюючи наші попередні дослідження загроз руйнування споруд, спричинених деградацією лесових і лесово-суглинистих порід в умовах змін клімату на території України.

### **Техногенне підтоплення як фактор загрози руйнування споруд у містах**

У містах і промислових селищах геологічне середовище (ГС) в цілому разом з техногенною інфраструктурою (житлова і промислова забудова, водоенергетичні і транспортні комунікації тощо) утворюють складні техногенно-геологічні системи (ТГС) «інженерні об'єкти міста – ГС». Саме ці ТГС є головним «депо» техногенних факторів впливу на леси та ЛСП, оскільки в їх межах розташована більшість промислово-міських агломерацій (ПМА) України.

Головною особливістю ГС в межах таких ПМА є його зростаючі зміни, внаслідок чого за своїми інженерно-геологічними, гідрогеологічними та геотехнічними параметрами ТГС у ПМА мають нестабільний характер за умов збереження техногенних навантажень (водно-балансових, теплових, геодинамічних та інших).

Регіональний аналіз складу змін у 1980-2015 рр. гідрогеологічних та інженерно-геологічних умов міст та селищ України, які впливають на безпеку життєдіяльності [12], засвідчив, що головним фактором їх погіршення та одночасного зростання ризику надзвичайних ситуацій (НС) в ПМА на лесово-просадкових ґрунтах є підтоплення територій.

Аналіз просторового розподілу ПМА показав, що формування більшості з них відбувалося за переважно рівнинного рельєфу на просадкових лесових і лесово-суглинистих ґрунтах (понад 50% території України) зі зниженим поверхневим стоком. В таких умовах порушення природного водного і теплового балансу верхньої зони ГС в межах ПМА сприяло активному підйому рівнів ґрунтових вод (РГВ) і активізації процесу підтоплення міст і селищ. За останні 35 років загальна кількість підтоплених ПМА (понад 540) та площа підтоплення (до 200 тис. га, до 11% загальної площі) зросли більше ніж в 2 рази.

Про значний водно-геотехнічний вплив водопровідно-каналізаційних та теплових мереж (ВКТМ) міст та селищ на інженерно-геологічний стан ГС свідчить їх загальна середня щільність у ПМА, яка досягає 11,0 км/км<sup>2</sup>. Причому протяжність водопровідних, каналізаційних та теплоенергетичних мереж у ПМА становить, відповідно: 127, 39 та 41 тис. км, з них 35-45% – в аварійному стані.

В зазначених умовах важливо те, що значна частка енергоспоживання ПМА пов'язана із забезпеченням функціонування ВКТМ, підвищені водні втрати з яких внаслідок незадовільної гідроізоляції впливають як на стійкий просторово-часовий підйом РГВ, так і на додаткові деформації залізобетонних конструкцій будівель з наступним прискоренням їх старіння і зношеності.

За сучасних втрат води в межах ПМА у приблизно 1,2 млрд м<sup>3</sup>/рік, додаткове техногенне живлення ґрунтового шару на площі міст та селищ (19,6 тис. км<sup>2</sup>) у середньому становить порядку:

$$1,2 \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{рік} = 19,6 \cdot 10^3 \cdot 10^6 \approx 0,062 \text{ м} \approx 62 \text{ мм/рік або } 2,0 \text{ л/сек} \cdot \text{км}^2.$$

Це майже в 2 рази перевищує багаторічні регіональні значення інфільтраційного живлення підземних вод (~ 1,0 л/сек·км<sup>2</sup>) і тому сприяє подальшому розвитку підтоплення міст та селищ.

Із наведеного випливає обґрунтоване припущення, що в останні 2-3 десятиліття сучасний стан ВКТМ є головним фактором розвитку підтоплення житлових і промислових споруд у більшості ПМА України, а також – фактором зростання ризику надзвичайних ситуацій (НС) інженерно-геологічного та геотехнічного походження в ареалах поширення просадкових лесів та ЛСП.

## Геотехнічні механізми деградації підтоплених лесових товщ

Згідно із результатами сучасних геотехнічних досліджень (фізико-хімічних, геофізичних, мікроскопічних тощо) головними причинами техногенної активізації просадкових процесів є вилуговування цементуючих карбонатних сполук із лесових та ЛСП та гідратація глинистих мінералів з їх переважним перетворенням у нестійкі колоїдні форми [13]. Це призводить до геомеханічної деградації порід піщано-глинистого складу і формування ділянок їх тиксотропного (пливуноподібного) стану. Показником такої деградації є зростаюче утворення зсувів-потоків на схилових територіях лесово-породних масивів у більшості ПМА України (зокрема, у містах Дніпро, Кам'янське (кол. Дніпродзержинськ), Чернівці, Куп'янськ, Київ, Херсон).

За окремими оцінками під час гідромеліоративних зйомок в Дніпровській області [13], було встановлено, що величина статичного напруження зрушення (СНЗ) перезволожених лесів у пливуніподібному стані становить  $\sigma_{СНЗ} = [100-150 \text{ МПа}]$ . Тоді критична стрімкість схилу  $\alpha_{кр}$  для даних умов техногенних змін геомеханічних показників лесів орієнтовно становитиме:

$$\alpha_{кр}^{\circ} = \arctg \frac{\sigma_{СНЗ}}{\rho \cdot \Delta h}; \quad (1)$$
$$\alpha_{кр}^{\circ} = \arctg \frac{(0,1 - 0,15 \text{ г/см}^2)}{(1,8 \text{ г/см}^3) \cdot 1 \text{ см}} \approx 5^{\circ} - 7^{\circ},$$

де  $\rho$  – середня щільність водонасичених ЛСП,  $\rho \approx 1,8 \text{ г/см}^3$ .

Наведені розрахунки цілком збігаються з фактичними даними щодо зростаючих випадків сучасного зсувоутворення в межах ПМА на схилах зі стрімкістю  $5^{\circ}$ - $7^{\circ}$ , а також щодо суфозійних осідань поверхні біля будівель, місць скупчення транспорту, каналізаційних колодязів, тобто скрізь, де має місце інтенсивна техногенна інфільтрація та перезволоження лесових порід, активні динамічні зміни порового тиску, геомеханічного та фізико-хімічного стану порід підґрунтя будівель і верхньої зони ГС в містах і селищах.

Розвиток ділянок перезволоження та тиксотропних проявів у верхній частині геологічного розрізу лесових товщ обумовлює можливість формування у ній гідро-геодеформаційних полів та ослаблених зон у випадках впливу транзитних (зона Вранча, Крим) та техногенних (промислові вибухи, будівельні роботи тощо) землетрусів.

На прибережних територіях (зокрема в околицях м. Одеса) очікується збільшення прояву додаткового фактору ускладнення інженерно-геологічного стану лесів та ЛСП – підйому рівня моря та збільшення енергії хвиль під впливом глобальних змін клімату. Це має призводити до підвищення зони зволоження підніжжя схилів та зменшення їх критичної висоти  $H_{кр}$ . За відомою залежністю проф. М.А. Цитовича [14], критична висота вертикального схилу  $H_{кр}$ , який складений ґрунтами із залишковим зчепленням у  $C = 0,2 \text{ кг/см}^2$  та об'ємною густиною у  $\gamma_w = 1,4 \text{ г/см}^3$ , дорівнює:

$$H_{кр} = 2 \cdot C / \gamma_w = 2 \cdot 0,2 / 0,0014 \approx 3,0 \text{ м.} \quad (2)$$

Тобто комплексний вплив факторів сучасних глобальних змін клімату (потепління, збільшення зволоження та засолення) на верхню зону лесово-породного масиву, зокрема і на прибережно-морських територіях, призводить до збільшення площ зсувонебезпечних ареалів та інженерно-сейсмогеологічної вразливості споруд в їх межах (особливо в ПМА).

### **Модель додаткового сейсмічного ризику на підтоплених лесах і ЛСП**

Для розрахунку значення додаткового сейсмічного ризику руйнування споруд на підтоплених лесах і ЛСП використана принципова модель такого регіонального ризику, наведена у [4].

$$R_{destr} = N_{dv} \cdot P_m \cdot k_N \cdot b \cdot P; \quad (3)$$

де:  $N_{dv}$  – норма житлової площі на одну людину (приймається, що  $12 \text{ м}^3$ );

$P_m$  – середня балансова вартість  $\text{м}^2$  житлової площі (приймається, що \$1 тис.);

$k_N$  – кількість населення на підтоплених лесах і ЛСП (осіб);

$P$  – імовірність руйнівної події;

$b$  – поправочний коефіцієнт ступеня пошкодження будівлі, залежний від інтенсивності струшувань  $I$  ( $I = 6-6,9 : b = 0,1$ ;  $I = 7-7,9 : b = 0,3$ ;  $I = 8-8,9 : b = 0,7$ ;  $I \geq 9$  балів:  $b = 1$ ).

Ця модель потребує уточнення, зокрема, в частині визначення імовірності (загрози) реалізації руйнівної події з урахуванням кліматичних параметрів та їхньої зміни.

Імовірність *сейсмічного поштовху* та пов'язаного з ним формування поля змін напружено-деформованого стану (НДС) породного масиву розглядається нами як фіксована величина. Згідно з картою загального сейсмічного районування ЗСР-2004 (карта В) вона становить 1/1000 на рік ( $p_s = 10^{-3} \text{ рік}^{-1}$ ) [5, с. 55, 57].

### **Вплив кліматичних факторів на сейсмічний ризик руйнування споруд**

За висновками фахівців УкрНДГМІ, сучасні зміни клімату в Україні в частині опадів полягають у тому, що їх річний обсяг майже не змінився і в найближчі роки істотно не зміниться; натомість зросла (і продовжує зростати) нерівномірність опадів за сезонами та інтенсивністю: рідшають зтяжні дощі, частішають екстремальні зливи в теплий сезон (травень – вересень). І все це на фоні зростання середньомісячних температур і посушливих періодів. Тобто загрози підтоплення на регіональному рівні чимдалі стають: а) яскраво сезонними; б) дискретизуються в часі і просторі; в) ареали цілорічного підтоплення зменшуються, особливо лесів і ЛСП, розміщених переважно у південній половині України (лісостепова і степова природні зони). Таке «сезонне» підтоплення, очевидно, спричиняється здебільшого весняними повенями та аномальними зливами.

Тобто для уточнення імовірності руйнівної події на лесах і ЛСП стає необхідним визначити кліматичну імовірність регіонального підтоплення. Ми пропонуємо здійснювати це на основі врахування середньорічної тривалості наслідків весняних повеней і аномальних злив. У першому наближенні їх припустимо розглядати як не пов'язані події (повені: березень – травень; зливи: травень – серпень).

Імовірність підтоплення внаслідок *весняних повеней* пропонуємо визначати так:

$$p_{\text{п}} = T_{\text{п}} / 365 \text{ рік}^{-1}; \quad (4)$$

де:  $T_{\text{п}}$  – середня багаторічна тривалість повені в регіоні, днів (оцінка за зональними і регіональними кліматичними узагальненнями [6, 7]).

Імовірність підтоплення внаслідок *аномальних злив* пропонуємо визначати так:

$$p_{\text{ш}} = T_{\text{ш}} \cdot t / (365 \cdot 10) \text{ рік}^{-1}; \quad (5)$$

де:  $T_{\text{ш}}$  – кількість зафіксованих в регіоні аномальних злив у 2001-2010 рр. згідно з [8];

$t$  – тривалість підтоплення після аномальної зливи, днів (приймається, що  $t = 14$ ).

Із загальним потеплінням, викликаним зміною клімату, також пов'язане скорочення часу та глибини промерзання [9, с. 195, 197] верхньої зони лесово-породного масиву, що потенційно збільшує його водонасичення. Цей теоретичний висновок має бути підтверджений польовими спостереженнями за фрагментацією зсувних масивів та збільшенням в останні роки зсувних ділянок у вигляді потоків на уражених зсувами схилах у Карпатському регіоні, Придніпров'ї, Криму тощо.



На жаль, ми були вимушені використати дещо застарілі і неповні дані, оскільки, наприклад, інформація про тривалість весняних повеней та кількість аномальних злив в Україні у десятиліття 2010-2019 рр. досі не оприлюднена.

Тоді, оскільки сейсмічний поштовх і підтоплений стан лесів та ЛСП мають збігтися в часі, інтегральна імовірність руйнівної події такого типу становитиме:

$$P = p_s \cdot (p_{fl} + p_{sh}). \quad (6)$$

Згідно з нашою оцінкою за даними наведених вище літературних джерел, інтегральна імовірність загрози руйнування споруд на підтоплених лесах і ЛСП (за сейсмічного поштовху інтенсивністю понад 6 балів) в середньому по Україні становитиме:

$$P_{ua\_kl} = 10^{-3} \cdot (0,137 + 0,031) = 1,68 \cdot 10^{-4} \text{ рік}^{-1}.$$

В різних регіонах вона варіюватиме в інтервалі  $1,23 \cdot 10^{-4} \div 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ рік}^{-1}$ .

Однак відомо, що через зміни клімату, пов'язані з нестійкістю снігового покриву в зимовий період завдяки зростанню частоти і тривалості відлиг, тривалість весняної повені в Україні знижується, як знижується і повеневий стік [6, с. 199; 10, с. 46-47; 11, с. 97]. Ми спробували врахувати це у першому наближенні, зменшивши тривалість весняної повені в середньому на 36%. Відповідно зменшиться і середньорічна імовірність підтоплення повенями та інтегральна імовірність руйнівної події в середньому по Україні до:

$$P_{ua\_ch} = 10^{-3} \cdot (0,087 + 0,031) = 1,18 \cdot 10^{-4} \text{ рік}^{-1}.$$

В регіонах вона варіюватиме в інтервалі  $8,22 \cdot 10^{-5} \div 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ рік}^{-1}$ .

Для розрахунку кількості населення в ареалах сумарної сейсмічності понад 6 балів, небезпечних для стійкості споруд (зони 6-6,9; 7-7,9; 8-8,9; 9 балів і більше), а також кількості населення на площах підтоплених лесів і ЛСП (у відповідних зонах сумарної сейсмічності) виконано картометричне дослідження засобами ГІС ArcMap 9.3. Кількість населення розрахована в розрізі регіонів України. Використана процедура перетину контурів, взятих з відповідних шарів оцифрованих тематичних карт:

– контурів поширення лесів і ЛСП, з «Карты условий развития экзогенных геологических процессов территории Украины» (М 1:1500000), Госкомгео, ГПП «Геопрогноз», Госгеолфонд Украины, 1994-1997;

– картографічний шар контурів розвитку регіонального підтоплення станом на 2004 р., скорегований за даними «Карты підтоплення території України» (М 1:1500000), ДНВП «Геоінформ України», 2016;

– контурів зон сумарної сейсмічності за дослідженнями проф. А.В. Лущика з «Карты-схемы влияния инженерно-геологических условий на техногенное приращение сейсмичности территории УССР» (М 1:1500000), 1990.

Кількість населення оцінена за сукупністю населених пунктів (міст і сіл), що потрапили у відповідні ареали, накладені на «Топографічну електронну карту України з інформацією Держкомстату про чисельність наявного населення України» М 1:200000 (перепис 2001 року). Версія 1.0. ДП «МЦЕК». Харків, 2004.

## Оцінка додаткового сейсмічного ризику руйнування споруд на лесах і ЛСП

Варіанти оцінки ризиків за формулами (3-6) розраховані в розрізі регіонів та для України в цілому (табл. 1).

Управлінський сенс грошової оцінки ризику полягає в тому, що саме стільки мають коштувати зусилля щодо зменшення загрози. В нашому випадку – зусилля із запобігання підтопленню та підтримання сейсмостійкості будівель на відповідних територіях поширення лесів і ЛСП за еквівалентної інтенсивності сейсмічного поштовху.

Максимальна оцінка кількості населення на підтоплених лесах і ЛСП в зонах загальної сейсмічності понад 6 балів по Україні в цілому дорівнює 3,01 млн осіб (6,3% від всього населення в зонах сумарної сейсмічності 6 і більше балів).

Таблиця 1 – Варіанти пілотної економічної оцінки додаткового ризику сейсмічного руйнування споруд на підтоплених лесах і ЛСП в Україні в цілому

	Категорії регіонального ризику, \$ млн рік <sup>-1</sup>	Сумарна сейсмічність, балів				
		6 і більше	6-6,9	7-7,9	8-8,9	9 і більше
1	Загальний сейсмічний ризик руйнування (без врахування кліматичних параметрів)	189,82	13,28	102,30	59,24	15,01
Додатковий сейсмічний ризик руйнування споруд на підтоплених лесах і ЛСП						
2	– без врахування кліматичних параметрів	13,88	0,54	6,18	6,89	0,27
3	% від загального ризику	7,3	4,1	6,0	11,6	1,8
4	– з врахуванням кліматичних параметрів	2,32	0,091	1,03	1,15	0,045
5	% від ризику на підтоплених лесах без врахування кліматичних параметрів	16,8	16,8	16,8	16,8	16,7
6	– у тому числі з врахуванням зменшення тривалості весняної повені	1,64	0,064	0,73	0,81	0,032
7	% від ризику на підтоплених лесах без врахування кліматичних параметрів	11,8	11,85	11,8	11,8	11,85

Джерело: авторські розрахунки.

Максимальна оцінка (без врахування кліматичних параметрів) додаткового ризику руйнування споруд на підтоплених лесах і ЛСП за сейсмічного поштовху 6 балів і більше становитиме приблизно 13,9 \$ млн рік<sup>-1</sup>.

Середня оцінка (з врахуванням кліматичних параметрів) – 2,3 \$ млн рік<sup>-1</sup>.

Мінімальна оцінка (з врахуванням зменшення тривалості весняної повені) – 1,6 \$ млн рік<sup>-1</sup>.

Це становить, відповідно, 7,3%, 1,2%, 0,8% від загального ризику руйнування споруд, розрахованого для зон сумарної сейсмічності згідно з оцінками проф. А.В. Лущика з інтенсивністю сейсмічного поштовху 6 балів і більше – 189,8 \$ млн рік<sup>-1</sup> (без врахування кліматичних параметрів).

Регіоном із найбільшим додатковим сейсмічним ризиком руйнування споруд на підтоплених лесах і ЛСП є Одеська область – 41,5-60% від загальноукраїнського значення ризику в зоні сумарної сейсмічності 6 балів і більше за розрахованими варіантами оцінки. В цьому регіоні переважна частина такого ризику пов'язана з 8-8,9-бальною сумарною сейсмічністю, табл. 2.

Таблиця 2 – Регіональна оцінка додаткового ризику руйнування споруд на підтоплених лесах і ЛСП в Україні у зоні сумарної сейсмічності 6 балів і більше

№	Області	Варіанти оцінки ризику														
		Без врахування кліматичних параметрів					З врахуванням кліматичних параметрів					У т.ч. з врахуванням зменшення тривалості весняної повені				
		Всього ≥ 6	6-6,9	7-7,9	8-8,9	≥ 9	Всього ≥ 6	6-6,9	7-7,9	8-8,9	≥ 9	Всього ≥ 6	6-6,9	7-7,9	8-8,9	≥ 9
1	Крим	384	2	328	55	0	99	0	85	14	0	99	0	85	14	0
2	Вінницька	305	3	27	102	173	48	0	4	16	27	31	0	3	10	18
3	Волинська	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Донецька	263	78	185	0	0	39	11	27	0	0	28	8	19	0	0
5	Дніпровська	1376	10	1322	43	0	217	2	209	7	0	161	1	154	5	0
6	Житомирська	590	10	580	0	0	121	2	119	0	0	73	1	71	0	0
7	Закарпатська	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Запорізька	430	19	411	0	0	65	3	62	0	0	47	2	45	0	0
9	Ів.-Франківська	8	0	3	6	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
10	Київська	63	3	53	8	0	12	1	10	1	0	7	0	6	1	0
11	Кропивницька	25	0	25	0	0	4	0	4	0	0	3	0	3	0	0
12	Луганська	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Львівська	16	16	0	0	0	2	2	0	0	0	2	2	0	0	0
14	Миколаївська	431	2	400	29	0	71	0	66	5	0	54	0	50	4	0
15	Одеська	5765	0	364	5307	94	1235	0	78	1137	20	982	0	62	814	16
16	Рівненська	11	0	11	0	0	2	0	2	0	0	1	0	1	0	0
17	Сумська	128	101	27	0	0	21	16	4	0	0	12	9	2	0	0
18	Полтавська	1217	107	1105	6	0	191	17	174	1	0	128	11	116	1	0
19	Тернопільська	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	Харківська	480	45	435	0	0	77	7	70	0	0	52	5	47	0	0
21	Херсонська	220	120	100	0	0	35	19	16	0	0	26	14	12	0	0
22	Хмельницька	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	Черкаська	90	6	31	54	0	15	1	5	9	0	10	1	3	6	0
24	Чернівецька	1341	0	58	1283	0	192	0	8	183	0	151	0	7	145	0
25	Чернігівська	731	15	716	0	0	147	3	144	0	0	69	1	67	0	0
Україна всього		13882	544	6180	6891	267	2324	91	1034	1153	45	1638	64	729		

Джерело: авторські розрахунки.

Підвищений додатковий сейсмічний ризик руйнування на підтоплених лесах і ЛСП, переважно пов'язаний з зоною 8-8,9-бальної сумарної сейсмічності, спостерігається також у Чернівецькій області (9,2-9,7% від загальноукраїнського значення ризику). А переважно пов'язаний з зоною 7-7,9-бальної сумарної сейсмічності – в Дніпровській (9,3-9,9%) та Полтавській областях (7,8-8,8% від загальноукраїнського значення ризику).

В інших регіонах України за розрахованими варіантами оцінки локалізовано 11,6-32,2% загальноукраїнського значення додаткового сейсмічного ризику руйнування споруд на підтоплених лесах і ЛСП (за винятком Волинської та Тернопільської областей, де він дорівнює нулю).

## **Висновки**

1. Отримані дані про сучасну активізацію змін інженерно-геологічних умов лесів і ЛСП та збільшення їх внеску у зростання еколого-геологічних ризиків життєдіяльності підводять до важливого висновку, що лесово-породні масиви у більшості регіонів України стають найбільш чутливим елементом геологічного середовища до впливу зростаючого техногенного навантаження та глобальних змін клімату.

2. До посилення небезпечних властивостей лесів та ЛСП, крім просадковості, зменшення міцності тощо, додалися нові процеси – активізація набухаємості, збільшення проявів пливунотворення та тиксотропії. Найактивніше вони проявляються в містах і селищах, що обумовлено великими втратами води і тепла з міських мереж, які сягають 35-45% і перевищують фільтраційну здатність лесів та ЛСП. У більшості випадків це призводить до формування техногенних водоносних горизонтів (так званих «верховодок») як ключового чинника в механізмі деградації лесово-породних товщ у містах та формування гідро-геодеформаційних полів при сейсмопоштовхах.

3. Врахування кліматичних параметрів істотно змінює значення економічної оцінки додаткового ризику сейсмічного руйнування споруд на підтоплених лесах і ЛСП в Україні у бік його зменшення на локально-об'єктовому рівні. Врахування їх зміни в останні десятиліття зменшує такий ризик ще більше, оскільки на фоні стійкої тенденції до зростання середніх температур відбувається дискретизація опадів в часі і просторі, збільшення частоти аномальних злив, зменшення стійкості снігового покриву (відлиги) і тривалості весняних повеней, що призводить до такої ж дискретизації регіонального підтоплення.

4. До врахованих нами на цьому етапі дослідження кліматичних параметрів доцільно додати також: кількість днів з дощем за рік та кількості днів із не замерзлим ґрунтом в зимовий період (листопад – лютий).

5. Все більше актуалізується потреба у здійсненні регіонального аналізу зміни зазначених кліматичних параметрів за останні 10 і 20 років та в організації постійного моніторингу за ними силами УкрНДГМІ із публікацією відповідних річних звітів на Інтернет-сайті цього інституту.

6. Не менш важливо здійснювати щорічний просторовий моніторинг регіонального підтоплення (з оцінкою площ в регіональному розрізі) та оприлюднення табличних і картографічних результатів спостереження.

7. Швидкі зміни інженерно-геологічного стану просадкових породних масивів в умовах впливу чинників глобальних змін клімату, зростання глобальної сейсмічності та техногенезу, на нашу думку, потребують розробки нових нормативно-методичних положень з вивчення лесових та лесово-породних формацій із виділенням їх опорних розрізів у техногенно навантажених та вразливих регіонах України, зокрема у її найбільших містах.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рогожин О.Г., Яковлев Є.О. Потенційний приріст сейсмічності в Україні як фактор зростання ризику життєдіяльності від аварій на хіміко-небезпечних ПНО / О.Г. Рогожин, Є.О. Яковлев // Екологічна безпека та природокористування. – 2015. – Вип. 1(17). – С. 15-27.
2. Яковлев Є.О., Рогожин О.Г. Фактори і можливі наслідки регіональних змін інженерно-геотехнічного стану лесів та лесово-суглинистих порід України / Є.О. Яковлев, О.Г. Рогожин // Екологічна безпека та природокористування. – 2018. – Вип. 3(27). – С. 5-23.
3. Пр'яте національне повідомлення України з питань зміни клімату. Мінприроди України. Київ, 2009. – 281 с.
4. Яковлев Є.О., Рогожин О.Г., Васинюк А.В. ГІС-оцінка загроз погіршення інженерно-геотехнічного стану лесів та лесово-суглинистих порід України в умовах глобальних змін клімату / Є.О. Яковлев, О.Г. Рогожин, А.В. Васинюк // Інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: Колективна монографія за матеріалами XVII Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 25-26 вересня 2018 р.) – К: ТОВ «Вид. «Юстон», 2018. – С. 154-156.
5. ДБН В.1.1.-12: 2006. : Додаток В. – 82 с.
6. Сусідко М.М., Лук'янець О.І. Районування території України за ступенем гідрологічної небезпеки / М.М. Сусідко, О.І. Лук'янець // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2004. – Вип. 253. – С. 196-204.
7. Національний атлас України. Поверхневі води та водні ресурси. Текст / В.І. Осадчий, А.І. Шерешевський [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://wdc.org.ua/atlas/4090100.html>
8. Гребенюк Н.П. Характеристика повторюваності сильних злив на території України в умовах сучасних змін клімату / Н.П. Гребенюк // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2014. – Т.1(32). – С. 96-101.
9. Василенко Є.В. Основні чинники формування весняного водопілля в басейні р. Прип'ять та їхні сучасні зміни / Є.В. Василенко // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2011 – Вип. 261. – С. 192-198.
10. Гребінь В.В. Оцінка водності річок басейну верхньої Прип'яті в умовах кліматичних змін / В.В. Гребінь // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2011. – Т.4(25). – С. 38-48.
11. Бібік В.В., Винарчук О.О., Лук'янець О.І., Хільчевський В.К. Просторово-часова характеристика стоку річок басейнів Сула, Псел, Ворскла / В.В. Бібік, О.О. Винарчук, О.І. Лук'янець, В.К. Хільчевський // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2011. – Т.4(25). – С. 85-99.
12. Трофимчук О.М., Яковлев Є.О., Загорчевна Н.Б., Госк Е. Регіональне підтоплення міст та селищ України як фактор її національної безпеки. // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – К. – 2003. – №6. – С. 12-23.
13. Трофимов В.Т., Королев В.А. (ред.). Инженерная геология массивов лёссовых пород. – М. МГУ, 2004. – 139 с.
14. Цытович Н.А. Механика грунтов. – М. – Высш. школа. – 1983. – 288 с.

*Стаття надійшла до редакції 02.08.2019 і прийнята до друку після рецензування 29.08.2019*

## REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Rogozin, O. G., & Yakovlev, Y. O. (2015). Potential increase of seismicity in Ukraine as a factor of growth of personal and social safety risk from accidents on chemically dangerous objects. *Environmental Safety and Natural Resources*, 17(1), 15–27. (in Ukrainian).
2. Yakovlev, Y., & Rogozin, O. (2018). The factors and possible consequences of regional changes in engineering and geotechnical status of loesses and loessy-loamy soils of Ukraine. *Environmental Safety And Natural Resources*, 27(3), 5–23. doi:<http://dx.doi.org/10.32347/2411-4049.2018.3.5-23>. (in Ukrainian).
3. Fifth national message from Ukraine on climate change. (2009). Ministry of Environment of Ukraine. Kyiv, Ukraine (281 p.). (in Ukrainian).
4. Yakovlev, Y. O., Rohozhyn, O. H., & Vasyniuk, A. V. (2018). GIS-otsinka zahroz pohirshennia inzhenerno-heotekhnichnogo stanu lesiv ta lesovo-suhlynystykh porid Ukrainy v umovakh hlobalnykh zmin klimatu. In *XVII Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Informatsiini tekhnologii upravlinnia ekolohichnoiu bezpekoiu, pryrodokorystuvanniam, zakhodamy v nadzvychainykh sytuatsiiakh»*. (Kyiv, 25-26 veresnia 2018 r.) (pp. 154–156). Kyiv: «Vyd. «Iuston». (in Ukrainian).
5. DBN B.1.1.-12: 2006. Addition B. – 82 p. (in Ukrainian).
6. Susidko, M. M., & Luk'ianets, O. I. (2004). Zoning of the territory of Ukraine by the degree of hydrological danger. *Naukovi Pratsi UkrNDHMI*, (253), 196–204. (in Ukrainian).
7. Osadchyy, V. I., & Shereshevs'kyj, A. I. (n.d.). National Atlas of Ukraine. Surface water and water resources. Text. Retrieved from <http://wdc.org.ua/atlas/4090100.html>. (in Ukrainian).
8. Hrebenuk, N. P. (2014). Characteristic of the recurrence of heavy rainfall in Ukraine in the context of modern climate change. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 32(1), 96–101. (in Ukrainian).
9. Vasylenko, Y. V. (2011). The main factors for the formation of spring waterfalls in the Pripyat River basin and their modern changes. *Naukovi Pratsi of UkrNDHMI*, (261), 192–198. (in Ukrainian).
10. Hrebin, V. V. (2011). Assessment of the water quality of the rivers of the upper Pripyat basin in the climate change. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, 4(25), 38–48.
11. Bibik, V. V., Vynarchuk, O. O., Luk'ianets, O. I., & Khilchevskyi, V. K. (2011). Spatio-temporal characteristics of runoff of the Sula, Psel, and Vorskla basins. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, 4(25), 85–99. (in Ukrainian).
12. Trofymchuk, O. M., Yakovlev, Y. O., Zakorchevna, N. B., & Hosk, E. (2003). Regional flooding of Ukrainian cities and towns as a factor of its national security. *Environmental Ecology and Life Safety*, (6), 12–23. (in Ukrainian).
13. Trofymov, V. T. (2004). *Engineering geology of loess-rock massifs*. (V. A. Korolev, Ed.). Moscow: MGU. (In Russian).
14. Cytovych, N. A. (1983). *Soil mechanics*. Moscow: Vyssh. Shkola. (In Russian).

*The article was received 02.08.2019 and was accepted after revision 29.08.2019*

### **Рогожин Олексій Георгійович**

доктор економічних наук, головний науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

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

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

ORCID ID 0000-0001-8101-9368

### **Яковлев Євген Олександрович**

доктор технічних наук, головний науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

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

**e-mail:** [yakovlev@niss.gov.ua](mailto:yakovlev@niss.gov.ua)

УДК 622.25: 502.36/55

**Olexandra V. Buglak**, research assistant  
*e-mail: aleksandra.verkhovtseva@gmail.com*

**Katerina Y. Boiko**, research assistant  
*e-mail: boyko\_ekateruna@ukr.net*

**Oksana V. Lunova**, PhD, Associate Professor of postgraduate education and management  
*e-mail: lunovaov@ukr.net*

State Ecology Academy of postgraduate education and management, Kyiv, Ukraine

**ARMED CONFLICT AS AN ENVIRONMENTAL RISK FACTOR  
AT WATER SUPPLY FACILITIES IN EASTERN UKRAINE  
(CASE STUDY OF “VODA DONBASSA” UTILITY COMPANY’S  
SIVERSKYI DONETS – DONBAS CANAL)**

**Abstract.** *The “Voda Donbassa” utility company’s Siverskyi Donets – Donbas Canal is considered critical infrastructure and at increased risk, as existing environmental threats have been identified (significant technical malfunctions in connection with military operations – breach of the waterproof canal-bed; damage to the pipeline’s water-tightness; flooding along the path due to significant water loss and, as a consequence, development of dangerous geological processes – swamps, landslides, surface subsidence, rising groundwater levels; a possible complication of the humanitarian and sanitary-epidemiological condition in the region is the presence of the prerequisites for man-made accidents to occur at environmentally-hazardous chemical, metallurgical, and energy enterprises that use large volumes of water in their technological process) and recommendations given for minimizing the risks of the beginnings of man-made environmental disasters (development of plans for the localization and elimination of the consequences of accidents, where they are lacking; measures to prevent breaching the integrity and waterproofing of the Siverskyi Donets – Donbas Canal – technical inspection, planned and preventative maintenance work, repair work; monitoring the canal’s hydrological and hydrogeological systems, hydraulic structure technical condition, ensuring systematic monitoring and renovation of the water supply system; implementation of measures for drainage of land in areas of flooding in order to reduce the negative impact).*

*In connection with the passage of the Siverskyi Donets – Donbas Canal route through the line of armed conflict, it is necessary to create “secure zones” with a radius of 5 km where the canal intersects the contact line in order to prevent their destruction due to possible shelling.*

**Keywords:** *canal; critical infrastructure; environmental risks; degree of danger; line of armed conflict; secure zone*

---

© O.V. Buglak, K.Y. Boiko, O.V. Lunova, 2019

О.В. Буглак, К.Є. Бойко, О.В. Луньова

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, м. Київ, Україна

## **ЗБРОЙНИЙ КОНФЛІКТ ЯК ФАКТОР ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ НА ОБ'ЄКТАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ НА СХОДІ УКРАЇНИ (НА ПРИКЛАДІ КАНАЛУ «СІВЕРСЬКИЙ ДОНЕЦЬ – ДОНБАС» КП «КОМПАНІЯ «ВОДА ДОНБАСУ»)**

***Анотація.** Розглянуто канал «Сіверський Донець – Донбас» КП «Компанія «Вода Донбасу» як один із об'єктів критичної інфраструктури та підвищеної водно-екологічної небезпеки, визначено наявні екологічні загрози (значні технічні несправності у зв'язку із збройним конфліктом) – порушення гідроізоляції русла каналу, пошкодження герметичності водогону; підтоплення територій вздовж траси їх проходження в зв'язку зі значними втратами води і, як наслідок, розвиток небезпечних геологічних процесів – заболочування місцевості, зсуви, просідання поверхні, підйом рівня ґрунтових вод; можливе ускладнення гуманітарної та санітарно-епідеміологічної ситуації в регіоні; наявність передумов до виникнення техногенних аварій на екологічно небезпечних підприємствах хімічної, металургійної, енергетичної галузей, які в своєму технологічному процесі використовують великі обсяги води.*

*Надано рекомендації щодо мінімізації ризиків виникнення техногенно-екологічних катастроф (розробка планів локалізації і ліквідації наслідків аварій, де вони відсутні; заходи щодо недопущення порушення цілісності та герметичності каналу Сіверський Донець – Донбас, в т.ч. контроль за гідрологічним та гідрогеологічним режимами роботи каналу, технічним станом гідротехнічних споруд).*

*У зв'язку з проходженням траси каналу Сіверський Донець – Донбас через лінію збройного зіткнення показана необхідність створення «зони безпеки» радіусом 5 км з метою попередження руйнування критичних гідротехнічних споруд.*

***Ключові слова:** канал; об'єкт критичної інфраструктури; екологічні ризики; небезпечні екзогенні геологічні процеси; лінія збройного зіткнення; зона безпеки*

### **Постановка проблеми**

Сучасні екологічні ризики для населення та довкілля регіону досліджень стосуються порушення екосистем та природних територій, руйнування об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ), забруднення джерел питно-господарського водопостачання (ПГВ).

Канал «Сіверський Донець – Донбас» КП «Компанія «Вода Донбасу» є одним із провідних ОКІ, розташованих як на контрольованій, так і на тимчасово неконтрольованій території Донецької області [1-6]. Крім того, природно-техногенна система (ПТС) цього об'єкта є однією з виразних особливостей території Донецької області. Головним завданням її функціонування залишається забезпечення стійкого і екобезпечного ПГВ за умови використання значного обсягу незахищених від впливу техногенних і військових факторів поверхневих вод басейну р. Сіверський Донець.



Слід зазначити, що на контрольованій території органи виконавчої влади та місцевого самоврядування, до сфери управління яких належить цей об'єкт, мають можливість здійснювати обмежений за складом екологічних параметрів моніторинг каналу «Сіверський Донець – Донбас» КП «Компанія «Вода Донбасу» та контролювати розвиток подій, пов'язаних з його функціонуванням. Це, в свою чергу, суттєво ускладнює обґрунтування, розробку та впровадження заходів щодо попередження виникнення аварійно-небезпечних ситуацій, а у разі виникнення таких ситуацій – заходів щодо їх оперативної локалізації та ліквідації. При цьому, на сьогодні, органам місцевого самоврядування недостатньо відомий стан цього просторово розвинутого та технологічно складного об'єкта, у зв'язку із чим ситуація щодо його подальшого стійкого та безпечного функціонування є складною еколого-технологічною задачею.

Через проведення бойових дій загроза пошкодження каналу «Сіверський Донець – Донбас» є досить великою. Крім того, у разі виникнення аварій локалізація та ліквідація наслідків аварійної ситуації може бути ускладнена через неможливість отримання доступу до місць пошкоджень [2].

Згідно з існуючими уявленнями, екологічний ризик – це ймовірність виникнення негативних змін навколишнього середовища від негативної події, яка має відповідну ймовірність реалізації [7]. Він характеризується такими нормативними рівнями:

- прийнятний екологічний ризик;
- гранично допустимий екологічний ризик;
- критичний екологічний ризик;
- неприпустимий ризик.

Наявність значної кількості джерел екотехногенної небезпеки (гідротехнічних споруд, теплових електростанцій, магістральних газо- і нафтопродуктопроводів та інших об'єктів виробництва) в умовах військового конфлікту створює передумови забруднення водного середовища як у процесі нормального функціонування об'єктів, так і в результаті різного роду аварій і катастроф на вищезгаданих техногенних об'єктах.

## **Основні результати дослідження**

Водопостачання більшої частини Донецької області здійснюється за допомогою такої гідротехнічної споруди, як канал «Сіверський Донець – Донбас», яка експлуатується КП «Компанія «Вода Донбасу».

Приблизна довжина каналу «Сіверський Донець – Донбас» КП «Компанія «Вода Донбасу» – 130 км. Він бере свій початок біля м. Слов'янськ та закінчується неподалік м. Донецьк Донецької області. Канал складається із відкритої та закритої частин. Відкрита частина – традиційний наземний канал трапецієподібної форми. Закрита частина каналу – трубні мости (дюкери), які представляють собою 2-3 труби діаметром близько 2,4 м із додатковим насосним обладнанням. Використання дюкерів зумовлено необхідністю перетину інших річок, залізничних переїздів, автомобільних доріг, а також нерівностей рельєфу.

До складу каналу входять 4 насосних станції підйому: станція I підйому – 9 насосних агрегатів; станція II підйому – 9 насосних агрегатів; станція III підйому – 12 насосних агрегатів; станція IV підйому – 7 насосних агрегатів.

За допомогою каналу відбувається водопостачання Верхньокальміуської, Макіївської, Єнакієвської та Горлівських фільтрувальних станцій, які забезпечують питною водою близько 2 млн чоловік.

Канал Сіверський Донець – Донбас, який побудований у 1953-1958 рр., проходить по вододілах між річками Сіверський Донець і Казенний Торець, що обумовлює його активний еколого-геологічний вплив на режим ґрунтових вод. Забір води в канал із р. Сіверський Донець здійснюється в смт Райгородок Слов'янського району. В місці водозабору річка перекрита греблею, внаслідок чого рівень води в ній підвищився на 5 м з одночасним підпором рівня ґрунтових вод та розвитком локальних ділянок підтоплення на прилеглих територіях. На всій протяжності каналу від Райгородського гідровузла до р. Кальміус відзначається підйом рівнів у межах від 0,5-1 до 25 м, у середньому на 5-10 м. В багатьох випадках підйом рівнів супроводжується заболочуванням земель та погіршенням якості поверхневого стоку. Вода з каналу подається практично в усі промислові райони системою розподільних магістральних водоводів. Значну роль у водопостачанні області відіграють і підземні води, оскільки в окремих містах, селищах і селах вони є головним, а нерідко й єдиним захищеним від поверхневого забруднення джерелом питної води.

Слід зазначити, що пов'язані з недосконалим фільтраційним захистом значні водні втрати з каналу Сіверський Донець – Донбас, які надходять у водоносний горизонт у відкладах верхньої крейди, докорінно змінили гідродинамічну обстановку району. Гідрогеологічними дослідженнями встановлено, що на початку 70-х років фільтраційний потік з каналу погасив формування депресійної лійки на площі водозабору ділянки Білянська. Але більш яскраво вплив каналу проявився, коли зі збільшенням інтенсивності водовідбору відбувалося безупинне підвищення динамічних рівнів на 3-8 м. Була визначена потужність техногенного підземного потоку (5,1 м), що надходить у водоносний горизонт у результаті фільтрації з каналу. Це послужило приводом для переоцінки запасів ділянки Білянська. Обсяг водозабору становив 466 млн м<sup>3</sup>/рік або 73% від загального забору води у Донецькій області.

Від стійкості функціонування каналу залежить витриманість подачі питної води таким містам, як Донецьк, Горлівка, Макіївка, Єнакієве, Авдіївка, Торецьк, Волноваха, Маріуполь та прилеглі населені пункти, в яких проживає близько 3,5 млн людей. При цьому слід зазначити, що альтернативних шляхів достатнього постачання води вищевказаним містам за переважання сучасної схеми водно-поверхневого водокористування немає.

### ***Екологічні ризики***

У зв'язку із проведенням бойових дій, канал періодично мав значні технічні несправності (порушення гідроізоляції русла каналу, пошкодження герметичності водогону тощо), через що відбуваються значні втрати води, що в свою чергу активізує підтоплення територій вздовж траси проходження водонесучих комунікацій. При цьому зростання ділянок підтоплення територій сприяє додатковому розвитку небезпечних геологічних процесів, таких як заболочування місцевості, зсуви, карстово-суфозійні лійки, просідання поверхні, підйом рівня ґрунтових вод [2, 9, 10].

Причинами техногенних трансформацій штучних водних об'єктів і дисбалансу їх функціонування є високий рівень техногенного навантаження за рахунок інтенсифікації техногенезу, що неминуче призводить до зростання

рівня ентропійних (нерівноважних за масо-енергообміном) процесів, порушення гомеостазу, речовинно-енергетичного балансу та динамічної рівноваги між абіотичною і біотичною складовими.

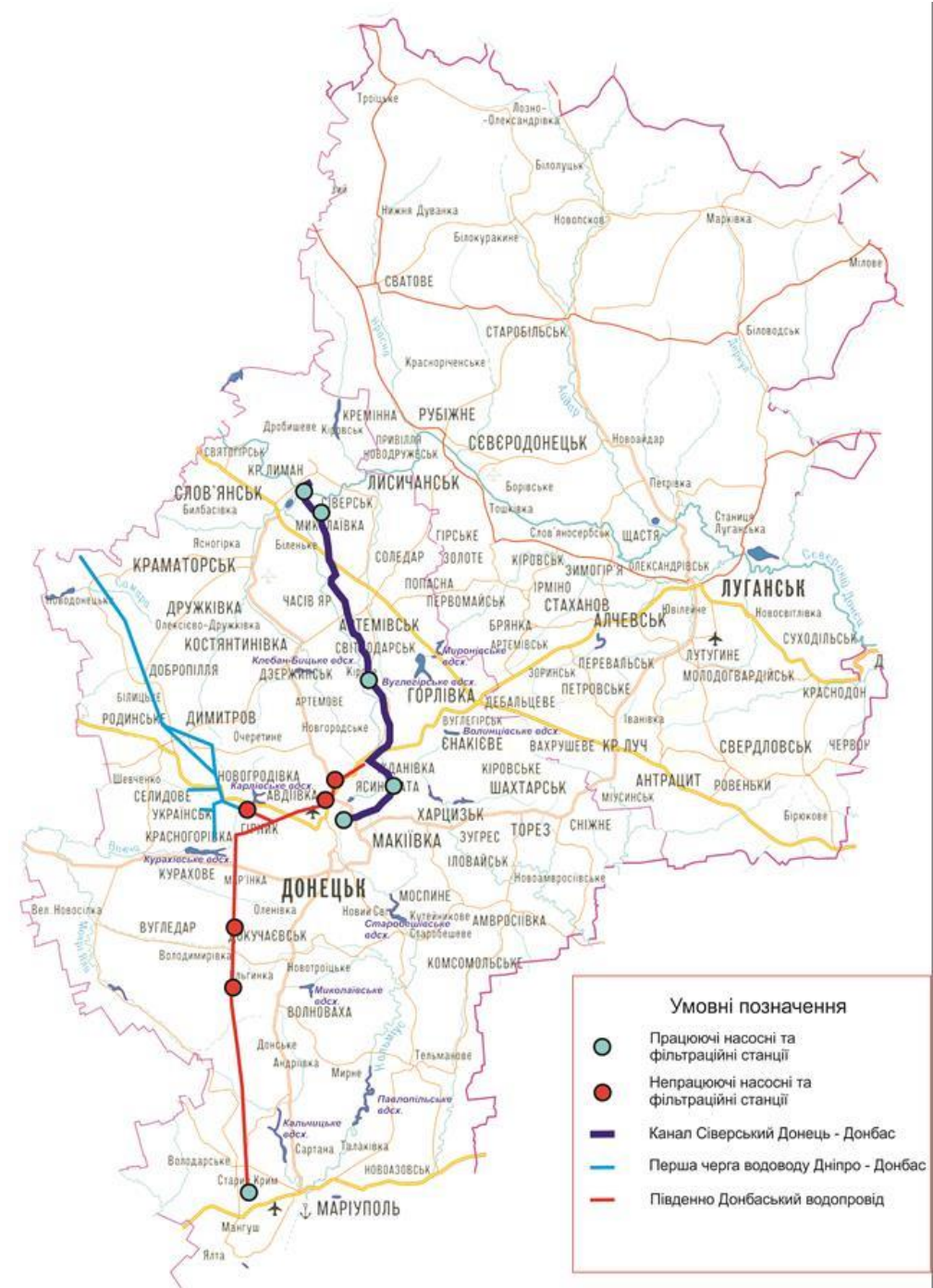


Рис. 1 – Канал «Сіверський Донець – Донбас» КП «Компанія «Вода Донбасу»

Визначення механізму екологічних перетворень штучних водних екосистем у техногенно трансформовані можливо за рахунок встановлення інтенсивності змін внутрішньоводоймних процесів та системної узгодженості взаємозв'язків між біотичною і абіотичною складовими.

Динамічна водно-екологічна рівновага поверхневого водного об'єкта (каналу) залежить від механізму біотичної саморегуляції, визначальною складовою якого є система живих організмів (їм належить основна середовищеутворювальна функція), яка перебуває в прямій залежності від абіотичних чинників та зумовлена постійними взаємозв'язками і взаємодіями з антропогенними факторами.

Система управління цього водного об'єкта у природно-техногенних умовах еколого-гідрохімічних параметрів зводиться до підвищення буферності та збільшення її захисної здатності, за рахунок введення інформативної індикаторної системи контролю, яка враховує структурно-функціональні зміни розвитку водних екосистем і дозволяє виявити порушення взаємозв'язків між системою втручання та системою самоочищення. Враховуючи вищенаведене, нами окремо було розраховано складові екологічного ризику за показником сольового складу та за показниками наявних у пробах води токсичних речовин з однаковою лімітуючою ознакою шкідливості (таблиця 1). До останніх слід віднести виявлені концентрації сполук металів – Zn, Pb та Hg, які, однак, не перевищують гранично допустимих концентрацій, визначених санітарними нормами для питної води (ДСанПіН 2.2.4-171-10).

Таблиця 1 – Екологічна оцінка вод каналу за загальним екологічним індексом

Контрольні точки відбору проб	Загальний екологічний індекс та його показник		
	ІІ блок показників сольового складу	ІЗ блок показників токсичної дії	Іе загальний екологічний індекс
р. Сіверський Донець 522 км, Райгородська гребля, питний водозабір в каналі СДД	0,72	0,09	0,81
канал СДД, в районі м. Часів Яр	0,80	0,10	0,90
канал СДД, в районі шахтного поля закритої шахти 2-БИС Микитівського ртутного комбінату	0,86	0,12	0,98

Аналіз отриманих результатів показує, що техногенно-зумовлений характер розвитку каналу СДД має незначне коливання вмісту блокових показників, а їх спрямованість, за узагальненим екологічним індексом, має близькі градації в межах кожного контрольного поста за гідрохімічними показниками (просторово-часове розповсюдження забруднювачів). Останнє може бути свідченням наявності відносно стійкого асимілюючого потенціалу у комплексі ПТС каналу «Сіверський Донець – Донбас» КП «Компанія «Вода Донбасу».

Для прогнозування змін якості вод каналу СДД з урахуванням структурно-функціональних особливостей розвитку обрано статистично-математичний метод, заснований на використанні речовинного балансу, метаболічної та екологічної спроможності трансформованих водних екосистем (ТВЕ) за компенсаційним механізмом біотичної саморегуляції. Такий підхід дозволяє надати об'єктивну оцінку якісного виснаження ТВЕ та математично описати зміни речовинного балансу в просторі та часі. Статистична математична модель являє собою аналітично-виражену тенденцію розвитку:

$$C = f(t) * K_{\text{сам}}$$

де  $C$  – сумарний показник ХСК – кисневий еквівалент загальної кількості у воді органічних речовин;

$t$  – час;

$K_{\text{сам}}$  – орієнтовне значення коефіцієнта швидкості самоочищення річкової води від забруднювальних речовин (даний показник дорівнює 0,2).

Коефіцієнт самоочищення введено у зв'язку з екосистемним способом розвитку біоценозів, який впливає на фізико-хімічну трансформацію хімічних сполук і тим самим об'єднує біоту з біологічними процесами.

Отже, зміна інтенсивності внутрішньоводоймних процесів, за рахунок порушення взаємозв'язків і взаємодії між зазначеними параметрами, призводить до техногенних трансформацій, кількісним інтегральним показником яких є компенсаційний механізм біотичної саморегуляції, динаміку інтенсивності змін якого показано на рисунку 2.

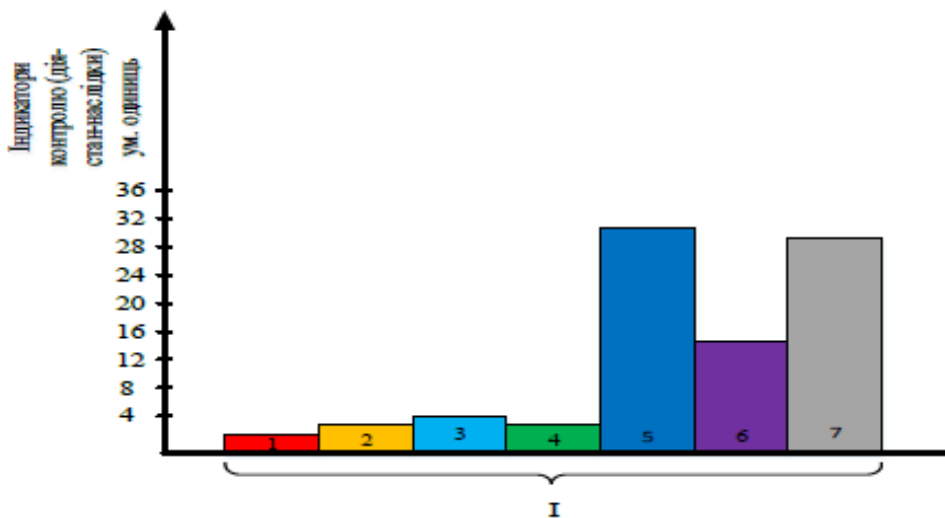


Рис. 2 – Динаміка змін інтенсивності компенсаційного механізму біотичної саморегуляції ТВЕ:

1 – індекс техногенних впливів; 2 – критерій біомаси; 3 – ІЗВ; 4 – критерій ефективності механізму пластичного метаболізму хімічних сполук; 5 – критерій екологічної ємності; 6 – критерій техноємності; 7 – критерій інтенсивності механізму біотичної саморегуляції ТТВЕ

## **Рекомендації щодо мінімізації ризиків виникнення техногенних катастроф водно-екологічного походження у ПТС каналу «Сіверський Донець – Донбас» КП «Компанія «Вода Донбасу»**

З метою мінімізації ризиків виникнення техногенно-екологічних катастроф, пов'язаних із функціонуванням каналу «Сіверський Донець – Донбас» КП «Компанія «Вода Донбасу» як головного джерела питно-господарського водопостачання у регіоні Східного Донбасу, необхідно:

- підвищити комплексність систематичного водно-екологічного контролю за гідрологічним та гідрогеологічним режимами роботи каналу Сіверський Донець – Донбас, а також за технічним станом його гідротехнічних споруд;
- розробити плани локалізації і ліквідації наслідків аварій на об'єктах підвищеної небезпеки із загрозою стійкого забруднення поверхневого та підземного стоку, де вони відсутні;
- вжити заходів (технічна перевірка, планові та профілактичні роботи з їх обслуговування, ремонтні роботи) щодо недопущення порушення цілісності каналу та герметичності водогону;
- здійснювати заходи щодо проведення осушення земель в місцях затоплення територій з метою зменшення деформацій підгрунтя гідротехнічних споруд, попередження процесів електрохімічної корозії та іншого негативного впливу;
- в зв'язку з проходженням траси каналу Сіверський Донець – Донбас через лінію збройного зіткнення, необхідно створити «зони безпеки» в місцях перетину каналом фронтової зони радіусом 5 км з метою зниження загрози руйнування відповідальних гідротехнічних споруд;
- розробити державну програму щодо збільшення використання місцевих джерел прісних підземних вод як захищеного джерела питного водопостачання за умови збройного конфлікту та зростання забруднюючого впливу затоплення шахт.

## **Висновки**

Через збройний конфлікт та активізацію некерованого затоплення вугільних шахт на сході України значно погіршилася ситуація із безпечним функціонуванням об'єктів критичної інфраструктури та об'єктів підвищеної небезпеки, які розташовані в безпосередній близькості до місць проведення активних бойових дій, що створює передумови до виникнення екологічних та техногенних аварій.

З метою недопущення виникнення еколого-техногенних аварій та катастроф необхідно здійснювати постійний моніторинг та аналіз функціонування об'єктів критичної інфраструктури та об'єктів підвищеної небезпеки, які розташовані як на підконтрольній, так і на тимчасово окупованій території Донецької та Луганської областей.

Також необхідно провести детальні дослідження природних та штучних процесів, що мають негативний вплив на водно-екологічну ситуацію в межах Донецької та Луганської областей, особливо на тимчасово окупованих територіях, через наявність взаємопов'язаних процесів між потенційно небезпечними об'єктами, що розташовані на підконтрольній та тимчасово окупованій території.

Підсумовуючи викладене, необхідно зауважити, що проблеми антропогенного впливу та збройного конфлікту на сході України та зростання небезпечних незворотних змін довкілля, в першу чергу геологічного середовища, вимагають посилення уваги до вирішення природоохоронних проблем на всіх рівнях організації суспільства, пошуку новітніх підходів їхнього розв'язання.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бондар О.І., Улицький О.А., Єрмаков В.М. Звіт про надання послуги «Проведення оцінки та вивчення еколого-техногенного стану Донецької та Луганської областей з метою розробки рекомендацій щодо природно-ресурсного відновлення на екологічних засадах» м. Київ, 2017. – 177 с.
2. Рудько Г.І., Бондар О.І. Екологічна безпека вугільних родовищ України / Г.І. Рудько, О.І. Бондар, Є.А. Яковлев, О.А. Машков, С.А. Плахотній, В.М. Єрмаков // монографія: Вид-во «ВВД Бук Рекм». – Чернівці, 2016. – 608 с.
3. Семерак О. (2018) Повноцінна реінтеграція окупованих територій неможлива без екологічної складової [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://menr.gov.ua/news/32116.html>.
4. Білявський Г.О., Фурдуй Р.С., Костіков І.О. Основи екології // підручник: Вид-во «Либідь», Київ, 2006. – 408 с.
5. Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Хміль Г.А. Природний техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління // монографія: Вид-во «ЗАТ фірма «Вітол». – Київ, 2008. – 544 с.
6. Денісов Н., Аверін Д., Єрмаков В. Оцінка екологічної шкоди та пріоритети відновлення довкілля на сході України / Н. Денісов, Д. Аверін, А. Ющук, О. Улицький, П. Бистров, С. Зібцев, С. Чумаченко, Ю. Набиванець // Організація з безпеки та співробітництва в Європі. – Київ, 2017. – 88 с.
7. Лисиченко Г.В., Хміль Г.А., Барбашев С.В. Методологія оцінювання екологічних ризиків. – Одеса: Астропринт, 2011. – 368 с.
8. Лисиченко Г.В., Хміль Г.А., Барбашев С.В. Забулонов Ю.Л., Тищенко Ю.Є. Екологічний ризик: методологія оцінювання та управління. Навч. посібник. – К.: Наук. думка, 2014. – 328 с.
9. Верховцев В.Г. Прикладные (поисковые и инженерно-геологические) аспекты изучения платформенных геоструктур Украины // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2005. – № 3. – С. 80-92.
10. Верховцев В.Г. Новейшие платформенные геоструктуры Украины и динамика их развития / Дис... д-ра геол. наук. – Киев, 2007. – 423 с.

*Стаття надійшла до редакції 21.08.2019 і прийнята до друку після рецензування 05.09.2019*

## REFERENCES (TRANSLATED AND transliterated)

1. Bondar, O. I., Ulyckyj, O. A., & Jermakov, V. M. (2017). «*Provedennja ocinky ta vyvchennja ekologo-tehnogennogo stanu Donec'koi' ta Lugans'koi' oblastej z metoju rozrobky rekomendacij shhodo pryrodno-resursnogo vidnovlennja na ekologichnyh zasadah*». (177 p.). Kyiv. (in Ukrainian).
2. Rud'ko, G. I., Bondar, O. I., Jakovljevic, Y. A., Mashkov, O. A., Plahotnij, S. A., & Jermakov, V. M. (2016). *Environmental safety of coal deposits of Ukraine*. Chernivci: Publisher «VVD Buk Rekm». (in Ukrainian).
3. Semerak, O. (2018). *Povnocinna reintegracija okupovanyh terytorij nemozhlyva bez ekologichnoi' skladovoi*. Retrieved from <https://menr.gov.ua/news/32116.html>. (in Ukrainian).

4. Biljavs'kyj, G. O., Furduj, R. S., & Kostikov, I. O. (2006). *Principles of Ecology*. Kyiv, Ukraine: Publisher «Lybid'». (in Ukrainian).
5. Lysychnenko, G. V., Zabulonov, J. L., & Hmil', G. A. (2008). *Natural man-made and environmental risks: analysis, evaluation, management*. Kyiv: Publisher «ZAT firma «Vitol». (in Ukrainian).
6. Denisov, N., Averin, D., Jushhuk, A., Ulyc'kyj, O., Bystrov, P., Zibcev, S., Chumachenko, S., & Nabyvanec', J. (2017). *Environmental damage assessment and environmental restoration priorities in eastern Ukraine*. Kyiv: Organization for Security and Co-operation in Europe. (in Ukrainian).
7. Lysychnenko, G. V., Hmil', G. A., & Barbashev, S. V. (2011). *Methodology for environmental risk assessment*. Odesa: Astroprynt. (in Ukrainian).
8. Lysychnenko, G. V., Hmil', G. A., Barbashev, S. V., Zabulonov, J. L., & Tyshhenko Ju. Je. (2014). *Environmental risk: methodology for assessment and management*. Kyiv: Naukova dumka. (in Ukrainian).
9. Verhovcev, V. G. (2005). Applied (prospecting and engineering-geological) aspects of studying of platform geostructures of Ukraine. *Environmental Ecology and Safety of Life*, (3), 80–92. (in Ukrainian).
10. Verhovcev, V. G. (2007). *The latest platform geostructures in Ukraine and the dynamics of their development* (dissertation). Kyiv, Ukraine: NASU, Institute of Geological Sciences. (in Russian).

*The article was received 21.08.2019 and was accepted after revision 05.09.2019*

**Буглак Олександра Валентинівна**

молодший науковий співробітник Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління

**Адреса робоча:** 03035 Україна, м. Київ, вул. Митрополита Василя Липківського 35, корп. 2

**e-mail:** [aleksandra.verkhovtseva@gmail.com](mailto:aleksandra.verkhovtseva@gmail.com)

**Бойко Катерина Євгенівна**

молодший науковий співробітник Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління

**Адреса робоча:** 03035 Україна, м. Київ, вул. Митрополита Василя Липківського 35, корп. 2

**e-mail:** [boyko\\_ekaterina@ukr.net](mailto:boyko_ekaterina@ukr.net)

**Луньова Оксана Володимирівна**

кандидат технічних наук, доцент Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління

**Адреса робоча:** 03035 Україна, м. Київ, вул. Митрополита Василя Липківського 35, корп. 2

**e-mail:** [lunovaov@ukr.net](mailto:lunovaov@ukr.net)



# ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ NATURAL RESOURCES

UDC 504.05 ; 004.942 ; 626/627

**Dmytro V. Stefanyshyn**, D. S. (Engineering), Lead researcher<sup>1</sup>, Professor of Department of Hydrotechnical Construction and Hydraulic<sup>2</sup>

ORCID ID: 0000-0002-7620-1613 *e-mail*: [d.v.stefanyshyn@nuwm.edu.ua](mailto:d.v.stefanyshyn@nuwm.edu.ua)

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

<sup>2</sup>National University of Water and Environmental Engineering (NUWEE), Rivne, Ukraine

## FEASIBILITY ANALYSIS OF CONSTRUCTION OF NEW HYDROPOWER PLANTS IN UKRAINE TAKING INTO ACCOUNT THE RISK OF UNUSED POSSIBILITIES

**Abstract.** *The article presents results of feasibility analysis of construction of new hydropower plants in Ukraine according to the Hydropower development program for the period till 2026, which was approved by our Government in 2016. In particular, there are analyzed perspective plans for building the Kakhovka hydropower plant #2 and six new hydropower plants on the river Dniester, as well as developing small hydropower in the country. The feasibility analysis is based on pairwise comparison of alternatives by the criterion of minimum aggregate risk taking into account the risk of unused opportunities. Components of aggregate risks of alternatives are estimated in dimensionless units for water-energy and operability characteristics and costs of commissioning of new hydro aggregates.*

**Keywords:** *aggregate risk; alternative; decision-making; feasibility analysis; hydropower; hydropower plants; optimization; pairwise comparison; renewable energy; risk of unused possibilities*

### Introduction

In connection with the accelerated development of renewable energy in our country [1, 2], especially solar and wind [3-6], being observed in the last decade (Table 1), a number of difficult issues has appeared relating to sustainable and reliable functioning the national combined energy system (CES) in the conditions of a significant deficit of regulating capacities of large hydropower plants (HPPs) and pumped-storage hydropower plants (PSHPPs) [7-9].

Table 1 – Renewable energy in Ukraine (MW)<sup>1</sup> [3-6]

Renewable Energy	Years										
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019 <sup>3</sup>
Wind <sup>2</sup>	84	87	151	194	334	426	426	438	465	533	706
Solar <sup>2</sup>	-	3	191	326	616	411	432	531	742	1388	2072
Household solar	-	-	-	-	-	0.1	2	17	51	157	157
Small hydropower	66	68	71	73	75	80	87	90	95	99	99
Biomass	-	-	-	6	17	35	35	39	39	52	52
Biogas	-	-	-	-	7	14	17	20	34	46	51
New	-	8	255	186	450	-83	33	136	291	849	862
Total	150	158	413	599	1049	966	999	1135	1426	2275	3137

<sup>1</sup> Without large hydropower generation

<sup>2</sup> Without power generation in the Autonomous Republic of Crimea and in the occupied territory of Donbas (in total, Russia has arrogated 633.7 MW of renewable energy of Ukraine)

<sup>3</sup> According to data for the first quarter of 2019

The role of manoeuvre power sources in the combined energy systems is best fulfilled by HPPs and PSHPPs. For example, starting hydropower units from a stopped position in a turbine mode with synchronization and a complete set of power is only 1-2 minutes; while at idling speed is 15-30 seconds. Changing the power of the hydro unit or its stop needs only a few seconds [9]. In conditions of significant unevenness of daily power load schedules in the combined energy systems, it is the HPPs and PSHPPs, which have the highest manoeuvrability and the largest regulatory range (Table 2), in general, can best provide a stable, efficient and reliable operation of the national energy system.

Table 2 – Comparative characteristics of manoeuvrable qualities of main types of power plants [9]

Types of power plants	Technical minimum load, % (the ratio of minimum permissible power to the installed power)	Regulation range, %	Time to set the full power, min	
			After stopping	From the "hot" state
Nuclear	85-90	10-15	390-660	60
Thermal (coal, fuel oil)	70-80	20-30	90-180	20-50
Gas turbines	0	100	15-30	0.5
Hydraulic	0	100	1-2	0.25-0.5
Pumped-storage	0	200	1-2	0.25-0.5

It is believed that for the stable and reliable operation of the CES of Ukraine, the share of manoeuvrable capacities in its overall electricity balance should be about 15-20% [7-9]. At present, the domestic hydropower is capable of reliably providing only about 8-9% of such regulating capacities. As a result, the main regulatory role in the CES of our country is mainly performed by thermal power plants (TPPs) [7]. However, utilization of capacities of the TPPs for adjusting load schedules is uncharacteristic, economically inexpedient and even dangerous for the specified type of power generation. The work of the TPP's equipment with a change in load, frequent systematic shutdowns and start-ups of units, leads to decreasing in their efficiency, fuel overconsumption, accelerated aging of equipment, increasing

probability of failures and cost price of electric power. In particular, it is associated with increasing environmental pollution.

Therefore, the decisions on further increase of hydro generating capacity in the country, laid out in the Hydropower development Program for the period till 2026 [7], at first glance, are quite rational. Ukraine requires additional high-manoeuvrability and regulatory electro generation capacities, including because of the development of renewable solar and wind energy, which is characterized by a high degree of dependence on climatic conditions and instability of electricity generation [1, 2, 7-9].

### 1. Some general remarks concerning current state of hydropower in Ukraine

The main functions of domestic hydropower are the regulation of frequency and load schedules in the CES and the formation of an emergency power reserve providing the technological energy safety of the country [8, 9].

Some quantitative characteristics of hydropower development in Ukraine from 2010 till 2018 are given in Table 3. During this period, in the country there have been commissioned three hydro aggregates on the Dniester PSHPP with total capacity of 972 MW in turbine mode (1263 MW in pumping mode) and 31 MW of small hydropower.

Table 3 – Hydropower in Ukraine (MW) (according to data from [3-6])

Power plants	Years								
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Large hydropower	5400.2	5400.2	5400.2	5724.2	5724.2	6048.2	6048.2	6048.2	6048.2
Small hydropower	68	71	73	75	80	87	90	95	99
Total hydropower	5468.2	5471.2	5473.2	5799.2	5804.2	6135.2	6138.2	6143.2	6147.2
Share, %, of small hydro in total hydropower	1.24	1.30	1.33	1.29	1.38	1.42	1.47	1.55	1.61
Share, %, of hydropower in total renewable energy <sup>1</sup>	97.19	92.98	90.14	84.68	85.73	86.00	84.39	81.16	72.99
Share, %, of small hydro plants in renewable energy <sup>2</sup>	43.04	17.19	12.19	7.15	8.28	8.71	7.93	6.66	4.35

<sup>1</sup> With large hydropower

<sup>2</sup> Without large hydropower

In general, the share of hydropower in the overall balance of renewable energy in Ukraine from 2009 till the first quarter of 2019 decreased from 97.33% to 66.21%. Accordingly, in this period the potential for more efficient regulation of the load schedule in the CES of the country, by means of highly manoeuvrable hydropower facilities, has decreased too. It should also be mentioned that the small hydropower

industry that has been developing in the country in recent years (Table 3) does not have sufficient regulatory capacity compared to large hydropower. Moreover, the work of small hydropower plants according to the “green tariff” in the CES of Ukraine, taking into account the climate, topography, and hydrological characteristics of domestic small rivers [10], can be considered more in the context of renewable energy that needs regulation. The only thing that can be calmed in this situation is that the share of small hydropower in the balance of hydropower facilities in the country is negligible. There is also a tendency for a significant reduction of the share of small hydropower in the structure of non-traditional renewable energy (see Table 3, without large hydropower). From 2009 till the first quarter of 2019 it has fallen from 44% to 3.16%. At present, the power of solar plants in households (see Table 1) in the country is already twice the installed capacity of small hydropower. Household solar, along with bioenergy (biomass and biogas), can be considered as a more acceptable “green” alternative to small hydropower, given that, in general, small hydropower in Ukraine can not be considered as environmentally friendly, including in comparison with the domestic large hydropower [10-12].

As for our large hydropower, one of its important features is a significant proportion of hydro-accumulation in installed capacity. In turbine mode, this share already makes up almost 25% (1508.5 MW). Taking into account the pumping storage mode (2016 MW), the overall regulation range in the CES thanks to the large hydropower currently reaches 8064.2 MW. Considering the world tendencies of hydropower development with gradual accent on hydro-accumulation, and limited reserves of hydropower potential of rivers in the country [13, 14], an increase in the share of hydro-accumulation can be considered as a positive aspect of the further development of hydropower in the country.

## **2. Some general remarks concerning the Hydropower development program for the period till 2026**

The Hydropower development program for the period till 2026 [7] was approved by our Government in 2016. This Program has envisaged achieving an ambitious goal, namely, increasing the share of hydrogeneration in the overall electricity balance of the country from the current 8-9% up to 15%.

Although the achievement of the hydropower share of 15% in the total balance of the CES due to the implementation of the Program [7] is quite questionable, in any case an increase in highly manoeuvrable regulatory capacity of hydropower in the national energy system will have a positive effect.

In particular, according to the Program, the following actions are foreseen to provide (See also Table 4):

- completion of construction the Dniester and the Tashlyk pumped-storage hydropower plants (PSHPP), the construction of the Kaniv PSHPP;
- the second stage of reconstruction of the HPPs of the Dniprovsky and Dnistrovsky cascades (in general, reconstruction of 76 hydro units is envisaged);
- construction of the Kakhovka HPP#2 to expand the Kakhovka HPP on the Dnipro River and the construction of six new hydropower plants on the Dniester River (the so-called Upper Dnistrovskiy cascade of HPPs);
- as well as rehabilitation and construction numerous small hydropower plants (with the participation of private investors and state support for their activities through the “green tariff”).

Table 4 – The expected outcomes of the Program [7]

Power plants		Installed capacity <i>N</i> , MW	Power generation <i>E</i> , MW·h	Cost <i>C</i> , 10 <sup>9</sup> , hryvnias
Dniester PSHPP	the second stage	324 (421 <sup>I</sup> )	388.5 (515.5 <sup>II</sup> )	2.8
	the third stage	972 (1263 <sup>I</sup> )	1165.5 (1546.5 <sup>II</sup> )	8.4
Tashlyk PSHPP		604 (861 <sup>I</sup> )	582 (785 <sup>II</sup> )	14.9
Kaniv PSHPP		1000 (1120 <sup>I</sup> )	1017 (1153 <sup>II</sup> )	40.5 <sup>III</sup>
Reconstruction of existing HPPs		307	330	22.33
Kakhovka HPP#2		250	44	13.47 <sup>IV</sup>
Upper Dnistrovskiy cascade of HPPs		390	710	31.9 <sup>V</sup>
Small hydropower <sup>VI</sup>		88	120	-
Total		3935 (3665 <sup>I</sup> )	4387 (4000 <sup>II</sup> )	134.3

<sup>I</sup> Pumped-storage mode

<sup>II</sup> Energy consumption in pumping mode

<sup>III</sup> USD 1.5 billion at prices for January 1, 2013

<sup>IV</sup> 0.42 billion Euros at prices for January 1, 2013

<sup>V</sup> 1.1 billion Euros at prices for January 1, 2014

<sup>VI</sup> Private investments

Provided the Program [7] is fully implemented, the installed hydrogeneration capacity in the national energy system will increase by 39%. The share of hydroaccumulation in the overall balance of hydrogeneration in the country will also increase and reach 43%. It can be concluded that the development of hydroaccumulation in the near future is a priority objective of the Program [7].

In particular, the Program [7] states that according to the National Renewable Energy Action Plan [1, 2], the total installed capacity of wind power plants and solar power stations, which are non-maneuvrable power generating capacity, is expected to increase almost fivefold. It is also indicated that an increase in installed power of objects of power engineering using these renewable energy sources should be carried out within the limits that are technically feasible to ensure the reliability of the functioning of the CES of Ukraine. Finally, it is recognized that the use of pumped-storage hydropower plants is a universal mechanism for solving the problems that exist in the CES of Ukraine.

However, the Program also provides for the modernization and reconstruction of existing hydropower plants and the construction of new HPPs. At the same time, with the total capacity of additional hydrogeneration at large HPPs of about 947 MW, which is more than three times less than the expected new hydrogeneration capacity at the PSHPP (2900 MW), the total costs for commissioning of additional hydrogeneration at the HPPs will be even slightly higher than the costs concerning the PSHPPs. Small hydropower, which is financed by private investors, practically does not change this negative relation between hydrogeneration at the HPPs and the PSHPPs.

### 3. Topicality, general objective and particularities of the research

In practice, not only cost indicators and ratio of expected results determine feasibility of projects. Projects may be effective but not feasible. The effectiveness of any project can be stimulated by various kinds of preferences, for example, in the form of a “green tariff” for produced electricity, etc. However, a feasible project does not necessarily have to be absolutely effective too. For example, the Program’s [7] project for the reconstruction of existing hydropower plants of the Dnipro and Dniester cascades may be considered quite feasible. Provided it is needed, various

alternatives to its implementation may be analysed to find among them a more efficient (optimal, etc.) one.

It is known that hydropower projects, like any other projects, may be burdened with various risks, including the risks of unused (lost, etc.) possibilities (or opportunities, etc.). The latter risks should also be taken into account when comparing alternatives and making decisions. It is also known that traditional hydropower can have a significant impact on the environment [15, 16]. Besides of the expected positive effects, unexpected negative socio-environmental and economic effects may occur, affecting other perspective fields of human activity, limiting possibilities for other natural resources users. Taking into account even the most significant socio-ecological and socio-economic effects is a complicated task of analyzing and comparing alternatives. It is quite difficult to get rid of the influence of various subjective conclusions while solving similar tasks. However, the task could be simplified if, at the final stage of decision-making, the best alternatives are compared in their spheres, fields, etc. These chosen alternatives may be considered more feasible than others.

In the research, a method of decision-making was used on the basis of a pairwise comparison of alternatives taking into account the risk of unused possibilities (opportunities). The fundamentals of the method are given in [17]. The method has already been used to solve several tasks related to development of the national hydropower. The first task concerned selecting the optimal variant for the development of the Dnipro HPPs cascade taking into account the risk. The task had been considered in 2010 [18] before approving the Program [7]. There had been established the feasibility of construction of the Kaniv PSP in comparison with the construction of the Kakhovka HPP#2. As the next feasible option of the cascade development it was determined the construction of the Kakhovka HPP#2 with three or four additional units and total installed capacity of 168-224 MW. The second task concerned grounding of an optimal scenario for setting of new hydrogeneration capacities at PSHPPs in Ukraine in accordance with the Program [7]. In particular, it was concluded the feasibility of the commissioning at first of the fourth aggregate of the Dniester PSHPP with the subsequent construction of the Kaniv PSHPP in comparison with other possible alternatives [19].

The purpose of this article is to ground the feasibility of building new hydropower plants in Ukraine in accordance with the Program [7] taking into account the risk of unused possibilities. Among the possible options is the construction of the Kakhovka HPP#2, the Upperdnistrovsky cascade of the HPPs and the further development of small hydropower (See Table 4). The problem is solved on the basis of a pairwise comparison of alternatives according to the method [17]. The peculiarity of the solution of the problem is that the project of the second stage of the reconstruction of existing hydroelectric plants of the Dnipro and Dniester cascades in the Program [7] is accepted as a “zero” alternative.

#### **4. Formalization of the research: Risks of alternatives and decision making**

According to the method presented in [17], the aggregate (or total) risk of each of alternatives is determined in the form of a linear combination of possible costs or other negative effects and results  $l$  associated with the corresponding decision, and the expected positive effects or results (benefits, gains, achievements, advantages)  $g$  that can be obtained in the case of an alternative solution.

The task of multicriteria optimization on a countable set of admissible alternatives  $\mathbf{A} = \{a_i\}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , while their pairwise comparison, is reduced to the next optimization problem:

$$d_{opt} = \{a_{i,opt} \mid a_{i,opt} \in \mathbf{A} \wedge r_{i,opt} = \min(r_{i,j}, r_{j,i}) \forall (a_i, a_j)\}, i, j = \overline{0, n}, i \neq j, \quad (1)$$

where  $r_{i,j}$ ,  $r_{j,i}$  are aggregate risks, respectively, for an alternative  $a_i$  when comparing it with  $a_j$ , and  $a_j$  comparing with  $a_i$ :  $r_{i,j} = l_i + g_j$ ,  $r_{j,i} = l_j + g_i$ , where  $l_i$ ,  $l_j$  and  $g_i$ ,  $g_j$  are the values of the correspondingly normalized convolutions of criteria, which are subject to minimization or maximization, of the alternatives  $a_i$  and  $a_j$  presented as own (or systemic) risks and risks of unused possibilities of the alternatives  $a_i$ ,  $a_j$ .

In general, various positive and negative effects or results may have different units of measurement. Therefore, the quantitative assessment of the relevant components of aggregate risk is carried out in dimensionless units (scores) based on a universal log scale (see also [17-19]). Then, the score of some value  $y_k$  of the corresponding characteristic will be like that:

$$r(y_k) = \mu_k \cdot \lg y_k + y_{k,0}, \quad (2)$$

where  $\mu_k$  is module,  $y_{k,0}$  is zero point on the integral log scale length  $L$  (let  $L$  be equal to 10) for characteristic  $y_k$ :

$$\mu_k = \frac{L}{\lg y_{k,max} - \lg y_{k,min}}, \quad y_{k,0} = -\mu_k \lg y_{k,min}, \quad (3)$$

where  $y_{k,max}$ ,  $y_{k,min}$  are maximum and minimum values of  $y_k$ .

If  $y_{k,min} = 0$  it will be counted that  $y_{k,0} = 0$ ,  $\mu_k = \frac{L}{\lg y_{k,max}}$ ,  $r(0) = 0$ .

Further, the components of aggregate risks (systemic risks  $l$  and risks of unused possibilities  $g$ ) of each alternative  $a_i$  in comparison with  $a_j$  are represented by the sums of scores of the corresponding characteristics, namely:

$$l_i = \sum_{k=1} l_{k,i}, \quad g_j = \sum_{k=1} g_{k,j}. \quad (4)$$

After the formation of the assessments of risk (4), the aggregate risks of alternatives are determined in the form of linear combinations  $r_{i,j} = l_i + g_j$ ,  $r_{j,i} = l_j + g_i$ . Pairwise comparisons of alternatives with choosing better one among them are carried out according to the rule (1).

## 5. Solving the problem and results obtained

While researching there were considered and pairwise compared eight alternatives. They were ordered and numbered according to increasing installed capacity. These are alternatives  $a_0 \div a_7$  (See their characteristics in Table 5):

- $a_0$  is the second stage of reconstruction of the HPPs of the Dniprovsky and Dnistrovsky cascades (the “zero” alternative);
- $a_1$  is the second stage of reconstruction of the HPPs of the Dniprovsky and Dnistrovsky cascades, and also the further development of small hydropower;
- $a_2$  is the second stage of reconstruction of the HPPs of the Dniprovsky and Dnistrovsky cascades, and also the construction of the Kakhovka HPP#2;
- $a_3$  is the second stage of reconstruction of the HPPs of the Dniprovsky and Dnistrovsky cascades, the construction of the Kakhovka HPP#2 and the further development of small hydropower;
- $a_4$  is the second stage of reconstruction of the HPPs of the Dniprovsky and Dnistrovsky cascades and the building of the Upper Dnistrovskiy cascade of HPPs;
- $a_5$  is the second stage of reconstruction of the HPPs of the Dniprovsky and Dnistrovsky cascades, the construction of the Upper Dnistrovskiy cascade of HPPs and the further development of small hydropower;
- $a_6$  is the second stage of reconstruction of the HPPs of the Dniprovsky and Dnistrovsky cascades, the construction of the Kakhovka HPP#2 and the construction of the Upper Dnistrovskiy cascade of HPPs;
- $a_7$  is the second stage of reconstruction of the HPPs of the Dniprovsky and Dnistrovsky cascades, the construction of the Kakhovka HPP#2 and the Upper Dnistrovskiy cascade of HPPs and the development of small hydropower.

Table 5 – The characteristics of alternatives  $a_0 \div a_7$

Alternatives	Characteristics				
	$N$ , MW	$E$ , MW·h	$C$ , $10^9$ , hrs	$C_E$	$N_{reg}$ , MW
$a_0$	307	330	22.33	330	276.3
$a_1$	395	450	22.33	930	293.9
$a_2$	557	374	35.8	374	513.8
$a_3$	645	494	35.8	974	531.4
$a_4$	697	1040	54.23	1040	529.8
$a_5$	785	1160	54.23	1640	547.4
$a_6$	947	1084	67.7	1084	767.3
$a_7$	1035	1204	67.7	1684	784.9

As characteristics, from which the components of the risk  $l$  were formed, costs of construction (or reconstruction)  $C$  of HPPs and averaged (weighted) expected costs of power buying  $C_E$  depending on alternatives  $a_0 \div a_7$  were considered. Costs  $C_E$  were determined according to formula:



$$C_E = \sum_{k=1} E_k \cdot v_k, \tag{5}$$

where  $E_k$  is the total quantity and  $v_k$  is score value of tariff of the unit of electricity produced by the source of hydrogeneration with the index  $k$ .

For our research, if electricity is produced at large HPPs score value of tariff  $v_k$  is equal 1. If electricity is produced at small HPPs, let  $v_k$  will be 5.

As characteristics, from which the components of the risk of unused possibilities  $g$  were formed, the power capacities  $N_{reg}$ , which can be used in adjusting the load schedule in the CES of the country, and power generation  $E$  depending on alternatives  $a_0 \div a_7$  were considered. The corresponding power capacities  $N_{reg}$  were determined according to the formula:

$$N_{reg} = \sum_{k=1} N_k \cdot c_k, \tag{6}$$

where  $N_k$  is the installed capacity and  $c_k$  is the reliability coefficient concerning regulation possibilities in the framework of the CES depending on the source of hydrogeneration with the index  $k$ , respectively.

For our research the following values  $c_k$  are taken: the HPPs of the Dniprovsky and Dnistrovsky cascades, the reliability coefficient  $c_k = 0.9$ ; the Kakhovka HPP#2,  $c_k = 0.95$ ; the Upper Dnistrovskiyi cascade of HPPs,  $c_k = 0.65$ ; in the case of small hydropower,  $c_k = 0.2$ .

The results of numerical assessment of risk components of the considered alternatives  $a_0 \div a_7$  are given in Table 6. The results of their pairwise comparison in accordance with the rule (1) are given in Table 7.

Table 6 – Results of numerical assessment of risk components of the alternatives  $a_0 \div a_7$

Alternatives	Systemic risk			Risk of unused possibilities		
	$C$	$C_E$	$l$	$N_{reg}$	$E$	$g$
$a_0$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$a_1$	0.00	6.36	6.36	0.59	2.40	2.99
$a_2$	4.26	0.77	5.02	5.94	0.97	6.91
$a_3$	4.26	6.64	10.90	6.26	3.12	9.38
$a_4$	8.00	7.04	15.04	6.24	8.87	15.10
$a_5$	8.00	9.84	17.84	6.55	9.71	16.26
$a_6$	10.00	7.30	17.30	9.78	9.19	18.97
$a_7$	10.00	10.00	20.00	10.00	10.00	20.00

Table 7 – Decision table for pairwise comparison of the considered alternatives

$a_i / a_j$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$
$a_0$	-	<b>2.99</b>	<b>6.91</b>	9.38	15.10	16.26	18.97	20.00
$a_1$	<b>6.36</b>	-	<b>13.27</b>	9.97	21.46	22.62	25.33	26.36
$a_2$	<b>5.02</b>	<b>8.01</b>	-	<b>14.40</b>	<b>20.13</b>	<b>21.28</b>	<b>24.00</b>	<b>25.02</b>
$a_3$	10.90	13.88	<b>17.80</b>	-	26.00	27.16	29.87	30.90
$a_4$	15.04	18.03	<b>21.95</b>	24.42	-	31.30	34.01	35.04
$a_5$	17.84	20.83	<b>24.75</b>	27.22	32.94	-	36.81	37.84
$a_6$	17.30	20.28	<b>24.21</b>	26.68	32.40	33.56	-	37.30
$a_7$	20.00	22.99	<b>26.91</b>	29.38	35.10	36.26	38.97	-

So, the best alternative is  $a_2$ . This alternative is burdened with the lowest risk when pairwise comparison with any other alternative among the considered alternatives  $a_i, i = \overline{0,7}$ .

## Conclusions

The results of our research show that the best alternative to build new hydropower plants in the country among the considered alternatives the alternative  $a_2$  is. This is the second stage of reconstruction of the HPPs of the Dniprovsky and Dnistrovsky cascades and also the construction of the Kakhovka HPP#2. This alternative should be considered the most feasible to improve situation in the domestic hydropower without significant risks.

As well as, it should be noted that alternatives, which provide for the further development of small hydropower in the country, are worse than alternatives which neglect its development. It may indicate that decision to develop small hydropower in the country under the current conditions and thanks to the “green tariff” is questionable and ungrounded.

## REFERENCES

1. Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті: матеріали XIX міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 26-28 вересня 2018 р.). 674 с.
2. Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті: матеріали XX міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 15-16 травня 2019 р.). Київ : Інтерсервіс, 2019. 952 с.
3. Інформація щодо потужності та обсягів виробництва електроенергії об'єктами відновлюваної електроенергетики, які працюють за «зеленим» тарифом (станом на 01.01.2017). 5 с. URL: <http://sae.gov.ua/sites/default/files/Info%20elektry%60ka%20VDE.pdf>.
4. Потужності відновлюваної електроенергетики у 2017 році зросли у два рази. URL: <https://uprom.info/news/energy/potuzhnosti-vidnovlyuvanoyi-elektroenergetiki-u-2017-rotsi-zrosli-u-dva-razi/>.
5. Інформація щодо потужності та обсягів виробництва електроенергії об'єктами відновлюваної електроенергетики, яким встановлено «зелений» тариф (станом на 30.06.2018). 4 с. URL: [http://sae.gov.ua/sites/default/files/RE\\_1\\_half\\_2018.pdf](http://sae.gov.ua/sites/default/files/RE_1_half_2018.pdf).

6. Інформація щодо потужності та обсягів виробництва електроенергії об'єктами відновлюваної електроенергетики, яким встановлено «зелений» тариф (станом на 30.09.2018). 4 с. URL: <http://sae.gov.ua/sites/default/files/VDE.pdf>.
7. Програма розвитку гідроенергетики на період до 2026 року : Схвалено розпорядженням КМ України від 13.07. 2016 р. № 552-р. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/552-2016-%D1%80#n7>.
8. Шидловський А.К., Поташник С.І., Федоренко Г.М. Надійні гідроелектростанції – гарант технологічної безпеки та ефективної експлуатації АЕС та ТЕС. Гідроенергетика України. 2005. № 1. С. 8-11.
9. Розвиток теплоенергетики та гідроенергетики / Є.Т. Базеєв, Б.Д. Білека, Є.П. Васильєв та ін.; Наук. ред.. В.М. Клименко, Ю.О. Ландау, І.Я. Сігал. 2013. 399 с. URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-3/part-2/section-2/2-8>.
10. Власюк Ю.С., Стефанишин Д.В. Про проблеми та перспективи малої гідроенергетики в Україні. Математичне моделювання в економіці. №1. 2018. С. 126-138.
11. Стефанишин Д.В., Власюк Ю.С. До питання порівняльного аналізу водноенергетичних характеристик малих і великих гідроелектростанцій України у складі гідровузлів з водосховищами. Математичне моделювання в економіці. №2. 2018. С. 71-83.
12. «Зелений» тариф для міні-ГЕС сприяє знищенню українських річок, – експерт WWF. URL: [https://zik.ua/news/2016/09/12/zelenyy\\_taryf\\_dlya\\_miniges\\_spruyuaie\\_znyshchennyu\\_ukrainskyh\\_richok\\_ekspert\\_856872](https://zik.ua/news/2016/09/12/zelenyy_taryf_dlya_miniges_spruyuaie_znyshchennyu_ukrainskyh_richok_ekspert_856872).
13. Stefanyshyn D. On peculiarities of hydropower development in the world and in Ukraine. Екологічна безпека та природокористування. Зб. наук. праць. Вип. 25 (№ 1). Київ: КНУБА, ІТГП НАНУ. 2018. С. 12-23.
14. Стефанишин Д.В. Проблеми та перспективи гідроакумуляції в контексті раціонального природокористування та екологізації гідроенергетики в Україні. Математичне моделювання в економіці. №3(12). 2018. С. 101-113.
15. Ivashintsov D.A., Stefanishin D.V., Veksler A.B. Ecological and sociodemographic consequences of hydrotechnical construction (Problems of safety and risk). Power Technology and Engineering. Vol. 27. Issue 12. December, 1993. P.P. 685-691. DOI: 10.1007/BF01545709.
16. Environmental experience gained from reservoirs in operation. Trans. of the 18-th Int. Congress on Large Dams. Vol. 2. Q.69. Durban – South Africa, November, 1994. 780 p.
17. Стефанишина-Гаврилюк Ю.Д., Стефанишин Д.В. Прийняття рішень у природокористуванні з урахуванням ризику невикористаних можливостей на підставі попарного порівняння альтернатив. Системні дослідження та інформаційні технології. 2016. №3. С. 51-62.
18. Стефанишин Д.В. Про перспективи гідроенергетики в Україні та вибір варіанту розвитку Дніпровського каскаду з врахуванням ризику. Гідроенергетика України. 2010. №3. С. 5-11.
19. Стефанишин Д.В. Обґрунтування оптимального сценарію введення нових агрегатів на гідроакумуляюючих електростанціях в Україні з врахуванням ризику. Гідроенергетика України. №3-4. 2018. С. 24-29.

## REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Renewable Energy and Energy Efficiency in the 21st Century. (2018). Materials of the XIX International Scientific and Practical Conference (Kyiv, September 26-28, 2018), 674 p. (in Ukrainian).
2. Renewable Energy and Energy Efficiency in the 21st Century. (2019). Materials of the XX International Scientific and Practical Conference (Kyiv, May 15-16, 2019). Kyiv, Interservice, 952 p. (in Ukrainian).

3. Information on power and volumes of electricity production by renewable energy companies operating under the “green” tariff (as of 01.01.2017). 5 p. Retrieved from <http://sae.gov.ua/sites/default/files/Info%20elektry%60ka%20VDE.pdf>. (in Ukrainian).
4. The power of renewable energy in 2017 has doubled. Retrieved from <https://uprom.info/news/energy/potuzhnosti-vidnovlyuvanoyi-elektroenergetiki-u-2017-rotsi-zrosli-u-dva-razi/>. (in Ukrainian).
5. Information on power and volumes of electricity produced by renewable energy objects, which have a “green” tariff (as of June 30, 2018). 4 p. Retrieved from [http://sae.gov.ua/sites/default/files/RE\\_1\\_half\\_2018.pdf](http://sae.gov.ua/sites/default/files/RE_1_half_2018.pdf). (in Ukrainian).
6. Information on power and volumes of electricity produced by renewable energy objects, which have a “green” tariff (as of September 30, 2018). 4 p. Retrieved from <http://sae.gov.ua/sites/default/files/VDE.pdf>. (in Ukrainian).
7. Hydropower development program for the period up to 2026. Approved by the order of the Cabinet of Ministers of Ukraine from 13.07. 2016 № 552-r. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/552-2016-%D1%80#n7>. (in Ukrainian).
8. Shidlovsky, A. K., Potashnik, S. I., Fedorenko, G. M. (2005). Reliable hydropower plants are the guarantor of technological safety and efficient operation of NPPs and TPPs. *Hydropower of Ukraine*, № 1, 8-11. (in Ukrainian).
9. Development of heat power engineering and hydropower. (2013). Baseev, Ye. T., Bileka, B. D., Vasiliev, Ye. P., et al. ; Science ed. Klymenko, V. M., Landau, Yu. O., Sigal, I. Ya. 399 p. Retrieved from <http://energetika.in.ua/ua/books/book-3/part-2/section-2/2-8>. (in Ukrainian).
10. Vlasyuk, Yu. S., Stefanyshyn, D. V. (2018). On problems and prospects of small hydropower engineering in Ukraine. *Mathematical Modeling in Economy*, №1, 2018, 126-138. (in Ukrainian).
11. Stefanyshyn, D. V., Vlasyuk, Yu. S. (2018). To the issue of comparative analysis of water-energy characteristics of small and large hydroelectric power plants of Ukraine being parts of waterworks with reservoirs. *Mathematical Modeling in Economy*, №2, 71-83. (in Ukrainian).
12. “Green” tariff for mini-HPP promotes the destruction of Ukrainian rivers, - WWF expert. Retrieved from [https://zik.ua/news/2016/09/12/zelenyy\\_taryf\\_dlya\\_miniges\\_spryyaie\\_znyshchennyu\\_ukrainskyh\\_richok\\_ekspert\\_856872](https://zik.ua/news/2016/09/12/zelenyy_taryf_dlya_miniges_spryyaie_znyshchennyu_ukrainskyh_richok_ekspert_856872). (in Ukrainian).
13. Stefanyshyn, D. V. (2018). On peculiarities of hydropower development in the world and in Ukraine. *Environmental safety and natural resources*. Issue 25 (№ 1), Kyiv, KNUBA, ITGIP of NASU, 12-23.
14. Stefanyshyn, D. V. (2018). Problems and prospects of hydro-accumulation in the context of rational nature management and ecologization of hydropower in Ukraine. *Mathematical Modeling in Economy*, №3 (12), 101-113. (in Ukrainian).
15. Ivashintsov D.A., Stefanishin D.V., Veksler A. B. (1993). Ecological and sociodemographic consequences of hydrotechnical construction (Problems of safety and risk). *Power Technology and Engineering*, Vol. 27, Issue 12, December, 685-691. DOI: 10.1007/BF01545709.
16. Environmental experience gained from reservoirs in operation. (1994). *Trans. of the 18-th Int. Congress on Large Dams*. Vol. 2. Q.69. Durban – South Africa, November, 780 p.
17. Stefanyshyna-Gavryliuk, Yu. D., Stefanyshyn, D. V. (2016). Decision-making in natural resources use taking into account the risk of lost opportunities based on pairwise comparison of alternatives. *System Research and Information Technologies*, №3, 51-62. (in Ukrainian).
18. Stefanyshyn, D. V. (2010). About the prospects of hydropower in Ukraine and the choice of the variant of development of the Dnipro cascade taking into account the risk. *Hydropower of Ukraine*, №3, 5-11. (in Ukrainian).
19. Stefanyshyn, D. V. (2018). Grounding the optimal scenario for the introduction of new aggregates at the hydroelectric power plants in Ukraine taking into account the risk. *Hydropower of Ukraine*, №3-4, 24-29. (in Ukrainian).

*The article was received 10.06.2019 and was accepted after revision 03.07.2019*

**Д.В. Стефанишин**

## **АНАЛІЗ ДОЦІЛЬНОСТІ БУДІВНИЦТВА НОВИХ ГЕС В УКРАЇНІ З УРАХУВАННЯМ РИЗИКУ НЕВИКОРИСТАНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ**

**Анотація.** У статті представлено результати аналізу доцільності будівництва нових гідроелектростанцій в Україні відповідно до Програми розвитку гідроенергетики України до 2026 року, затвердженої Урядом у 2016 році. Зокрема, аналізуються перспективні плани щодо розширення Каховської ГЕС з побудовою Каховської ГЕС-2, будівництва каскаду з шести нових гідроелектростанцій на річці Дністер та розвиток малої гідроенергетики в країні. Аналіз базується на попарному порівнянні альтернатив за критерієм мінімального сумарного ризику з урахуванням ризику невикористаних можливостей. Складові сумарних ризиків альтернатив оцінюються в безрозмірних одиницях, якими описуються водноенергетичні і експлуатаційні характеристики та затрати на введення нових гідроагрегатів.

**Ключові слова:** сукупний ризик; альтернатива; аналіз доцільності; прийняття рішень; гідроенергетика; гідроелектростанції; оптимізація; попарне порівняння; відновлювана енергетика; ризик невикористаних можливостей

**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>

УДК 049.3:574.4:581.526

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

**Oleksii S. Zadunaj**<sup>2</sup>, PhD (Engineering), Head of the center  
ORCID ID 0000-0001-8589-1604 *e-mail*: 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

## ASSESSMENT OF STABILITY OF ECOSYSTEMS

**Summary.** *The transformation of ecosystem behavior with the change of unstable equilibrium persistent imbalances in the light of nonlinear dynamics. The task of ensuring the sustainability of ecosystems inseparable from the search admissible class of perturbations that it can withstand and not lose with the stability of their condition or movement. Focusing the analysis on the nature of the perturbations corresponds to the classical theory approach, because the essence of the stability concept is in calculation of numerical values of the perturbations for the given deviation estimates rather than in nature of the change of the perturbed movement versus undisturbed.*

*The paper proposes expansion of methodological means of investigation and stability sustaining of the ecosystems through involvement of traditional system approaches. The analysis of ecosystem diversity, accompanied by justification of ordering options that allows us to formulate the principle of sufficiency in ecosystems, enter the parameters of heterogeneity and irregularity of states to classify these ecosystems.*

**Keywords:** *stability of ecosystems; ecosystem; equilibrium; external influences; ecological reserve; perturbation; trajectory*

**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

## АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ ЕКОСИСТЕМ

**Анотація.** *Трансформація поведінки екосистем зі зміною нестійкої рівноваги стійким дисбалансом розглядається під кутом зору нелінійної динаміки. Завдання забезпечення стійкості екосистем невід'ємне від пошуку класу допустимих збурень, які вона може витримати і не втратити при цьому стійкості свого стану або руху. Фокусування аналізу на характері збурень відповідає і духу класичного вчення, оскільки сутність поняття стійкості не стільки в характері зміни величин відхилень збуреного руху від незбуреного, а скільки в оцінках численних величин збурень при заданих оцінках цих відхилень. В статті обґрунтовується розширення методологічного апарату дослідження та підтримки стійкості екосистем, завдяки залученню традиційних системних підходів. Проводиться аналіз різноманітності станів екосистеми, який супроводжується обґрунтуванням параметрів їх*

*впорядкованості, що дозволяє сформулювати принцип достатності в екосистемах, ввести параметри неоднорідності і нерегулярності її станів для класифікації цих екосистем.*

**Ключові слова:** *стійкість екосистем; екосистема; стан рівноваги; зовнішні впливи; екологічний резерв; збурення; траєкторія*

## Вступ

В аспекті забезпечення переходу суспільства на засади сталого розвитку важливого значення набуває оцінка ризиків втрати, знищення екосистем, що тісно пов'язано з їхньою стійкістю. Стійкість екосистем розглядається як здатність зберігати свою структуру і характер функціонування в просторі та часі під впливом змін умов зовнішнього середовища [1].

Стійкість є фундаментальною властивістю природних екосистем. Стійкість екосистеми – один з найбільш значущих показників стану навколишнього середовища. Вона являє собою здатність екосистеми в цілому та її складових частин успішно протистояти негативним зовнішнім чинникам, зберігаючи при цьому не тільки свою структуру, але й свої функції [2]. Її можна розглядати як незмінність певного стану екосистеми, так і як здатність переходу до будь-яких інших станів у даний час (статична стійкість) і неперервність розвитку екосистеми (динамічна стійкість). Поняття стійкості тісно пов'язане із здатністю екосистеми повертатися в стан рівноваги після припинення зовнішніх впливів, які вивели її зі стану рівноваги, а також з поняттям стабільності.

Стійкість не завжди означає здатність підтримки екосистемою рівноважного стану, хоча спочатку явище стійкості трактували саме так. Загальновідомо [3], що для біологічних систем характерне явище гомеостазу і їхня стійкість полягає в підтримці певних параметрів стану в межах деякого постійного рівня. Принциповим у переході від розгляду технічної системи до розгляду екосистеми є те, що в останньої відхилення реальних траєкторій розвитку від траєкторії мети відбуваються випадково і отримати точну інформацію про ці відхилення неможливо. І якщо про стійкість технічної системи можна стверджувати однозначно, аналізуючи диференціальні рівняння, що характеризують поведінку системи, то скласти диференціальні рівняння функціонування екосистеми здебільшого неможливо. Тому висновки про стійкість або нестійкість екосистеми можна робити тільки з певною імовірністю. Найбільш стійкими є великі екосистеми, і найстабільніша з них – біосфера, а найбільш нестійкі – молоді екосистеми. Це пояснюється тим, що у великих екосистемах створюється саморегулюючий гомеостаз за рахунок взаємодії кругообігу речовин і потоків енергії. Природа наслідує принцип «змінюватись, щоб зберігатись», і в процесі еволюції матерії виникли різні механізми стійкості. Залежно від механізмів розвитку і типу втрати стійкості екосистеми можна виділити декілька типів криз [4]:

- a) критична ситуація;
- b) власна криза;
- c) катастрофа.

Перші характеризуються механізмами адаптивного розвитку екосистеми, другі – м'якою втратою стійкості екосистеми, треті – жорсткою втратою стійкості. Стійкість екосистеми до негативних зовнішніх чинників визначається її здатністю протистояти цьому впливу та зберігати нормальне функціонування

(здатність до відновлення після припинення негативного впливу та повернення зі зміненого стану до нормального режиму функціонування). Для оцінки стійкості екосистем щодо природних криз та антропогенних порушень доцільно застосувати поняття про екологічний резерв екосистеми. Екологічний резерв екосистеми – це різниця між гранично допустимим відхиленням та фактичним станом екосистеми. Вона вказує на розміри тієї буферної зони, в межах якої можливі зміни, що не руйнують екосистему. На жаль, методів оцінки екологічного резерву екосистем різного типу поки що немає. У багатьох випадках екологічний резерв екосистем оцінюється інтуїтивно, «на око». Тому наукові розробки в цьому напрямку є дуже актуальними.

### Зміст і корінні риси атрибута стійкості екосистем

Дослідження стійкості динамічних екосистем має багату історію, але до сих пір в цьому пізнавальному процесі не вирішені теоретико-методологічні та інструментальні проблеми, в подоланні яких беруть діяльну участь фізики, математики, кібернетики, біологи, екологи та їх колеги з інших галузей науки.

У природі ми зустрічаємо більше нелінійних процесів в будь-якій динамічній екосистемі, ніж лінійних в чистому вигляді.

Позначимо незбурений стан в екосистемах  $z(t)$ , а збурення –  $x(t)$ . Тоді незбурений стан  $z(t)$  будемо називати стійким, якщо для будь-якого  $\varepsilon > 0$  можна вказати [5]:

$$\delta(E, t_0) > 0 \tag{1}$$

таке, що з нерівності

$$|x(t_0) - z(t_0)| < \Delta(\varepsilon, t_0) \tag{2}$$

випливає нерівність

$$|x(t) - z(t)| < \varepsilon \tag{3}$$

при  $t \geq 0$ .

Для ілюстрації стійкого стану екосистеми на рис. 1 зображена трубка траєкторій в околиці незбуреного стану  $z(t)$ , а також область початкових умов з радіусом  $\delta$ .

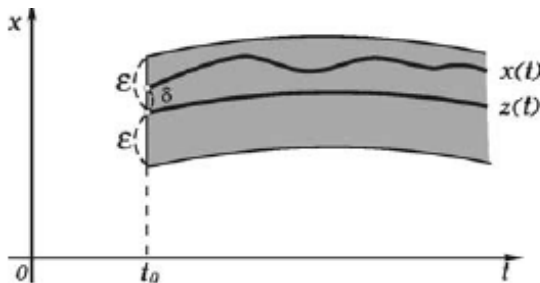


Рис. 1 – Стійкість екосистеми, яка змінюється в часі (величина  $z(t)$ )



Стійкість екосистеми означає, що якою би вузькою не була трубка уздовж траєкторії незбуреного стану екосистеми, збурення її стану, що почалося в  $\delta$ -околиці, яка дорівнює або менша  $\varepsilon$ -околиці заданої початкової точки, буде залишатися в зазначеній  $\varepsilon$ -трубці. Підкреслимо, що визначення стійкості екосистеми має на увазі виконання двох видів обмежень: з одного боку, обмежується сукупність початкових збурень, а з іншого боку, обмежується реакція на них – зміна стану в екосистемі. У всіх випадках, коли ці обмеження дотримуються, кажуть, що збурені стани екосистеми сходяться до незбурених.

Збурений стан екосистеми може сходитися до незбурених в звичайному сенсі з виконанням двох згаданих обмежень, а може протікати в «посиленому» режимі – асимптотично, коли збурений стан екосистеми не тільки обмежений областю допустимих відхилень, але різниця між збуреним і незбуреним її станом стає все менше і менше і на межі зменшується до нуля. У другому випадку має місце асимптотична стійкість незбуреного стану екосистеми. Інакше кажучи, екосистема, яка володіє властивістю асимптотичної стійкості, після дії збурень відновлює свій процес в тому вигляді, яким він був би за відсутності цих збурень. Наочними прикладами асимптотичної стійкості траєкторії, яка не тільки залишається в як завгодно малій трубці уздовж незбуреної траєкторії, але і прагне з плином часу до незбуреного стану, можуть служити ілюстрації на рис. 2 і 3.

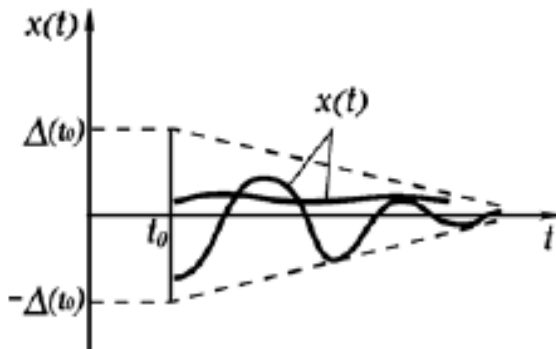


Рис. 2 – Асимптотична стійкість екосистеми для нульового рішення

На першому з них обмежена інтервалом  $\pm \Delta(t_0)$  хвилеподібна траєкторія випрямляється і врешті-решт зливається з незбуреним (нульовим) рішенням  $x(t)$  (рис. 2), а на другому траєкторія  $x(t)$  спрямована до початку координат і з кожним витком наближається до нього (рис. 3). Таким чином, порівнюючи стійкість і асимптотичну стійкість, правомірно зробити висновок, що забезпечення асимптотичної стійкості екосистеми є більш жорстким, оскільки додатково вводиться вимога повернення до незбуреного стану екосистеми.

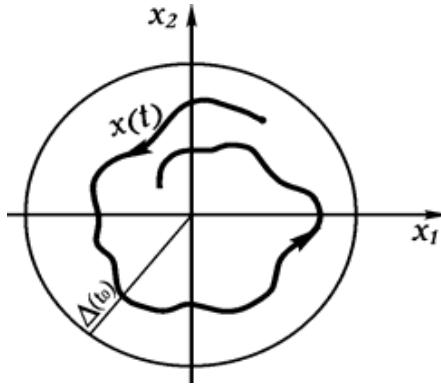


Рис. 3 – Фазовий портрет асимптотично стійкої траєкторії екосистеми

Для констатації нестійкості незбуреного стану екосистеми достатньо мати хоча б одну траєкторію, яка навіть при малих збуреннях виходить за межі області допустимих відхилень  $\epsilon$ -околиці (рис. 4).

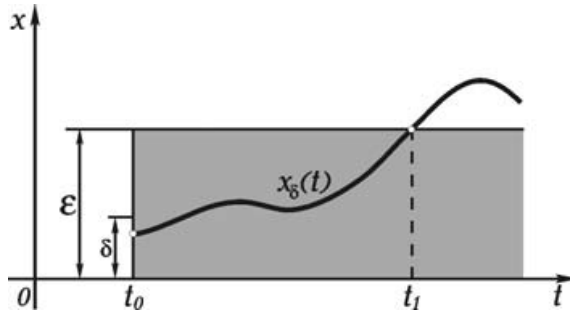


Рис. 4 – Нестійкість змінюється в часі (величини  $x_\delta(t)$ )

На рис. 4 видно, що в момент часу  $t_1$  траєкторія  $x_\delta(t)$  перетинає  $\epsilon$ -трубку і «вистрибує» з неї, що вказує на нестійкість незбуреного стану екосистеми. У цьому тлумаченні стійкого стану екосистеми важливо підкреслити залежність  $\delta$ -околиці від величини  $\epsilon$ -трубки: адже  $\delta$  вибирається, виходячи з наперед заданої області  $\epsilon$ -трубки, внаслідок чого для кожної  $\epsilon$ -трубки існує своя  $\delta$ -околиця. Але аж ніяк не для кожної величини  $\delta$  можна знайти таку  $\epsilon$ -околицю, яка обмежить траєкторію стану екосистеми з  $\delta$ -околиці.

Звернемо увагу і на ту обставину, що не всякий стан екосистеми може бути стійким. Відносно одних станів можна стверджувати про їх стійкість, тоді як відносно інших – ні. Тому слід спеціально обумовлювати, які траєкторії і змінні екосистеми аналізуються на стійкість. Доведено, що в однієї і тієї ж екосистеми одні стани можуть бути стійкими, а інші – нестійкими. І навіть один і той же стан екосистеми може бути стійким щодо однієї змінної і нестійким відносно іншої. Серед розділів загальної теорії управління самою розвиненою є теорія автоматичного управління, для якої вирішення питання про стійкість екосистеми є першим основним завданням. В зв'язку з цим видається обґрунтованим звернення до проблематики стійкості екосистеми з позицій методології та інструментарію цієї теорії. В її рамках вивчення стійкості передбачає оперування величиною похибки, в даному випадку –

розбіжності між незбуреним і збуреним станом екосистеми. При дослідженні її залежності від часу насамперед постає запитання про те, яка динамічна картина перехідного процесу, зокрема тривалість періоду переходу екосистеми в кінцевий стан після впливу збурень. Справа в тому, що через запізнювання і інерційність процесів, що протікають в екосистемах, вона реагує на дії не відразу, і тому подібний перехід відбувається не миттєво, а протягом деякого часу. Сутність стійкості змінюється в залежності від того, чи є досліджувана екосистема лінійною або нелінійною. Стійкість лінійної екосистеми має на увазі її повернення після дії зовнішніх збурень в початковий стан. У нелінійній екосистемі протікають більш складні процеси, і для її стійкості вважають за можливе, щоб траєкторія стану екосистеми з припиненням впливу зовнішніх збурень залишалася в заданій області. Тому коливальний рух в лінійній екосистемі є ознакою її нестійкості, тоді як в нелінійній екосистемі, навпаки, може бути цілком «правильним» і свідчити про її стійкість.

Відносно до коливального руху в лінійній екосистемі стійкість – це атрибут поведінки екосистеми на нескінченному проміжку часу, що виражає властивість даної екосистеми:

- несуттєво відхилитися від деякого руху при малих збуреннях початкового положення екосистеми, причому доля відхилення рівномірна;
- несуттєво відхилитися від деякого стійкого стану при малих збуреннях як початкового положення екосистеми, так і самого закону зміни (стійкість при постійно діючих збуреннях).

Іноді малі збурення початкового положення підкоряються деякій додатковій умові (умовна стійкість), або доля збурення і відхилення вимірюється лише за деякими параметром (стійкість за частиною змінних). Нижче наведений приклад витюватої траєкторії, стійкої лише за змінною  $x$ , яка обмежена допустимим інтервалом  $\pm \epsilon$  (рис. 5);

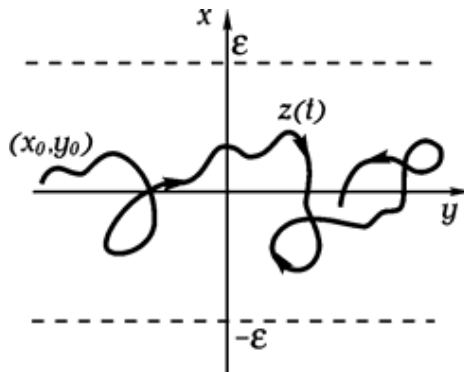


Рис. 5 – Траєкторія, яка стійка за змінною  $x$

- зберігати деякі властивості (мовою математики «риси фазового портрета») при малих збуреннях;
- залишатися в обмеженій області фазового простору, тобто в просторі значень змінних екосистеми;
- врешті-решт повертатися як завгодно близько до свого початкового стану.

Кожен з цих атрибутів відповідає конкретному типу досліджуваної екосистеми і характеру завдання, яке може бути поставлене в тій або іншій формі.

Крім станів абсолютної стійкості або нестійкості, можуть мати місце і стани умовної і відносної стійкості, при яких відновлення рівноваги залежить від початкового зсуву екосистеми. Тому не можна не враховувати і збурення, внаслідок дії яких екосистема відхиляється від початкового стану.

Але якщо не можуть бути допустимими будь-які збурення, а лише ті з них, які задовольняють запропонованим вимогам, то незбурений рух стійкий лише для збурень, підпорядкованих певним умовам. Щоб надати математичний сенс цьому висновку, будемо вважати, що збурений рух називається стійким по відношенню до величин  $y_k$ , якщо при будь-якому заданому позитивному числі  $\varepsilon$ , яким би малим воно не було, знайдеться інше позитивне число  $\eta(\varepsilon)$ , таке, що для всіх збурень  $y_{k0}$  задовольняє умовам:

$$|y_{k0}| \leq \eta(\varepsilon) \quad (k = 1, \dots, n), \quad (4)$$

збурений рух буде задовольняти нерівності:

$$|y_k(t)| < \varepsilon \quad (k = 1, \dots, n). \quad (5)$$

при будь-якому  $t > 0$ .

Зазначені умови набувають вирішального значення для теорії стійкості, і це зрозуміло. Адже при одних збуреннях стійкість руху системи може бути збережена, тоді як інші збурення можуть перевести екосистему в нестійкий стан. У підсумку можна констатувати, що завдання забезпечення стійкості екосистем невід'ємне від пошуку класу допустимих збурень, які вона може витримати і не втратити при цьому стійкості свого стану або руху. Фокусування аналізу на характері збурень відповідає і духу класичного вчення, оскільки сутність поняття стійкості не стільки в характері зміни величин відхилень збуреного руху від незбуреного, а скільки в оцінках численних величин збурень при заданих оцінках цих відхилень. Тим самим ми отримали розвиток уявлення про стійкість не тільки для малих збурень, а й для випадку, коли область збурень велика або навіть не обмежена. Уточнимо, що областю допустимих збурень даної області  $G$  називається така область  $E$ , для якої виконується властивість: всі траєкторії, що виходять з її точок, не виходять за межі області  $G$ . Слід, однак, мати на увазі: із завданням області початкових умов для стану рівноваги часто не потрібно, щоб екосистема, яка змінюється, з плином часу поверталася знову до свого попереднього стану («покинутої» точки рівноваги). Для стійкості досить лише того, щоб екосистема залишалася в області допустимих відхилень. Справа в тому, що в екосистемах діють регулярні і нерегулярні сили, які вторгаються в поведінку екосистеми поблизу стану рівноваги. Вплив регулярних сил проявляється в «тяжінні» екосистеми до рівноваги або віддаленні від неї. Але і з наближенням екосистеми до рівноважного стану воно не може бути досягнуто в точності через дії нерегулярних сил флуктуаційного характеру, що змушують екосистему здійснювати малі рухи поблизу стану рівноваги. У тому випадку, з визнанням важливості вирішення завдання про величину області початкових умов (відхилень), доречно торкнутися і питання про область допустимих

відхилень і пов'язаної з цим збіжності до незбуреного руху екосистеми. Адже якщо область початкових умов буде дуже малою, то система може залишатися в рамках заданої області допустимих відхилень. В іншому випадку, коли область початкових умов виходить за деякі межі, обмеженої області допустимих відхилень може і не бути. При цьому, якщо має місце збіжність до незбуреного руху, то вона може протікати асимптотично.

У тому випадку, якщо стійкість руху дотримується для досить малих початкових відхилень, кажуть про стійкість, локальну стійкість або стійкість «в малому». До речі, слід звернути увагу на те, що стійкість в малому зовсім не означає, що відхилення обов'язково повинні бути малими. В цьому випадку мають на увазі тільки те, що в околиці початку координат існує область тяжіння траєкторій в точці рівноваги, але ніяких вказівок на розміри цієї області немає, і тому стійкість екосистеми можна гарантувати лише в досить малій околиці початку координат. Слід зазначити, що властивість локальної стійкості екосистеми може ставитися і до траєкторій, якщо воно виконується тільки для тих з них, які проходять в достатній близькості від рівноважної траєкторії.

У розвиток концепції про стійкість «в малому» введемо поняття про стійкість «у великому». Воно містить в собі здатність підтримки стійкого руху і при порівняно великих початкових відхиленнях. Дослідження виявляють, що екосистема може бути стійкою «в малому», але нестійкою «у великому». Дійсно, при незначних відхиленнях від положення рівноваги вона може зберігати стійкість, наближаючись з плином часу до рівноважного стану, тоді як при великих відхиленнях від нього, навпаки, може віддалятися від стану рівноваги і втрачати стійкість. І якщо при яких завгодно збуреннях екосистема не демонструє стійкості руху, вона є «нестійкою в великому». Тим часом не можна виключати і того, що екосистема збереже стійкий рух при будь-яких початкових відхиленнях, тобто область її початкових умов не обмежена. Тоді є підстави вважати таку екосистему не тільки стійкою «у великому», а й стійкою «в цілому». Область тяжіння в цьому випадку збігається з простором всіх станів екосистеми. Асимптотична збіжність обуреного руху екосистеми також розглядається крізь призму стійкості в малому, великому і цілому.

Тому, як і раніше, вид асимптотичної стійкості руху екосистеми залежить від величини відхилення її початкових умов. Зауважимо, що своєрідність додатків теорії стійкості до дослідження поведінки екосистем полягає в тому, що воно проводиться переважно в аспекті асимптотичної стійкості, за якої траєкторія руху екосистеми не тільки обмежена допуском, але і спрямовується до незбуреної траєкторії. Поширюючи погляди про стійкість «в малому» на асимптотичну стійкість, правомірно визначити: якщо при досить малих відхиленнях початкових умов траєкторія досліджуваної екосистеми з часом зближується з незбуреною, то така траєкторія має властивість асимптотичної стійкості незбуреного руху або асимптотичної стійкості «в малому». Графічно така властивість руху екосистеми відображена на рис. 6.

На рис. 6 показано, що будь-яка траєкторія, яка в початковий момент часу мало відхиляється від незбуреної траєкторії  $x^0(t)$ , тобто знаходиться в її околиці  $\eta$ , в подальшому зливається з цією незбуреною траєкторією. Продовжуючи аналогію зі стійкістю «у великому» (асимптотична стійкість «у великому» має місце в тому випадку, коли область відхилень початкових умов досить велика і кінцева), маємо асимптотичну стійкість «в цілому», коли ця область не обмежена.

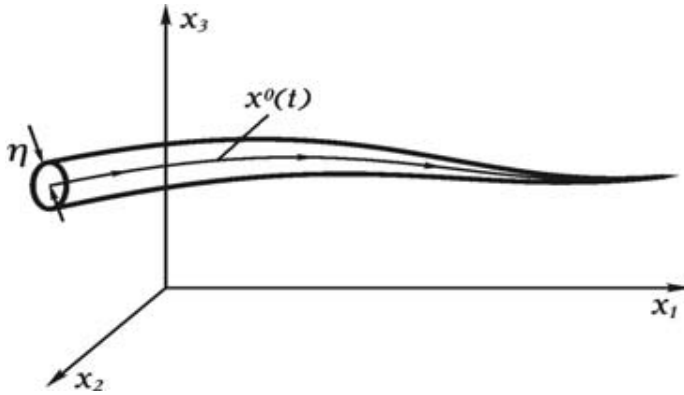


Рис. 6 – Ілюстрація асимптотичної стійкості незбуреного руху екосистеми

Точка рівноваги  $p$  називається локально стійкою, якщо для неї існує околиця, така, що для будь-якої її точки  $p_0$  кожне рішення рівняння  $\psi(t; p_0)$  сходиться до точки рівноваги  $p$ , тобто

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \psi(t; p_0) = p \quad (6)$$

при  $t \rightarrow \infty$ .

Якщо точка рівноваги  $p$  має властивість

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \psi(T; p_0) = p \quad (7)$$

при  $T \rightarrow \infty$  для всіх точок  $p_0$  околиці  $p$  (або для кожного рішення рівняння  $\psi(T; p_0)$ ), вона називається глобально стійкою.

Останню також визначають тією властивістю, що область тяжіння екосистеми збігається з усім простором її станів; або ця властивість виконується для будь-якої траєкторії екосистеми (з тих, що розглядаються) і тому іноді називається глобальною стійкістю. Глобальну стійкість можна трактувати і з точки зору збурень, що зазнає екосистема. Оскільки викликані ними відхилення в цьому випадку нічим не лімітуються, то і самі збурення допускаються довільними. Важливо лише, щоб функції екосистеми задовольняли заданому класу функцій. Така стійкість екосистеми має місце за необмежених збурень і будь-якій нелінійній характеристиці регулюючого органу, визначеній лише з точністю до приналежності до певного класу функцій.

Крім того, глобальну стійкість відносять до роду таких явищ, які незмінно ритмічно повторюються в природі, пов'язані з астрономічними закономірностями і тим самим дають привід для такого роду твердження.

Звернемо увагу на відносно стійкі явища, що існують лише в масштабі життя екосистеми. Тут відмітною ознакою абсолютної і відносної стійкості є тривалість оцінюваної серії подій, що розвиваються.

Проблема дослідження стійкості руху екосистеми ускладнюється тим, що стосовно рівноваги можливий будь-який випадок: екосистема може не мати жодного стану рівноваги, володіти лише одним рівноважним станом або безліччю їх. Більш ніж один стан рівноваги характерний для нелінійних екосистем, яким властива непроста поведінка. У теорії автоматичного

управління визнають, що в загальному випадку задача обчислення всіх рівноважних станів або перевірки існування хоча б одного такого нетривіальна і її рішення не має загальних конструктивних прийомів. Якщо рівноважні стани екосистеми існують, то чисельні методи дозволяють з високою точністю виявити один або декілька подібних станів. Для цілей нашого дослідження будемо виходити з тлумачення поняття стійкості руху, яке склалося в природничих науках. Воно розкривається наступним чином: якщо підпорядковані накладеним умовам (варіаціям) збурення не викликають з часом позамежних відхилень значень спостережуваної функції, рух, що визначається нею, визнається стійким. Оскільки про стійкість можна судити за характером траєкторії руху екосистеми, то за формою поняття стійкості виражає таку властивість, що допустимі зміщення початкового положення траєкторії в подальшому залишають її в заданих межах щодо незбуреного руху. Так, до категорії стійких (точніше, асимптотично стійких в цілому) будемо відносити зміну економічного показника, для якого доведено, що незалежно від його значення в початковий момент часу в будь-якому випадку воно асимптотично наближається до заданого значення показника.

Оскільки класичне визначення поняття стійкості інтерпретується по відношенню до рівноважного стану екосистеми та її дослідження має на увазі отримання однієї з двох відповідей (екосистема або стійка, або нестійка), обґрунтовуються поняття стійкості щодо поставленої мети і міра ступеня цієї стійкості. Завершуючи обговорення властивості стійкості екосистем, згадаємо і про те, що розробляється теорія збурень, яка займається методами наближеного рішення задач для «збурених» траєкторій, близьких до незбурених. Основний задум цієї теорії полягає в тому, що вибирається деяка ідеалізована екосистема, що має точний опис і містить один або кілька малих параметрів. При цьому з обнулінням таких параметрів одержувані рівняння дають можливість знайти точне рішення і дії аналітиків направляються на відшукування найкращого наближення до вирішення для збуреної траєкторії з тією або іншою точністю.

Ця обставина полегшує пошук рішення, але тільки на досить малих відрізках часу. Питання про те, якою мірою можна довіряти отриманим при цьому результатам на великі інтервали часу або нескінченність, поки ще вивчене недостатньо. Доведено і застосовуються на практиці критерії стійкості екосистем, які дозволяють визначити, чи зберігається властивість стійкості тих чи інших конкретних рішень або рухів екосистем. Зокрема, для лінійних стаціонарних екосистем з постійними коефіцієнтами необхідною і достатньою умовою асимптотичної стійкості, з математичної точки зору, є негативність всіх речових (дійсних) коренів характеристичного рівняння. При цьому асимптотична стійкість такого рішення означає його асимптотичну стійкість в цілому (глобальну стійкість).

## **Висновки**

З аналізу наведених у даній роботі міркувань щодо стійкості екосистем можна зробити висновки, головні з яких такі.

1. Фундаментальне поняття стійкості рівноваги і руху екосистем має багатий зміст, різноманіття смислових відтінків і підходів до тлумачення, що надає її дослідженню настільки ж «стійкий» інтерес і бажання знайти аналітичний інструмент для пізнання її властивостей.

2. У природничо-науковій інтерпретації стійкість екосистеми являє собою відносну інваріантність її спостережуваних властивостей при дії допустимих збурень: здатність траєкторії руху залишатися в певних межах, незважаючи на втручання передбачених завданням збурень. При цьому в залежності від області початкових відхилень траєкторії розрізняють стійкість «в малому», «у великому» і «в цілому», а від характеру збіжності збуреного руху до незбурених – звичайну і асимптотичну стійкість.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гродзинський М.Д. Стійкість геосистем до антропогенних навантажень / М.Д. Гродзинський. – К.: Лікей, 1995. 233 с.
2. Стійкість екосистем до радіаційних навантажень / І.В. Матвеева, С.І. Азаров, Ю.О. Кутлахмедов, О.В. Харламова. – К.: НАУ, 2016. 396 с.
3. Азаров С.І. Аналіз характеристик існуючих екосистем / Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Задунай О.С. // Науково-практичний журнал «Екологічні науки». – 2017. – Вип. 3/4 (18-19/2017). – С. 77–85.
4. Азаров С.І. Визначення надійності екосистем до чинника антропогенного тиску / Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Задунай О.С. // Збірник наукових праць «Екологічна безпека та природокористування». – 2017. – № 3–4 (24). – С. 50–57.
5. Азаров С.І. Моделювання стійкості екосистеми / Азаров С.І., Задунай О.С. // Науково-практичний журнал «Екологічні науки». – 2018. – №4 /2018 (23). – С. 5–9.

*Стаття надійшла до редакції 06.07.2019 і прийнята до друку після рецензування 30.07.2019*

## REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Hrodzyns'kyy, M. D. (1995). *Stykykist' heosystem do antropohennykh navantazhen'*. Kyiv: Likey. (in Ukrainian).
2. Matveyeva, I. V., Azarov, S. I., Kutlakhmedov, Y. O., & Kharlamova, O. V. (2016). *Stykykist' ekosystem do radiatsiynykh navantazhen'*. Kyiv: NAU. (in Ukrainian).
3. Azarov, S. I., Sydorenko, V. L., & Zadunay, O. S. (2017). Analiz kharakterystyk isnuuyuchykh ecosystem. *Naukovo-praktychnyy zhurnal «Ekolohichni nauky»*, (3-4), 77–85. (in Ukrainian).
4. Azarov, S., Sydorenko, V., & Zadunaj, O. (2017). Determination of the reliability of ecosystems to the factor of anthropogenic pressure. *Environmental Safety and Natural Resources*, 24(3–4), 50–57. (in Ukrainian).
5. Azarov, S., & Zadunaj, O. (2018). Modeling of ecosystem sustainability. *Ekolohichni nauky*, 23(4), 5–9. (in Ukrainian).

*The article was received 06.07.2019 and was accepted after revision 30.07.2019*

### **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

ORCID ID 0000-0002-9951-8867 **e-mail:** [azarov@kinr.kiev.ua](mailto:azarov@kinr.kiev.ua)

### **Задунай Олексій Сергійович**

кандидат технічних наук, начальник центру Державного науково-дослідного інституту спеціального зв'язку та захисту інформації

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

ORCID ID 0000-0001-8589-1604 **e-mail:** [a.zadunaj@gmail.com](mailto:a.zadunaj@gmail.com)



УДК 504.054.87.15.15:504.064:36

**Olena V. Barabash**, PhD (Biology), Associate Professor

*e-mail*: [el\\_barabash@ukr.net](mailto:el_barabash@ukr.net)

National Transport University, Kyiv, Ukraine

## ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL SAFETY LEVEL IN THE URBAN ECOSYSTEM BY THE ATMOSPHERIC AIR CONDITION

**Abstract.** *Green plantings, which are a part of the modern city, are an important element creating an environment providing favorable microclimatic and sanitary conditions for human living. Plants of the city streets, which tend to grow near the roadway, play an important role. According to the magnitude of the fluctuation asymmetry of the bilateral morphological features in plant organisms, the main environmental hazards resulting from the complex of emission, background-parametric and landscape-destructive effects associated with the formation of the urban landscape were investigated. It is proposed to determine the state of the urban ecosystem based on the of fluctuation asymmetry (FA) criteria – slight non-directional deviations between the sides of the organ, which are laid during ontogeny. The condition of the small-leaved linden (*Tilia cordata*) leaf plates was evaluated by the development stability, which characterizes the level of pollution in the urban ecosystem. The nature of industrial emissions into the air basin and water bodies was analyzed, as well as the level of the soil cover contamination due to the deposition of aerosol emissions in the administrative districts of Kyiv. A comprehensive approach was proposed to evaluate the status of urban ecosystems based on the combination of instrumental methods with bioindication research methods. Such a combination will make it possible to classify urban areas with the high probability, first, not by the degree of chemical pollution, but by the degree of anthropogenic changes in a whole set of environmental factors, which play a crucial role in the formation of specific properties of the urban ecosystem.*

**Keywords:** *fluctuation asymmetry; developmental stability; small-leaved linden (*Tilia cordata*); dendroindication, urban ecosystem*

**О.В. Барабаш**

Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

## ОЦІНКА РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ УРБООКОСИСТЕМ ЗА СТАНОМ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

**Анотація.** *За величиною флуктуаційної асиметрії білатеральних морфологічних ознак рослинних організмів проведено дослідження основних екологічних небезпек, що виникають в результаті комплексу емісійних, фоново-параметричних та ландшафтно-деструктивних впливів, пов'язаних із формуванням міського ландшафту. Запропоновано визначати ступінь збереження екологічних властивостей урбоєкосистеми на основі критеріїв флуктуаційної асиметрії (ФА) – незначних ненаправлених відхилень між сторонами органу, які закладаються під час онтогенезу. Проведено оцінку стану листкових пластинок липи серцелистої (*Tilia cordata*) за стабільністю розвитку, що характеризує рівень забруднення урбоєкосистеми. Проаналізовано характер промислових викидів в повітряний басейн та водні об'єкти, а також з'ясовано рівень забруднення ґрунтового покриву внаслідок*

*осадження аерозольних викидів на території адміністративних районів м. Києва. Запропоновано комплексний підхід для оцінки стану урбоєкосистем на основі поєднання інструментальних методів з методами біоіндикаційних досліджень. Таке поєднання дозволить із найбільшою долею вірогідності класифікувати міські території, в першу чергу, не за ступенем хімічного забруднення, а за ступенем антропогенних змін цілого комплексу екологічних факторів, які відіграють вирішальну роль у формуванні специфічних властивостей урбоєкосистеми.*

**Ключові слова:** *флуктуаційна асиметрія; стабільність розвитку; липа серцелиста (*Tilia cordata*); дендроіндикація; урбоєкосистема*

## Вступ

В умовах сьогодення досить актуальною виявляється комплексна оцінка рівня забруднення урбоєкосистеми, зокрема її компонентів. Оцінка рівня екологічної безпеки компонентів урбоєкосистем є необхідним інструментом для зменшення загроз здоров'ю населення міст в результаті емісії пилу в атмосферу та надходження забруднюючих речовин у ґрунти, водні об'єкти та їх ресурси. Комплексна оцінка екологічної безпеки урбоєкосистеми полягає у поєднанні методів біоіндикації із визначенням основних видів діяльності промислових підприємств та їх впливу на стан навколишнього природного середовища за допомогою інструментальних методів.

Основними джерелами забруднення в умовах міста як урбоєкосистеми є промислові підприємства й автомобільний транспорт, в результаті цього резистентність рослинних організмів до абіогенних стресорів істотно знижується, що призводить до анатомо-морфологічних флуктуацій їх вегетативних та генеративних органів. Для оцінки стабільності розвитку деревних рослинних насаджень застосовують критерії флуктуаційної асиметрії (ФА), які виявляють незначні відмінності між правою і лівою сторонами листкової пластинки, що закладаються під час онтогенезу. При задовільному стані навколишнього середовища їх рівень мінімальний, коли ж негативний вплив збільшується, проявляється асиметрія [1].

Рівень флуктуаційної асиметрії морфологічних структур може використовуватися як неспецифічний стрес-індикатор, що відображає деформацію взаємодій між організмом та навколишнім середовищем [2] і є коректним способом формалізації ступеня відхилення розвитку особини і навіть популяції від норми. Моніторинг таких проявів дестабілізації, які відбуваються під час онтогенезу рослинних організмів, може надати інформацію про негативні біотичні або абіотичні чинники, наявність антропогенного тиску [3]. Отримана інформація щодо стабільності розвитку деревних насаджень у поєднанні з результатами фіксованих вимірювань викидів забруднюючих речовин дозволить не лише визначити стан природних ресурсів, але й розробити стратегію збалансованого розвитку регіонів, вирішити питання щодо контролю діяльності стаціонарних джерел забруднення, провести оцінку результативності природоохоронних заходів з охорони атмосферного повітря тощо. Отже, застосування інструментальних методів із біоіндикаційними дослідженнями під час виявлення впливу виробничих потужностей підприємств на стан навколишнього природного середовища дозволить отримати об'єктивні результати і провести кількісну та якісну оцінку компонентів урбоєкосистеми для встановлення заходів щодо їх відновлення.

В роботах багатьох науковців досліджено та представлено вирішення питань щодо значення екологічного моніторингу для забезпечення екологічної безпеки, визначено сфери і напрямки моніторингу, розглянуто показники оцінки та методи і засоби його проведення [4, 5]. У наукових роботах Clarke G. [6], Franiel I. [7], Loehle C. [8], Sakai K., Shimamoto Y. [9] висвітлено підходи щодо застосування та ретельного вибору чутливих та інформаційних біоіндикаторів. Незважаючи на велику кількість робіт, які певним чином стосуються проблем застосування методів біоіндикації, питання комплексної оцінки рівня екологічної безпеки урбоекосистем вимагають спеціальної уваги та проведення додаткових досліджень.

**Метою роботи** є дослідження та оцінка якості урбоекосистеми за стабільністю розвитку деревних насаджень в умовах антропогенного тиску.

### **Матеріал і результати досліджень**

Збір матеріалу проводився відповідно до методики оцінки стану організмів за показниками порушення стабільності розвитку [10]. Матеріалом досліджень обрано листкові пластинки *T. cordata*, відібрані після зупинки росту листя (в кінці серпня 2019 р.). Кожна вибірка складалася зі 100 листкових пластинок (по 10 листків з одного дерева), які були взяті з нижньої частини крони дерева, на рівні піднятої руки, з максимальної кількості доступних гілок, рівномірно навколо дерева. При зборі листя враховували його розмір і функціональний стан.

Для оцінки величин ФА, згідно з існуючою методикою [10], досліджено 5 білатеральних ознак: 1 – ширина лівої і правої половинок листка; 2 – відстань від основи до кінця жилки другого порядку, другої від основи листка; 3 – відстань між основами першої і другої жилок другого порядку; 4 – відстань між кінцями першої і другої жилок другого порядку; 5 – кут між головною жилкою і другою від основи листка жилкою другого порядку.

Для замірів лівої і правої половинок листкової пластинки використовували циркуль-вимірювач, лінійку і транспортир. Інтегральний показник ФА розраховували таким чином: 1) для кожної листкової пластинки обчислювали відносні величини асиметрії для кожної ознаки (різницю між промірами зліва (L) і праворуч (R) ділили на суму цих замірів:  $(L-R)/(L+R)$ ); 2) обчислювали показник асиметрії для кожного листка (додавали значення відносних величин асиметрії за кожною ознакою і ділили на число ознак); 3) обчислювали інтегральний показник стабільності розвитку – величину середньої відносної відмінності між сторонами на ознаку (обчислювали середнє арифметичне всіх величин асиметрії (для кожного з десяти дерев). Статистичну обробку отриманого матеріалу проводили за допомогою стандартного пакету програми MS Excel.

Для оцінки ступеня виявлених відхилень від норми використовували бальну шкалу, що характеризує рівень забруднення території на основі показника ФА. Значення інтегрального показника асиметрії, які відповідають першому балу, зазвичай спостерігаються у вибірках рослин сприятливих умов зростання, наприклад в природних заповідниках. П'ятий бал – критичне значення (такі дані показника асиметрії спостерігаються у вкрай несприятливих умовах, коли рослина перебуває в сильно пригніченому стані).

Зростання населення і промислового виробництва у м. Києві зумовило інтенсивне індустріальне, житлово-комунальне та соціально-культурне будівництво, розширення транспортної та енергетичної мереж міста. Через нарощування промислово-енергетичного і транспортного потенціалів в Київському мегаполісі антропогенне навантаження на атмосферне повітря, ґрунтовий покрив, водні об'єкти та їх ресурси призвело до формування специфічної трансформованої урбоєкосистеми, де фізико-хімічні властивості та хімічний склад компонентів біосфери модифікуються й частково втрачають свої основні функції, такі як: забезпечення належного життєвого простору для ґрунтової біоти і рослинних організмів, формування захисного екрана для екосистеми, забезпечення груп біоти поживними речовинами і здатності до депонації та трансформації токсичних сполук у більш безпечні їх форми. Всі ці зміни у компонентах біосфери урбоєкосистеми пов'язані з діяльністю стаціонарних та пересувних джерел забруднення, які, впливаючи на міське середовище, змінюють його, надаючи нових характеристик.

Київ поділяється на десять адміністративних міських районів, утворених за радіальним принципом (Печерський, Шевченківський, Подільський, Солом'янський, Дніпровський, Деснянський, Оболонський, Голосіївський, Святошинський, Дарницький), у яких за даними фіксованих вимірювань спостерігається нерівномірність забруднення, а основними джерелами забруднення цих районів є підприємства енергетичного комплексу та хімічної промисловості (табл. 1).

Таблиця 1 – Вплив діяльності стаціонарних джерел забруднення на стан компонентів урбоєкосистеми

№	Район дослідження	Перевищення по основних забруднюючих речовинах (дані фіксованих вимірювань)		
		Атмосферне повітря	Водні об'єкти	Ґрунтовий покрив
1	Голосіївський	CH <sub>2</sub> O, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , ТЧ	Завислі речовини	Нафтопродукти
2	Оболонський	SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub>	Завислі речовини	Нафтопродукти
3	Шевченківський	CO, SO <sub>2</sub>	Завислі речовини	Нафтопродукти
4	Дарницький	SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , ТЧ, CO	Завислі речовини, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , Mn, Fe, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Hg, Pb, Zn, Cr, Ni, Cu, Ba, V, W, Mn, нафтопродукти
5	Дніпровський	CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , ТЧ	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> , завислі речовини, Cu, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Hg, Pb, Zn, Cr, Ni, Cu, Ba, V, W, Mn, нафтопродукти
6	Деснянський	SO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> , завислі речовини, Cu, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Нафтопродукти
7	Печерський	CO, SO <sub>2</sub>	Завислі речовини	Нафтопродукти
8	Святошинський	CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub>	Завислі речовини	Нафтопродукти
9	Подільський	SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub>	Завислі речовини	Нафтопродукти
10	Солом'янський	SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , ТЧ	Завислі речовини	Нафтопродукти

Гранично допустима концентрація шкідливих речовин на територіях районів м. Києва інколи перевищує 15 од. Такі ділянки зареєстровані в Дніпровському, Солом'янському, Дарницькому та Голосіївському районах міста, тобто там, де

розташовані досить потужні промислові підприємства. На всіх стаціонарних постах зазначених районів відзначається перевищення вмісту основних забруднюючих домішок – пилу, діоксиду сірки, оксиду вуглецю і діоксиду азоту.

Підвищення середньомісячного вмісту забруднюючих речовин у повітрі м. Києва спостерігається, як завжди, у теплий період року – з квітня по вересень. Найбільш суттєве зростання зафіксовано з червня по серпень, що пов'язано з підвищенням фотохімічних процесів в атмосфері при високій температурі повітря та інтенсивності сонячної радіації.

В ґрунтовому покриві районів м. Києва постійно фіксуються такі речовини, як ртуть, свинець, цинк, хром, нікель, мідь, барій, ванадій, вольфрам, марганець. Найбільше забруднення ґрунтів спостерігається в районі ТЕЦ-4, де вміст цинку перевищує фоновий рівень у 22 рази, АТ «Київгума» – відповідно у 8,5 рази, біля заводів Художнього скла та «Радар» (перевищення фонових значень вмісту свинцю в 3,5 рази, міді в 3-5 разів).

Антропогенне евтрофування та забруднення водних об'єктів та їх ресурсів в адміністративних районах м. Києва призводить до деградації великих та малих річок, водосховищ, озерних систем та до погіршення якості води, головною причиною чого є скиди, що надходять у водойми з водозбору в результаті безвідповідальної діяльності промислових та комунальних підприємств.

Зважаючи на те, що мутагенність виявляється при значно нижчих концентраціях, ніж токсичність, а популяційно-генетичні наслідки її дії є катастрофічними, виникає необхідність здійснення екологічного моніторингу із застосуванням рослинних організмів як ефективних індикаційних систем забруднення довкілля (табл. 2).

Таблиця 2 – Інтегральний показник флуктуаційної асиметрії у вибірці

Район дослідження	Величина у вибірці	Показник ФА	Характеристика
Голосіївський	0,051	IV	Дуже забруднені райони
Оболонський	0,043	II	Рослини відчують слабкий вплив несприятливих факторів
Шевченківський	0,049	III	Забруднені райони
Дарницький	0,057	V	Вкрай несприятливі умови, рослини знаходяться в дуже пригніченому стані
Дніпровський	0,057	V	Вкрай несприятливі умови, рослини знаходяться в дуже пригніченому стані
Деснянський	0,041	II	Рослини відчують слабкий вплив несприятливих факторів
Печерський	0,043	II	Рослини відчують слабкий вплив несприятливих факторів
Святошинський	0,043	II	Рослини відчують слабкий вплив несприятливих факторів
Подільський	0,042	II	Рослини відчують слабкий вплив несприятливих факторів
Солом'янський	0,055	V	Вкрай несприятливі умови, рослини знаходяться в дуже пригніченому стані

Встановлено, що показник ФА відображує деформацію взаємодії між рослинними організмами та навколишнім середовищем, а також виступає

показником рівня екологічної небезпеки і є найвищим у Дарницькому, Дніпровському та Солом'янському районах м. Києва, що підтверджують дані результатів фіксованих вимірювань. Рослинні насадження, що проростають у Подільському, Печерському, Деснянському та Оболонському районах, знаходяться в умовах слабкого антропогенного тиску, що в певній мірі позначається на всіх етапах їх онтогенезу. Було виявлено, що середній та високий рівень інтегрального показника порушення стабільності розвитку деревних насаджень спостерігаються в районах міста з підвищеною концентрацією оксидів азоту та вуглецю й діоксиду сірки, що дозволяє стверджувати про формування ділянок екологічного ризику, обумовлених забрудненням атмосфери.

## Висновки

Встановлено, що території адміністративних районів м. Києва характеризуються низьким ступенем збереження й відновлення екологічних властивостей атмосферного повітря. При поєднанні результатів експрес-оцінки за показником ФА з даними фіксованих вимірювань, можна класифікувати урбоєкосистеми за ступенем антропогенних змін цілого комплексу факторів, які є значущими під час формування специфічних властивостей міського середовища. Проведена біоіндикаційна оцінка дозволяє розробити ряд управлінських рішень і заходів для зменшення рівня екологічної небезпеки при збільшенні техногенного навантаження на урбоєкосистеми. Отже, представлені дані будуть слугувати базисом для розроблення та обґрунтування комплексного підходу для підвищення рівня екологічної безпеки територій.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Palmer A., Strobeck C. Fluctuating asymmetry as a measure of developmental stability: implications of non-normal distributions and power of statistical tests / *Acta Zool. Fenn.* 1992. V. 191. P. 57–72.
2. Velickovi M. Developmental stability in *Tilia cordata* leaves. *Period. Biol.* 2010. V. 112. № 3. P. 273–281
3. Shadrina E., Vol'pert Y. Evaluation of Environmental Conditions in Two Cities of East Siberia. Using Bio-indication Methods (Fluctuating Asymmetry Value and Mutagenic Activity of Soils). *International Journal of Biology.* 2015. V. 7. P. 20–32.
4. Broun L. *Eco-Economy*. New York: W. W. Norton & Company. 2002. 334 p.
5. Скакальський О. Екологічний моніторинг у системі природоохоронної діяльності регіональної влади. *Державне управління та місцеве самоврядування*. 2015. Вип. 4. С. 152–162.
6. Clarke G. Fluctuating asymmetry: a technique for measuring developmental stress of genetic and environment origin. *Acta Zool Fenn.* 1992. V. 191. P. 31–35.
7. Franiel I. Fluctuating asymmetry of *Betula pendula* Roth. leaves – an index of environment quality. *Biodiv. Res. Conserv.* 2008. V. 9-10. P. 7–10.
8. Loehle C. Challenges of ecological complexity. *Ecological complexity*. 2004. V. 1. P. 3–6.
9. Sakai K., Shimamoto Y. Developmental instability in leaves and flowers of *Nicotiana tabacum*. *Genetics*. 1965. V. 51. P. 801–813.
10. Захаров В. М. Асимметрия животных. М.: Наука, 1987. 215 с.

Стаття надійшла до редакції 06.09.2019 і прийнята до друку після рецензування 17.09.2019

## REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Palmer, A., & Strobeck, C. (1992). Fluctuating asymmetry as a measure of developmental stability: implications of non-normal distributions and power of statistical tests. *Acta Zool. Fenn.*, 191, 57–72.
2. Velickovi, M. (2010). Developmental stability in *Tilia cordata* leaves. *Period Biol.*, 112(3), 273–281.
3. Shadrina, E., & Vol'pert, Y. (2015). Evaluation of Environmental Conditions in Two Cities of East Siberia. Using Bio-indication Methods (Fluctuating Asymmetry Value and Mutagenic Activity of Soils). *International Journal of Biology*, 7, 20–32.
4. Broun, L. (2002). *Eco-Economy*. New York: W. W. Norton & Company.
5. Skakal's'kyy, O. (2015). Ekolohichnyy monitorynh u systemi pryrodokhoronnoyi diyal'nosti rehional'noyi vlady. *Derzhavne upravlinnya ta mistseve samovryaduvannya*, (4), 152–162. (in Ukrainian).
6. Clarke, G. (1992). Fluctuating asymmetry: a technique for measuring developmental stress of genetic and environment origin. *Acta Zool Fenn*, 191, 31–35.
7. Franiel, I. (2008). Fluctuating asymmetry of *Betula pendula* Roth. leaves – an index of environment quality. *Biodiv. Res. Conserv.*, 9-10, 7–10.
8. Loehle, C. (2004). Challenges of ecological complexity. *Ecological complexity*, 1, 3–6.
9. Sakai, K., & Shimamoto, Y. (1965). Developmental instability in leaves and flowers of *Nicotiana tabacum*. *Genetics*, 51, 801–813.
10. Zakharov, V. M. (1987). *Asimetriya zhyvotnykh*. M.: Nauka. (In Russian).

*The article was received 06.09.2019 and was accepted after revision 17.09.2019*

### **Барабаш Олена Василівна**

кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності  
Національного транспортного університету

Адреса робоча: 01010 Україна, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1

**e-mail:** [el\\_barabash@ukr.net](mailto:el_barabash@ukr.net)

# ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ INFORMATION RESOURCES AND SYSTEMS

UDC 621.391

**Borys V. Horlynskyi**<sup>1</sup>, Head of Office of Department  
ORCID ID 0000-0002-9993-2427 *e-mail*: vjzgoxf@gmail.com

**Sergei V. Zaitsev**<sup>2</sup>, Professor of the Department  
ORCID ID 0000-0001-6643-917X *e-mail*: serza1979@gmail.com

**Svitlana P. Kaznadiy**<sup>2</sup>, Senior Lecturer  
ORCID ID 0000-0001-8516-0801 *e-mail*: kaznadeysp@gmail.com

**Lilia I. Zaitseva**<sup>3</sup>, Technician  
ORCID ID 0000-0002-0668-711X *e-mail*: serza1979@gmail.com

<sup>1</sup>Administration of State Service of Special Communication and Information Protection of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

<sup>3</sup>State Service of Special Communication and Information Protection, Chernihiv, Ukraine

## FORMALIZATION OF THE MATHEMATICAL MODELING PROCESS OF ADAPTIVE CHANGE OF CODE STRUCTURE IN WIRELESS DATA TRANSMISSION

**Abstract.** *The formalization of the process of structural adaptation of turbo codes under the conditions of noise interference, which lead to uncertainty in the process of decoding of correction codes, is proposed. The essence of formalization lies in the adaptive choice of the structure of the correction code using the a priori and a posteriori information of the decoder at the expense of minimizing the average risk. The proposed results can be used to ensure the reliability of information transfer systems that operate in the face of powerful interference.*

**Keywords:** *correction codes; turbo codes; adaptation; decoding algorithms; interference*



Б.В. Горлинський<sup>1</sup>, С.В. Зайцев<sup>2</sup>, С.П. Казнадій<sup>2</sup>, Л.І. Зайцева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Адміністрація Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

<sup>3</sup>Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України, м. Чернігів, Україна

## ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ АДАПТИВНОЇ ЗМІНИ СТРУКТУРИ КОДІВ В БЕЗПРОВОДОВИХ ЗАСОБАХ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

*Анотація.* Запропонована формалізація процесу структурної адаптації турбо кодів за умов впливу завад, які призводять до виникнення невизначеності в процесі декодування корегувальних кодів. Сутність формалізації полягає у адаптивному виборі структури корегувального коду з використанням апріорної та апостеріорної інформації декодера за рахунок мінімізації середнього ризику. Запропоновані результати можна використати для забезпечення достовірності систем передачі інформації, які функціонують в умовах впливу потужних завад.

*Ключові слова:* коригувальні коди; турбо коди; адаптація; алгоритми декодування; завади

### Постановка проблеми

Основними видами завад є: шумова загороджувальна завада, шумова завада в частині смуги і завада у відповідь, моделі яких представляють обмежений по смузі частот адитивний білий гаусівський шум (АБГШ) [1]. В якості методів захисту від навмисних завад застосовують метод псевдовипадкової перебудови робочої частоти та корегувальні коди, такі як циклічні коди, коди БЧХ, Ріда-Соломона та інші.

Найбільш ефективними серед всього класу корегувальних кодів є турбо коди (ТК). За енергетичною ефективністю ТК поступаються теоретичному граничному значенню для швидкості кодування  $R = 1/3$  лише 0,5 дБ [2]. Турбо коди застосовуються в системах мобільного зв'язку третього покоління 3G (cdma2000, cdma2000 1xEV-DO, cdma2000 1xEV-DV, UMTS), четвертого покоління 4G (LTE), в системах зв'язку з далеким космосом CCSDS для передачі телеметричної інформації з космічних апаратів, в системах супутникового цифрового телебачення DVB-RCS [3-8].

Вимагає розгляду питання застосування адаптивних турбо кодів в умовах впливу завад, які б змінювали свої параметри в залежності від стану каналу для забезпечення заданих характеристик достовірності передачі інформації.

### Аналіз досліджень і публікацій

В роботах [9-10] досліджуються схеми адаптації сигнально-кодових конструкцій (зміна позиційності сигналу та швидкості кодування завадостійкого коду) систем WiMax та LTE за первинними параметрами в залежності від відношення сигнал-шум в каналі передачі. При цьому розглядаються канали з адитивним білим гаусівським шумом, Релеївськими завмираннями,

Райсовськими завмираннями та завмираннями Накагамі. В роботах інших авторів [11-14] адаптація відбувається теж за рахунок зміни позиційності сигналу та швидкості кодування, але вже за вторинними параметрами – в залежності від значень відношення сигнал-шум розраховуються значення ймовірності помилки для різних схем модуляцій сигналу та здійснюється порівняння цього значення із заданими, і в залежності від результатів порівняння здійснюється вибір необхідної сигнально-кової конструкції.

### **Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми**

Недоліком зазначених схем адаптації є те, що первинним параметром при адаптації є відношення сигнал-шум, а також те, що вони не враховують при адаптації результати декодування, що може призвести до неточності прийняття рішень, особливо за умов потужних завад.

### **Мета статті**

Метою статті є розробка процесу формалізації структурної адаптації корегувальних кодів за умов впливу завад за рахунок мінімізації середнього ризику з використанням апріорної та апостеріорної інформації декодера турбо коду.

### **Виклад основного матеріалу**

При знаходженні оптимальних (раціональних) динамічних систем, функціонуючих в умовах впливу випадкових завад, застосовують статистичні критерії якості, за допомогою яких оцінюють середні значення вихідних характеристик для великого числа реалізацій процесів на входах системи. Як приклади таких статистичних критеріїв якості можна навести наступні: відношення потужності сигналу до потужності шуму або енергії сигналу до спектральної щільності шуму на виході приймача; величина середнього квадрата помилки оцінки деякої фізичної величини; ймовірність помилок при перевірці всіляких гіпотез; середній час до ухвалення рішення із заданою ймовірністю помилок при нефіксованому часі спостереження випадкових вхідних величин.

Синтез оптимальних (раціональних) систем при випадкових вхідних діях зводиться до вибору параметрів або виду систем, що мінімізують або максимізували відповідні статистичні критерії якості [15].

Розглядаються схеми каскадного кодування кодів Ріда-Соломона, БЧХ-кодів в поєднанні з турбокодами.

Нехай послідовність на виході кодера ТК має вигляд:  $\bar{X} = (\bar{X}^c, \bar{X}^n)$ , де  $\bar{X}^c = \bar{U}$  – систематичний вихід кодера, а  $\bar{X}^n = (\bar{X}^{n1}, \bar{X}^{n2})$  – перевірочні виходи кодера ТК розмірності  $v$ , де  $v$  – загальна кількість перевірочних символів кожного рекурсивного систематичного згорткового коду. Передбачається, що канал зв'язку дискретно-неперервний і має ідеальну імпульсну характеристику  $h_c(t) = 1$ , внаслідок чого сигнал спотворюється тільки присутністю білого гаусівського шуму. З виходу каналу послідовність символів подається на

декодер ТК кожної ітерації декодування:  $\bar{Y}^{-1} = (L_c \bar{Y}^{c1}, L_c \bar{Y}^{m1})$  – для декодера 1, де  $\bar{Y}^{m1} = (\bar{Y}^{m11}, \dots, \bar{Y}^{m1v})$ , а  $\bar{Y}^{-2} = (L_c \bar{Y}^{c2}, L_c \bar{Y}^{m2})$  – для декодера 2, де  $\bar{Y}^{m2} = (\bar{Y}^{m21}, \dots, \bar{Y}^{m2v})$ . У цьому випадку  $\bar{Y}^{-c1} = \bar{Y}^{-c}, \bar{Y}^{-c2}$  – послідовності систематичних символів з урахуванням відповідної операції перемешення, а  $L_c$  – параметр «канальної надійності», що характеризує «зашумленість» каналу передачі інформації [16]. У наведеній схемі можуть бути використані перемешувачі різних видів, наприклад псевдовипадковий перемешувач/деперемешувач, S-випадковий, діагональний і т.д.

Розглянемо більш докладно роботу декодерів 1, 2 на  $j$ -й ітерації декодування по декодуванню  $t$ -го біта,  $j \in \overline{1, I}, t \in \overline{1, N}$ , де  $I$  – загальна кількість ітерацій декодування,  $N$  – загальна кількість бітів у переданому блоці даних. Структурна схема декодера турбо коду з модулями розрахунку критеріїв ризику  $R^{d,j}, R_\Sigma, R(\Phi_{N_0})$  і модулем управління (структурою коригувальних кодів), який формує множину рішень вибору параметрів  $U = (u_1, u_2, u_3, \dots, u_N)$ , що передаються до кодера й декодера ТК, а також до інших кодів, показана на рис. 1.

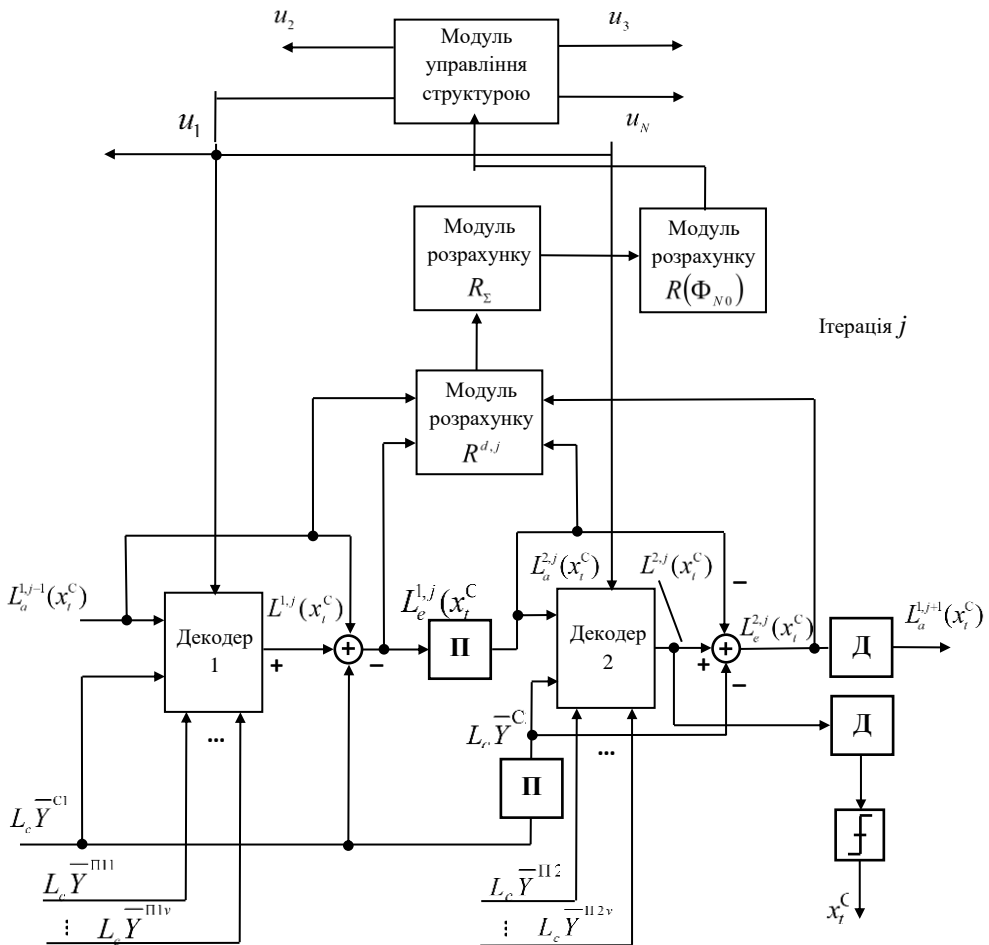


Рис. 1 – Структурна схема адаптивного декодера турбо коду

Як параметри ТК, які адаптуються до середовища передачі, розглядаються поліноми рекурсивних систематичних згорткових кодів ( $1, g_1 / g_0$ ), алгоритми перемеження (регулярні або псевдовипадкові), кількість бітів у блоці  $N$ , швидкість кодування турбо коду  $R$ , алгоритми декодування (Map, Max Log Map, Log Map), кількість ітерацій декодування  $I$ .

Нехай  $x_t$  – це переданий  $t$ -й біт, а  $y_t$  – прийнятий  $t$ -й біт, який спотворений впливом білого гаусівського шуму. Оскільки у каналах з підвищеним рівнем шуму на прийомній стороні приймаються рішення в умовах невизначеності, то «м'яке» рішення або логарифмічне відношення функцій правдоподібності (ЛВФП), що розраховується декодером 1 на  $j$ -й ітерації, визначається наступним виразом [16]:

$$L^{1,j}(x_t | y_t) = \ln \frac{P(y_t | x_t = +1)}{P(y_t | x_t = -1)} + \ln \frac{P(x_t = +1)}{P(x_t = -1)} = L_a^{1,j}(x_t) + L^{1,j}(y_t | x_t), \quad (1)$$

де  $L^{1,j}(y_t | x_t)$  – ЛВФП, що виходить шляхом виміру  $y_t$  на виході каналу при чергуванні умов, що може бути переданий  $x_t = +1$  або  $x_t = -1$ , а  $L_a^{1,j}(x_t)$  – апріорне ЛВФП біта даних  $x_t$ . Для спрощення рівняння (1) може бути переписане таким чином:

$$L^{1,j}(x_t) = L_c^{1,j}(y_t) + L_a^{1,j}(x_t) + L_e^{1,j}(x_t), \quad (2)$$

де  $L_c^{1,j}(y_t)$  – параметр «канальної надійності»,  $L_e^{1,j}(x_t)$  – апостеріорне ЛВФП біта даних  $x_t$ .

Далі розраховується апостеріорне ЛВФП біта даних  $x_t - L_e^{1,j}(x_t)$ :

$$L_e^{1,j}(x_t) = L^{1,j}(x_t) - L_c^{1,j}(y_t) - L_a^{1,j}(x_t). \quad (3)$$

Перемежувач перетворить апостеріорне ЛВФП  $L_e^{1,j}(x_t)$  в апріорне ЛВФП  $L_a^{2,j}(x_t)$ :  $L_a^{2,j}(x_t) = f_1(L_e^{1,j}(x_t))$ , що подається на декодер 2. Декодер 2 виконує наступні обчислення для одержання апостеріорного ЛВФП біта даних  $x_t - L_c^{2,j}(x_t)$ :

$$L_c^{2,j}(x_t) = L^{2,j}(x_t) - L_e^{2,j}(y_t) - L_a^{2,j}(x_t). \quad (4)$$

Після операції депереження  $L_a^{1,j+1}(x_t) = f_2(L_c^{2,j}(x_t))$  величина  $L_a^{1,j+1}(x_t)$  використовується в якості апріорної для декодера 1 ітерації  $j+1$ . Далі здійснюються обчислення аналогічні (3) і (4).

Після виконання необхідної кількості ітерацій, або у випадку примусової зупинки ітеративної процедури декодування, виносяться «тверді» рішення про декодовані символи:

$$x_t^c = \begin{cases} 1, & \text{если } L(x_t^c) \geq 0 \\ 0, & \text{если } L(x_t^c) < 0 \end{cases}$$

Результати імітаційного моделювання показали, що якщо в процесі декодування змін знака в значеннях  $L_a^{d,j}(x_t^c)$  й  $L_e^{d,j}(x_t^c)$ , де  $d$  – поточний декодер ТК,  $d \in \overline{1,2}$ , ітерації  $j$ , не відбувається, то після кожного наступного декодера значення ЛВФП про переданий біт будуть або зменшуватися (якщо був переданий біт «0»), або збільшуватися (якщо був переданий біт «1»). Після виконання заданої кількості ітерацій декодування вноситься «тверде» рішення про декодований біт. Може виникнути ситуація (внаслідок великого значення дисперсії шуму в каналі), що після виконання процедур ітеративного декодування всіма декодерами кількість змін знака значень апріорної  $L_a^{d,j}(x_t^c)$  й апостеріорної інформацій  $L_e^{d,j}(x_t^c)$  на останньому декодері останньої ітерації не дорівнює нулю. Подібні ситуації призводять до виникнення помилок декодування.

Розглянутий вище показник ризику (невизначеності)  $R$  будемо використовувати для оцінки якості процесу декодування в умовах впливу навмисних завад. При обчисленні значення показника ризику будемо враховувати зміни знака значень апріорної  $L_a^{2,j}(x_t^c)$  й апостеріорної інформацій  $L_e^{2,j}(x_t^c)$  декодера 2 ітерації  $j$ ,  $j \in \overline{1,I}$ , у процесі декодування всього блоку даних розміром  $N$ .

Насправді існують три події про прийняття рішень при декодуванні декодером  $d$ ,  $d \in \overline{1,2}$ , ітерації декодування  $j$ ,  $j \in \overline{1,I}$  біта інформації:

1) подія  $A_1$ . Змін знака в значеннях  $L_a^{d,j}(x_t^c)$  й  $L_e^{d,j}(x_t^c)$  ітерації  $j$  не відбувається ( $\text{sign}(L_a^{d,j}(x_t^c)) = \text{sign}(L_e^{d,j}(x_t^c))$ ),  $L(x_t^c) \geq 0$ . Прийняте «тверде» рішення, що був переданий біт  $x_t^c = 1$ .

2) подія  $A_2$ . Змін знака в значеннях  $L_a^{d,j}(x_t^c)$  й  $L_e^{d,j}(x_t^c)$  ітерації  $j$  не відбувається ( $\text{sign}(L_a^{d,j}(x_t^c)) = \text{sign}(L_e^{d,j}(x_t^c))$ ),  $L(x_t^c) < 0$ . Прийняте «тверде» рішення, що був переданий біт  $x_t^c = 0$ .

3) подія  $A_3$ . Знак значення апріорної  $L_a^{d,j}(x_t^c)$  й знак значення апостеріорної інформацій  $L_e^{d,j}(x_t^c)$  ітерації  $j$  не дорівнює нулю ( $\text{sign}(L_a^{d,j}(x_t^c)) \neq \text{sign}(L_e^{d,j}(x_t^c))$ ). Можуть виникнути помилки декодування.

Показник ризику для декодера  $d$ ,  $d \in \overline{1,2}$ , ітерації декодування  $j$ ,  $j \in \overline{1,I}$ , обчислюється за допомогою наступної процедури:

$$\sum_{d=1}^2 R^{d,j}(t+1) = R^{d,j}(t) + 1, \quad (5)$$

якщо  $\text{sign}(L_a^{d,j}(x_t^c)) \neq \text{sign}(L_e^{d,j}(x_t^c))$ ,  $t \in \overline{1,N}$ .

Чим частіше збільшуються значення показника ризику  $R$ , тим частіше з'являються невірно декодовані біти, що призводить до погіршення достовірності прийому інформації.

Сумарний показник ризику  $R_\Sigma$  визначається сумою показників ризику для всіх ітерацій декодування:

$$R_\Sigma = \sum_{j=1}^I R^{d,j}. \quad (6)$$

В основі формалізації та побудови математичної моделі лежить неформальний опис безпроводових засобів передачі даних (БЗПД).

*Неформальним описом* БЗПД називається вся наявна про них сукупність відомостей, достатня для встановлення передбачуваного або фактичного алгоритму їх роботи. Неформальний опис БЗПД повинен містити інформацію, достатню для побудови їх функціональних схем. Останні є основою для розробки формального опису, з якого далі можна одержати бажану математичну модель.

Опис БЗПД, складений по узагальненій функціональній схемі з використанням певного базису операторів, що дозволяють по вхідних впливах знайти реакцію БЗПД в загальному виді, назовемо *узагальненою математичною моделлю* або *формальним описом*.

Щоб скласти формальний опис, необхідно, використовуючи функціональну схему БЗПД, увести безліч її параметрів, що характеризують, і базис операторів, які встановлюють відношення між цими параметрами. Тому першим кроком при побудові формального опису БЗПД є визначення множини їх параметрів:

$$\mathbf{Q} = \{q_i\}, i = \overline{1, n} \quad (7)$$

і базису операторів:

$$\mathbf{A} = \{A_i\}, i = \overline{1, m}. \quad (8)$$

Під параметрами БЗПД далі розуміються постійні або змінні в часі величини, які характеризують стан БЗПД в даний момент часу, задають їх властивості й характеристики. При цьому структура БЗПД визначається функціональною схемою, елементи якої повинні бути описані відповідними операторами  $A$ , з множини  $\mathbf{A}$  (8).

Всі параметри (7) БЗПД можна розбити на чотири підмножини:

$$\mathbf{Q} = \{V, \alpha, \beta, \gamma\},$$

де  $V = \{v_i\}$  ( $i = \overline{1, k}$ ) – фазові змінні (координати) системи;  $\alpha = \{\alpha_i\}$  ( $i = \overline{1, l}$ ) – зовнішні параметри;  $\beta = \{\beta_i\}$  ( $i = \overline{1, m}$ ) – внутрішні параметри;  $\gamma = \{\gamma_i\}$  ( $i = \overline{1, n}$ ) – вихідні параметри.

*Фазовими змінними* БЗПД називаються функції часу  $v_i$ , які визначають стан БЗПД в будь-який заданий момент часу  $t$ . До складу множини фазових змінних  $V$  входять:

$\mathbf{X} = \{x_i\}$  ( $i = \overline{1, q}$ ) – зовнішні або вхідні фазові змінні, утворюючи вектор вхідних впливів;

$\mathbf{Y} = \{y_i\}$  ( $i = \overline{1, p}$ ) – вихідні фазові змінні, утворюючи вектор реакції БЗПД;

$\mathbf{Z} = \{z_i\}$  ( $i = \overline{1, f}$ ) – внутрішні фазові змінні.

*Оператор*  $A_i$  ( $i = \overline{1, m}$ ) являє собою правило, за яким кожному елементу  $x_i$  множини  $\mathbf{X}$  вхідних фазових змінних (випадкових або детермінованих)

ставиться в однозначну або взаємооднозначну відповідність елемент  $y_i$  множини  $\mathbf{Y}$  вихідних фазових змінних. При цьому має місце наступне операторне рівняння:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{A}\mathbf{X} . \tag{9}$$

Число різних функціональних ланок, з яких можна скласти функціональну схему БЗПД на будь-якому ієрархічному рівні, кінцеве. Тому для формального опису БЗПД на заданому ієрархічному рівні досить ввести кінцеву множину (алфавіт) операторів:

$$\mathbf{A} = \{A_i\}, i = \overline{1, M} . \tag{10}$$

Ця множина називається *базисом операторів*.

*Зовнішніми параметрами* БЗПД  $\alpha$  називають фізичні величини, чисельні значення яких визначають характеристики вхідних фазових змінних  $\mathbf{X}$ . Вектор вхідних дій, таким чином, можна описати наступним співвідношенням:

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}(\alpha, t) . \tag{11}$$

*Внутрішніми параметрами* БЗПД  $\beta$  називають фізичні величини, чисельні значення яких характеризують властивості функціональних ланок, що утворюють БЗПД й описуються операторами множини  $\mathbf{A}$ . При цьому оператори можна представити наступним співвідношенням:

$$\mathbf{A} = \mathbf{A}(\beta) . \tag{12}$$

Сформульовані визначення дозволяють ввести поняття формального опису БЗПД і відповідної математичної моделі. У загальному випадку формальний опис БЗПД визначається операторним рівнянням (9). Із врахуванням уведених зовнішніх (11) і внутрішніх (12) параметрів це рівняння приймає вигляд:

$$\mathbf{Y}(t) = \mathbf{A}(\beta)\mathbf{X}(\alpha, t) , \tag{13}$$

де  $\alpha$  й  $\beta$  у свою чергу можуть бути функціями часу  $t$ . Формальна схема БЗПД, що відображає цей опис, показана на рис. 2.

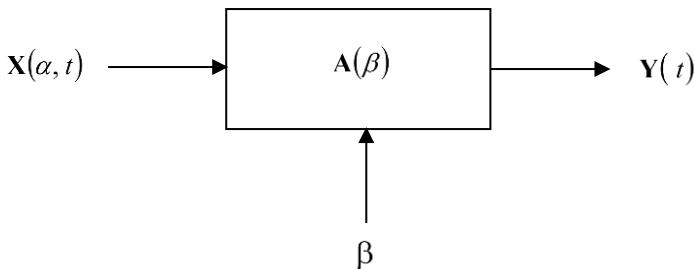


Рис. 2 – Формальна схема БЗПД

Рівняння (13) описує множину різних БЗПД. Щоб описати конкретний БЗПД, необхідно уточнити й деталізувати оператор  $\mathbf{A}(\beta)$ . Якщо далі ввести обмеження й допущення щодо функціонування, то з формального опису може бути отримана математична модель конкретного БЗПД. Залежно від характеру обмежень і допущень математичні моделі будуть різними. Таким чином, з формального опису (13) можна одержати множину моделей БЗПД.

Вхідним параметром БЗПД є фізична величина, чисельне значення якої характеризує якість роботи БЗПД. Множина вихідних параметрів БЗПД  $\gamma = \{\gamma_i\}$  ( $i = \overline{1, n}$ ) дозволяє кількісно оцінити правильність роботи і якість виконання поставленого завдання. Для оцінки множини вихідних параметрів  $\gamma$  формальний опис БЗПД в загальному виді можна представити співвідношенням:

$$\gamma = F_1(\mathbf{A}, \beta, \alpha), \tag{14}$$

де  $\mathbf{A}$  – оператор, що відображає структуру БЗПД. Такий опис у замкнутій формі можна одержати лише в результаті серйозного теоретичного аналізу, і то лише в найпростіших випадках.

При моделюванні адаптивної зміни параметрів БЗПД на ЕОМ застосовується наступний формальний опис вихідних параметрів:

$$\gamma = F_2[\mathbf{Y}(t)], \tag{15}$$

де  $\mathbf{Y}(t) = \{y_i(t)\}$  ( $i = \overline{1, p}; 0 \leq t \leq T_n$ ;  $T_n$  – час спостереження реалізації). Тут вихідний параметр отримується у результаті обробки вибірки обсягом  $p$  з ансамблю реалізацій вихідної фазової змінної  $\mathbf{Y}$ .

Формальна схема моделювання адаптивної зміни параметрів БЗПД на ЕОМ, у результаті якого можна одержати оцінку  $\hat{\gamma}$  вихідного параметра, показана на рис. 3.

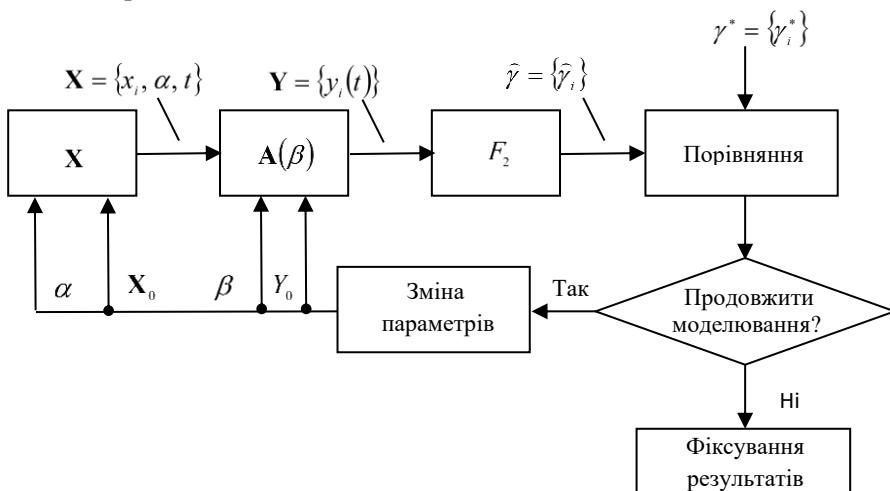


Рис. 3 – Формальна схема моделювання адаптивної зміни параметрів БЗПД на ЕОМ



Тут завдання вирішується методом статистичного моделювання, тобто шляхом багаторазових прогонів моделі при заданих початкових умовах  $\mathbf{Y}_0$  і  $\mathbf{X}_0$ , параметрах системи  $\alpha$  й  $\beta$ .

У блоці  $\mathbf{X}$  формується  $p$  незалежних реалізацій вхідних фазових змінних  $\mathbf{X} = \{x_i, \alpha, t\}$  ( $i = \overline{1, p}$ ). Ці реалізації надходять у блок  $\mathbf{A}$ , який є реалізованою на ЕОМ математичною моделлю системи забезпечення достовірності інформації в БЗПД на основі адаптації кодових конструкцій, яка відображає ті або інші її особливості. На виході блоку  $\mathbf{A}$  одержуємо  $p$  реалізацій вихідних фазових змінних  $\mathbf{Y}(t) = \{y_i(t)\}$  ( $i = \overline{1, p}; 0 \leq t \leq T_n$ ). Для стохастичних систем у загальному випадку  $\mathbf{Y}$  є нестационарним випадковим процесом з багатомірним розподілом. У блоці  $F_2$  здійснюється перетворення й статистична обробка вибірки  $\mathbf{Y}$ , у результаті якої одержуємо оцінку вихідного параметра  $\hat{\gamma}$ .

Далі отримані оцінки  $\hat{\gamma}$  порівнюються з необхідними значеннями  $\gamma^*$  вихідних параметрів, обумовленими технічним завданням на проектування БЗПД. На підставі порівняння виносяться рішення про подальшу процедуру моделювання. Якщо результат порівняння  $\hat{\gamma}$  й  $\gamma^*$  незадовільний, то приймається рішення про припинення досліджень і результати моделювання фіксуються у вигляді документа.

Таким чином, для моделювання БЗПД необхідно мати у своєму розпорядженні формальний опис щодо множини вихідних параметрів  $\gamma = \{\gamma_i\}$  ( $i = \overline{1, n}$ ). Вихідні параметри, які використовуються для оцінки якості функціонування системи, тісно пов'язані з конкретними завданнями, що підлягають рішенню методами моделювання на ЕОМ. Такими вихідними параметрами можуть бути техніко-економічна ефективність, технічна ефективність, показники якості.

У процесі дослідження БЗПД і пристроїв вирішується широке коло задач. Типовими задачами, які можуть вирішуватися методами математичного моделювання на ЕОМ, є:

- задачі дослідження операцій, у яких застосовуються різні БЗПД;
- дослідження й проектування БЗПД і комплексів;
- задачі оптимізації управління БЗПД, комплексами й технологічними процесами.

Постановку цих задач і можливі шляхи їхнього рішення можна сформулювати, якщо скористатися розглянутим вище формальним описом БЗПД.

Для рішення задач дослідження операцій широко використовують статистичні моделі, які відображають послідовність розвитку подій при функціонуванні системи. Статистичні моделі дослідження операцій – перший крок моделювання БЗПД при їх проектуванні. Формальним описом БЗПД в дослідженні операцій приймемо сукупність операторних рівнянь, які встановлюють залежність ефективності системи  $\mathcal{E}$  по заданому показнику від її основних параметрів:

$$\mathcal{E} = F_1(\mathbf{Q}), \quad \mathbf{Q} = \{V, \alpha, \beta, \gamma\}. \quad (16)$$

Таким чином, сутність статистичного моделювання при рішенні задач дослідження операцій зводиться до синтезу деякого моделюючого алгоритму, який імітує поведінку й взаємодію елементів БЗПД з врахуванням випадкових факторів, що дозволяє оцінювати ефективність БЗПД (16).

Формальним описом БЗПД при дослідженні є сукупність операторних рівнянь, яка встановлює залежність реакції системи  $\mathbf{Y}(t)$  або її вихідного параметра  $\gamma$  від основних внутрішніх і зовнішніх параметрів:

$$\mathbf{Y}(t) = \mathbf{A}(\beta)\mathbf{X}(\alpha, t), \quad 0 \leq t \leq T_n, \quad (17)$$

$$\gamma = F_1(\mathbf{A}, \alpha, \beta) \text{ або}$$

$$\gamma = F_2[\mathbf{Y}(t)], \quad \mathbf{Y}(t) = \mathbf{Y}[\beta, \mathbf{X}(\alpha, t), t], \quad 0 \leq t \leq T_n, \quad (18)$$

де  $t$  – незалежна змінна (час). Під вихідними параметрами  $\gamma$  в цьому випадку розуміють показники якості або технічну ефективність досліджуваного БЗПД.

Особливістю моделювання при рішенні цього роду задач є наявність вичерпної інформації про БЗПД для переходу від формального опису (17), (18) до математичних моделей.

Формальним описом БЗПД при проектуванні є сукупність операторних рівнянь, які встановлюють залежність ефективності БЗПД від структури, основних параметрів і зовнішніх впливів:

$$\mathcal{E} = F_1[\mathbf{A}(\beta), \mathbf{X}(\alpha, t)]. \quad (19)$$

У процесі проектування БЗПД задачу прагнуть вирішити щонайкраще, тобто забезпечити умову  $\mathcal{E} = \text{extr}$ .

Формальним описом БЗПД, що використовується при управлінні комплексом або процесом, є сукупність операторних рівнянь, що встановлюють залежність ефективності комплексу від основних параметрів і реакцій при заданих зовнішніх впливах:

$$\mathcal{E} = F(\mathbf{Q}, \mathbf{Y}) \text{ при } \mathbf{X} = \mathbf{X}(\alpha, t). \quad (20)$$

Використання таких математичних моделей у складі комплексу дозволяє оптимізувати якість управління в складних ситуаціях роботи.

У процесі дослідження й проектування БЗПД виникає необхідність у вирішенні наступних інженерних задач:

- аналіз характеристик фазових змінних  $\mathbf{X}$  і  $\mathbf{Y}$ ;
- аналіз характеристик БЗПД, які описуються операторами  $\mathbf{A}$ , або утворюючих їх функціональних ланок;
- оцінка показників якості  $\mathbf{K}$  БЗПД, які характеризують точність, завадостійкість, надійність і т.п.;
- оцінка ефективності БЗПД в цілому;
- оцінка критичних значень зовнішніх  $\alpha$  або внутрішніх  $\beta$  параметрів БЗПД;
- оптимізація параметрів  $\alpha$  і  $\beta$  за заданим критерієм;
- вибір найкращої структури БЗПД  $\mathbf{A}^*$  з множини  $\mathbf{A}$  можливих варіантів (функціональне проектування).

Багато завдань із зазначених можна вирішити, одержавши оцінку технічної ефективності досліджуваних або проєктованих БЗПД. Однак для цього необхідно мати у своєму розпорядженні відповідні критерії оцінки. Розглянемо можливі способи вибору критерію.

БЗПД відносяться до складних стохастичних систем, тому їх ефективність варто оцінювати ймовірнісними критеріями. Такими критеріями можуть бути:

– ймовірність настання події  $B$ , полягає в тому, що БЗПД виконає поставлену задачу повністю:

$$\mathcal{E}_1 = P(B), 0 \leq \mathcal{E}_1 \leq 1; \quad (21)$$

– математичне очікування деякої випадкової величини  $B$ :

$$\mathcal{E}_2 = M[B] = M[Y(t_1)], 0 \leq t_1 \leq T_n; \quad (22)$$

– дисперсія випадкової величини  $B$ :

$$\mathcal{E}_3 = D[B] = D[Y(t_1)], 0 \leq t_1 \leq T_n. \quad (23)$$

Розглянемо деякі особливості уведених критеріїв.

Критерій (21) визначає якість роботи БЗПД відповідно до принципу «все або нічого», «так чи ні», наприклад, передані або не передані повідомлення. У загальному випадку технічна ефективність БЗПД у вигляді (21) визначається наступним співвідношенням:

$$\mathcal{E}_1 = P(B) = \int_G W(q_1, q_2, \dots, q_n) dq_1 dq_2 \dots dq_n, q_i \in G,$$

де  $W(q_1, q_2, \dots, q_n)$  – багатомірна функція розподілу щільності ймовірності рішення БЗПД поставленої задачі;  $Q = \{q_i\} (i = \overline{1, n})$  – множина параметрів, які безпосередньо впливають на ймовірність виконання БЗПД поставленої задачі;  $G$  – область значень, які приймають параметри БЗПД в процесі їх функціонування.

Для оцінки технічної ефективності цим способом необхідно спочатку знайти багатомірний розподіл  $W(Q)$ . Методом моделювання на ЕОМ можна знайти лише гістограму розподілу, тобто оцінку  $\hat{W}(Q)$ , і за умови, що множина  $Q$  містить один-два параметри.

Другий спосіб визначення ефективності – безпосереднє використання статистичного моделювання БЗПД. При цьому ефективність можна оцінити як:

$$\mathcal{E}_1 = \hat{P}(B) = n_B / N, \quad (24)$$

де  $N$  – обсяг вибірки з ансамблю реалізацій (числа випробувань моделі БЗПД);  $n_B$  – число випробувань, які завершилися виконанням БЗПД поставленої задачі.

Ефективність повинна бути визначена з урахуванням множини показників якості  $\mathbf{K} = \{K_i\}$  ( $i = \overline{1, m}$ ). Як вже відзначалося, всі показники взаємозалежні й оцінка технічної ефективності повинна проводитися з урахуванням цих зв'язків. Для цього необхідно мати досить детальну й складну математичну модель БЗПД, що складно, особливо на початкових стадіях проектування. Тому на початкових стадіях проектування ефективність БЗПД оцінюють по якому-небудь одному (частіше головному) показнику якості, наприклад надійності, пропускну́й спроможності, завадостійкості:

$$\mathcal{E}_1 = P^n(B); \mathcal{E}_2 = P^m(B); \mathcal{E}_3 = P^{mv}(B). \quad (25)$$

Для рішення кожної задачі повинні бути побудовані окремо відповідні математичні моделі.

Отже, підготовча робота, яку необхідно виконати до початку дослідження БЗПД на ЕОМ, у кожному конкретному випадку включає:

- розробку алгоритмів формування реалізацій вектора вхідної фазової змінної  $\mathbf{X}$ ;
- формування й реалізацію на ЕОМ математичної моделі, що підлягає дослідженню БЗПД для одержання реалізацій вихідної фазової змінної  $\mathbf{Y}$ ;
- розробку програми для одержання чисельних значень вихідних параметрів БЗПД, які моделюються, що дозволяють оцінити якість їх функціонування.

Ця стаття містить неформальну частину, що вимагає для виконання високої кваліфікації, і формальну, котра в принципі може бути автоматизована. Автоматизація моделювання на своїй початковій стадії може полягати в тому, що формальна частина підготовчої роботи виконується заздалегідь і використовується далі дослідником по мірі необхідності.

## Висновки і пропозиції

Запропоновано формалізацію структурної адаптації корегувальних кодів за умов впливу завад, які призводять до виникнення невизначеності в процесі декодування.

Сутність формалізації полягає у адаптивному виборі структури кодів з використанням апріорної та апостеріорної інформації декодера за рахунок мінімізації середнього ризику.

Запропоновані результати можна використати для математичного моделювання системи забезпечення достовірності інформації в БЗПД на основі адаптації кодових конструкцій.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / [Борисов В. И., Зинчук В. М., Лимарев А. Е. и др.]. – М.: Радио и связь, 2000. – 384 с.
2. Berrou C. Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding: Turbo-Codes / C. Berrou, A. Glavieux, P. Thitimajshima // Proc. Int. Conf. On Commun., May 1993. – 1993. – P. 1064-1070.
3. Holma N. HSDPA/HSUPA for UMTS: High Speed Radio Access for Mobile Communications / N. Holma, A. Toskala. – John Wiley & Sons, 2006. – 268 p.

4. Valenti M. The UMTS turbo code and an efficient decoder implementation suitable for software-defined radios / M. Valenti, J. Sun // *Int. Journal of Wireless Inf. Networks.* – 2001. – Vol. 8, №4. – P. 203-215.
5. Consultative Committee for Space Data Systems “Recommendations for space data systems, telemetry channel coding” // *BLUE BOOK.* – 1998. – May.
6. 3GPP TS 25.212. Multiplexing and Channel Coding (FDD). 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network, March 2005.
7. Digital Video Broadcasting (DVB): Interaction channel for satellite distribution systems (DVB-RCS) // *ETSI EN 301 790 V1.2. 1 (2000-07).* – 2000. – February.
8. Ergen M. Mobile Broadband. Including WiMax and LTE / M. Ergen. – Springer, 2009. – 513 p.
9. Zhenhuan W. Layered Adaptive Modulation and Coding For 4G Wireless Networks / W. Zhenhuan // Thesis presented to the University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement for the degree of Master of Applied Science in Electrical and Computer Engineering. – Waterloo, Ontario, Canada, 2011. – 49 p.
10. Jihoon K. A Simple SNR Representation Method for AMC Schemes of MIMO Systems with ML Detector / K. Jihoon, L. Kyoung-Jae, S. Chang Kyung, L. Inkyu // *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 57, No. 10, October 2009. P. 2971-2976.
11. Liang Huang J. Adaptive MIMO Systems with Channel State Information at Transmitter / J. Liang Huang // PhD Thesis, KTH School of Information and Communication Technology, Stockholm, 2009. 79 p.
12. Goldsmith A. Variable-rate variable-power MQAM for fading channels / A. Goldsmith, S. Chua // *IEEE Transactions on Communications*, vol. 45, no.10, Oct. 1997. – P. 1218-1230.
13. Alouini S. Adaptive Modulation over Nakagami Fading Channels / S. Alouini, A. Goldsmith // *Wireless Communications*, vol. 13, no. 1-2, May 2000. – P. 119-143.
14. Maaref A. Rate-adaptive M-QAM in MIMO diversity systems using space-time block codes / A. Maaref, S. Aissa // in *Proc. IEEE PIMRC 2004*, vol. 4, Sep. 2004. – P. 2294-2298.
15. Репин В.Г. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем / В.Г. Репин, Г.П. Тартаковский. – М.: Советское радио, 1977. – 432 с.
16. Woodard J. Comparative Study of Turbo Decoding Techniques: An Overview / J. Woodard, L. Hanzo // *IEEE Transactions on Vehicular Technology.* – 2000. – Vol. 49, N 6. – P. 2208-2232.

Стаття надійшла до редакції 02.08.2019 і прийнята до друку після рецензування 29.08.2019

## REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Borisov, V. I., Zinchuk, V. M., Limarev, A. E., etc. (2000). *Interference protection of radiocommunication systems with the expansion of the spectrum of signals by the method of pseudorandom tuning of the operating frequency.* Moscow: Radio and communication. (in Russian).
2. Berrou, C., Glavieux, A., & Thitimajshima, P. (1993). Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding: Turbo-Codes. In *Proc. Int. Conf. On Commun., May 1993* (pp. 1064–1070).
3. Holma, H., & Toskala, A. (2006). *Hsdpa/Hsupa for UMTS: High Speed Radio Access for Mobile Communications.* John Wiley & Sons.
4. Valenti, M., & Sun, J. (2001). The UMTS turbo code and an efficient decoder implementation suitable for software-defined radios. *Int. Journal of Wireless Inf. Networks*, 8(4), 203–215.
5. Consultative Committee for Space Data Systems. (1998). “*Recommendations for space data systems, telemetry channel coding.*” *BLUE BOOK.*

6. 3GPP TS 25.212. Multiplexing and Channel Coding (FDD). (2005). 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network.
7. Digital Video Broadcasting (DVB): Interaction channel for satellite distribution systems (DVB-RCS). (2000). ETSI EN 301 790 V1.2. 1 (2000-07).
8. Ergen, M. (2009). *Mobile Broadband. Including WiMax and LTE*. Springer.
9. Zhenhuan, W. (2011). Layered Adaptive Modulation and Coding For 4G Wireless Networks. In *Thesis presented to the University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement for the degree of Master of Applied Science in Electrical and Computer Engineering* (49 p.). Ontario, Canada: University of Waterloo.
10. Jihoon, K., Kyoung-Jae, L., Chang Kyung, S., & Inkyu, L. (2009). A Simple SNR Representation Method for AMC Schemes of MIMO Systems with ML Detector. *IEEE Transactions on Communications*, 57(10), 2971–2976.
11. Liang Huang, J. (2009). *Adaptive MIMO Systems with Channel State Information at Transmitter (PhD Thesis)*. KTH School of Information and Communication Technology, Stockholm.
12. Goldsmith, A., & Chua, S. (1997). Variable-rate variable-power MQAM for fading channels. *IEEE Transactions on Communications*, 45(10), 1218–1230.
13. Alouini, S., & Goldsmith, A. (2000). Adaptive Modulation over Nakagami Fading Channels. *Wireless Communications*, 13(1-2), 119–143.
14. Maaref, A., & Aissa, S. (2004). Rate-adaptive M-QAM in MIMO diversity systems using space-time block codes. In *Proc. IEEE PIMRC 2004* (Vol. 4, pp. 2294–2298).
15. Repin, V. G., & Tartakovsky, G. P. (1977). *Statistical synthesis in a priori uncertainty and adaptation of information systems*. Moscow: Soviet Radio. (in Russian).
16. Woodard, J., & Hanzo, L. (2000). Comparative Study of Turbo Decoding Techniques: An Overview. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 49(6), 2208–2232.

*The article was received 02.08.2019 and was accepted after revision 29.08.2019*

#### **Горлинський Борис Вікторович**

начальник управління Департаменту захисту інформації Адміністрації Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України

**Адреса робоча:** 03110 Україна, м. Київ, вул. Солом'янська, 13

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

ORCID ID 0000-0002-9993-2427

#### **Зайцев Сергій Васильович**

професор кафедри інформаційних та комп'ютерних систем Чернігівського національного технологічного університету

**Адреса робоча:** 14000 Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95

**e-mail:** serza1979@gmail.com

ORCID ID 0000-0001-6643-917X

#### **Казнадій Світлана Петрівна**

старший викладач кафедри інформаційних та комп'ютерних систем Чернігівського національного технологічного університету

**Адреса робоча:** 14000 Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95

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

ORCID ID 0000-0001-8516-0801

#### **Зайцева Лілія Ігорівна**

технік Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України

**Адреса робоча:** 14000 Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 28

**e-mail:** serza1979@gmail.com

ORCID ID 0000-0002-0668-711X

UDC 504.05 ; 626/627

**Yurii S. Vlasiuk**<sup>1</sup>, Postgraduate student

ORCID ID: 0000-0002-6359-733X **e-mail:** y.s.vlasiuk@nuwm.edu.ua

**Dmytro V. Stefanyshyn**<sup>1,2</sup>, D. S. (Engineering), Professor of Department, Lead researcher

ORCID ID: 0000-0002-7620-1613 **e-mail:** d.v.stefanyshyn@nuwm.edu.ua

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

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

## ON SOME CHALLENGES OF ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF SMALL HYDROPOWER PLANTS IN UKRAINE

**Abstract.** *One of the pressing problems of today is the greening of nature management, which is recognized as one of the fundamental components of the newest concept of “sustainable” development. The Law of Ukraine “On Environmental Impact Assessment”, adopted in 2017, has opened up new opportunities for environmental review and regulation of potentially hazardous activities related to the use of natural resources, with involvement of the general public in decision-making processes.*

*According to this Law, hydropower plants on rivers, regardless of their capacity, are also included in the types of planned activities and objects that can have a significant environmental impact and are subject to environmental impact assessment. Thus, at the legislative level, it is recognized that so-called “small hydropower plants” are capable of adversely affecting the environment and should be considered environmentally and socially dangerous until the opposite is established by the results of the environmental expertise.*

*It is because of the small capacity of hydropower plants in numerous publications of various domestic authors that the idea that small hydropower plants can not adversely affect the environment and are environmentally safe has been formed and continues to be upheld. Due to this, small hydropower has received the status of “green” energy and state supporting in the form of various attenuations, in particular at the expense of “green” tariff. Our analysis of notifications of planned activities that are subject to the environmental impact assessment coming into the Unified Registry for Environmental Impact Assessment and of the environmental impact assessment reports materials shows that private investors are openly abusing these preferences. Notifications of planned activities, environmental impact assessment reports are prepared in a frankly poor and non-professional manner, mostly by persons who are little connected for research or have an opinion on the absolute environmental safety of small hydropower plants. As a result, information provided to the public often turns out to be incomplete, one-sided, distorted, and in some cases, untrue.*

*The article highlights the most pressing problems encountered during the practical implementation of the Law of Ukraine “On Environmental Impact Assessment” regarding the construction and operation of small hydropower plants, which could be in interest of scientific and engineering communities, officials and the public.*

**Keywords:** *greening of nature management; ecological safety; small hydropower; small hydropower plants; environmental impact assessment*

---

© Yu.S. Vlasiuk, D.V. Stefanyshyn, 2019

Ю.С. Власюк<sup>1</sup>, Д.В. Стефанишин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

<sup>2</sup>Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна

## ПРО ДЕЯКІ ПРОБЛЕМИ ОЦІНКИ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ МАЛИХ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В УКРАЇНІ

***Анотація.** Однією з нагальних проблем сьогодення є екологізація природокористування, яку визнано в якості однієї із засадничих складових новітньої концепції «стійкого» (або «сталого») розвитку. Прийнятий в 2017 р. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» відкрив нові можливості для проведення екологічної експертизи та регулювання потенційно небезпечної діяльності, пов'язаної з природокористуванням, із залученням в процеси прийняття рішень широкої громадськості.*

*Згідно з цим Законом до видів планованої діяльності та об'єктів, які можуть мати значний вплив на довкілля та підлягають оцінці впливу на довкілля, віднесено також гідроелектростанції на річках незалежно від їх потужності. Таким чином, на законодавчому рівні визнано, що і так звані «малі гідроелектростанції» здатні негативно впливати на довкілля і мають вважатися екологічно і соціально небезпечними, допоки протилежне не буде встановлено за результатами екологічної експертизи.*

*Саме через малу потужність гідроустановок в численних публікаціях різних вітчизняних авторів в свій час була сформована і продовжує відстоюватися думка, що малі гідроелектростанції не можуть негативно впливати на довкілля і є екологічно безпечними. Завдяки цьому мала гідроенергетика отримала статус «зеленої» енергетики і державну підтримку у вигляді всляких послаблень, зокрема і за рахунок «зеленого» тарифу. Аналіз повідомлень про плановану діяльність, яка підлягає оцінці впливу на довкілля, що надходять в Єдиний Реєстр із оцінки впливу на довкілля, та матеріалів звітів з оцінки впливу на довкілля показує, що приватні інвестори у своїх планах відверто зловживають наданими ним преференціями. Повідомлення про плановану діяльність, звіти з оцінки впливу на довкілля готуються відверто неякісно та непрофесійно, здебільшого особами, які або не мають жодного відношення до проблематики досліджень, або дотримуються думки про абсолютну екологічну безпеку об'єктів малої гідроенергетики. В результаті інформація, яка надається громадськості, часто виявляється неповною, односторонньою, перекрученою, а подекуди і такою, що жодним чином не відповідає дійсності.*

*В статті висвітлено найбільш гострі проблеми, що виникли по ходу практичної реалізації Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» щодо будівництва та експлуатації малих гідроелектростанцій, на які мають звернути увагу науковці та інженери, посадовці та громадськість.*

***Ключові слова:** екологізація природокористування; екологічна безпека; мала гідроенергетика; малі гідроелектростанції; оцінка впливу на довкілля*

### Вступні зауваження

Однією з ключових вимог сьогодення є екологізація («озеленення») природокористування. Згідно з А.Ф. Реймерсом [1], це означає ощадливу, раціональну експлуатацію природних ресурсів, забезпечення умов



ефективного їх відтворення, мінімізацію екологічних втрат при збереженні соціальної стабільності, життя й здоров'я людей.

Вимога екологізації природокористування в повній мірі знайшла своє відображення і в Конституції нашої держави [2]. Зокрема, згідно зі Статтею 16 Конституції України обов'язком держави є «Забезпечення екологічної безпеки і підтримання екологічної рівноваги на території України ...», згідно зі Статтею 50 «Кожен має право на безпечне для життя і здоров'я довкілля та на відшкодування завданої порушенням цього права шкоди», а відповідно до Статті 66 – «Кожен зобов'язаний не заподіювати шкоду природі, культурній спадщині, відшкодувати завдані ним збитки».

Екологізація природокористування є і засадничою складовою новітньої концепції «стійкого» (або «сталого») розвитку [3, 4]. Реалізація цієї концепції передбачає подальше зростання економіки при одночасному поліпшенні екологічної ситуації й вирішенні актуальних соціальних проблем. При цьому забезпечення високої якості довкілля, збереження та відтворення кількісних та якісних його показників, підтримання біорізноманіття, охорона унікальних природних комплексів, пам'яток історичної та культурної спадщини тощо при використанні природних ресурсів визнаються такими ж важливими, як і стимулювання економічного розвитку, досягнення високих стандартів ділової активності, соціально-економічного добробуту людей.

З прийняттям 23 травня 2017 р. Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» [5] (далі – Закон про ОВД, Закон), над імплементацією якого у вітчизняне законодавче поле протягом тривалого часу наполегливо працювали вітчизняна екологічна та юридична спільноти [6-9], з'явилася надія [10-14] на можливість поступового розв'язання гострих проблем забезпечення екологічної та соціальної безпеки природокористування в країні в контексті його екологізації на цивілізованому рівні: на основі забезпечення основних конституційних прав людини, за рахунок пошуку та досягнення розумних компромісів між економічним розвитком держави, свободою приватної економічної діяльності та збереженням цінних в екологічному та соціальному відношенні елементів довкілля, з убезпеченням навколишнього середовища від надмірного негативного впливу потенційно небезпечних державних і приватних проєктів.

До прийняття Закону про ОВД [5], оцінка впливу діяльності людини на довкілля (навколишнє середовище) в Україні регламентувалася різними правовими актами, постановами та нормативними документами, не тільки численними, але й багато в чому недосконалими і суперечливими. Серед них слід згадати: закони України «Про екологічну експертизу», «Про регулювання містобудівної діяльності», «Про охорону навколишнього природного середовища», постанову Кабінету Міністрів України від 28 серпня 2013 року №808 «Про затвердження переліку видів діяльності та об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку», «Порядок залучення громадськості до обговорення питань щодо прийняття рішень, які можуть впливати на стан довкілля», затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 29 червня 2011 року №771, Державні будівельні норми (ДБН) А.2.2-1-2003 «Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проєктуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд. Основні положення проєктування» та інші нормативно-правові акти [9]. Окрім явного законодавчого «перевантаження» вітчизняної процедури екологічної

експертизи різними нормативними актами, суттєвим її недоліком було й те, що вона не передбачала вільного доступу громадськості до екологічної інформації, участі громадськості в процесі прийняття рішень, що стосуються планованої діяльності, яка може загрожувати екологічній та соціальній безпеці, а також вільного доступу до правосуддя з питань, що стосуються довкілля. Тому, після підписання Україною 25 червня 1998 р. Орхуської конвенції («Конвенція про доступ до інформації, участь громадськості в процесі прийняття рішень та доступ до правосуддя з питань, що стосуються довкілля» [15]), яка займає особливо значиме місце серед міжнародних природоохоронних конвенцій, та її ратифікації Верховною Радою 6 липня 1999 р. (Закон України від 06.07.1999 р., №832), Україна набула сумну славу держави, законодавство якої не відповідає міжнародним зобов'язанням, що стосуються доступу до інформації, участі громадськості в процесі прийняття рішень та доступу до правосуддя з питань, що стосуються довкілля (див. також пункт 6 (а) Рішення II/5b Наради Сторін Орхуської Конвенції) [12]. Власне прийняття в 2017 р. Закону про ОВД [5] і мало за мету виправлення цієї ситуації шляхом законодавчого забезпечення в країні максимальної прозорості в усіх питаннях, що стосуються екологічної експертизи діяльності, яка може завдати шкоди довкіллю.

### **Актуальність проблеми та мета досліджень**

Згідно з Законом [5] оцінку впливу на довкілля (ОВД), за результатами якої приймається рішення про провадження планованої діяльності і надається на це дозвіл (частина 4 статті 3 Закону), проходять не усі проекти, а лише ті, які можуть мати значний вплив на довкілля [14]. Закон про ОВД містить вичерпний перелік видів планованої діяльності та об'єктів, які підлягають ОВД (частини 2 і 3 статті 3 Закону, де в статті 3, частині 3 «Друга категорія видів планованої діяльності та об'єктів, які можуть мати значний вплив на довкілля та підлягають оцінці впливу на довкілля» виділено і «гідроелектростанції на річках незалежно від потужності»).

Таким чином, згідно з прийнятим Законом про ОВД [5], визнано, що і так звані «малі гідроелектростанції» (МГЕС) (в Україні до МГЕС відносять гідроелектростанції потужністю до 10 МВт включно) «можуть мати значний вплив на довкілля» і, відповідно, мають вважатися екологічно і соціально небезпечними, допоки протилежне не буде встановлено за результатами ОВД. Тобто, іншими словами, Законом [5] формально знято будь-які дискусії щодо «абсолютної» безпечності для довкілля та місцевого населення об'єктів малої гідроенергетики, незважаючи на малу потужність гідроустановок.

Проблема в тім, що в численних публікаціях, в тому числі і наукових (див., наприклад, [16-21]), серед авторів яких є як професійні енергетики та гідроенергетики, екологи і гідробіологи, так і різного роду перекваліфіковані з інших областей знань «аналітики» та «екологи» подібні до проф. С.С. Попа [19], саме через малу потужність гідроустановок тривалий час в країні формувалася і продовжує відстоюватися думка, що об'єкти малої гідроенергетики в принципі не можуть негативно впливати на довкілля і апіорі мають розглядатися екологічно і соціально безпечними.

При цьому твердження про «екологічність», «нешкідливість» МГЕС формулювалися і продовжують формулюватися на основі формального

порівняння МГЕС з великими гідроелектростанціями (ГЕС), потужність яких складає більше 10 МВт. При цьому до уваги не беруться річки, на яких ці об'єкти розташовуються. Вважається, що якщо потужність ГЕС не більше 10 МВт, то вона, на думку цих експертів, має бути екологічно безпечною і шкоди довкіллю не завдаватиме, де б її не будували, бо вона мала, а якщо, наприклад, її потужність складатиме 10,1 МВт – то тоді вже стає потенційно небезпечною і шкоду довкіллю може завдавати, бо вже велика.

Можливо, саме завдяки таким науковим публікаціям [16-21] та іншим подібним аналітичним «дослідженням», практично всі (винятки нам поки що невідомі) фізичні та юридичні особи, які зацікавлені в будівництві об'єктів малої гідроенергетики, в своїх «Повідомленнях про плановану діяльність, яка підлягає оцінці впливу на довкілля» (далі, «Повідомлення») особливо не переймаються обґрунтуванням доцільності планованої діяльності. Більш того, ще до проведення формальної процедури оцінки впливу потенційно небезпечних, згідно з Законом [5], об'єктів, до яких відносяться об'єкти малої гідроенергетики, стверджують про «мінімальність», «незначність» або «повну відсутність» негативного впливу будівництва і експлуатації МГЕС на довкілля (річкову мережу, природні екосистеми, життєдіяльність місцевого населення тощо). В цьому можна пересвідчитися, проаналізувавши численні «Повідомлення про плановану діяльність», пов'язану з проектуванням та будівництвом МГЕС. Ці «Повідомлення» в обов'язковому порядку подаються в Єдиний реєстр із оцінки впливу на довкілля, далі – Реєстр [22], який веде Міністерство екології та природних ресурсів України, і з якими при бажанні легко можна ознайомитись.

На нашу думку, сам факт появи таких тверджень в офіційних документах, які регламентуються Законом [5] і якими є «Повідомлення про плановану діяльність», ще до оцінки впливу на довкілля, може розглядатися не інакше як свідоме введення громадськості в оману. В результаті, при подальшому обговоренні планованої діяльності, громадськість, екологічні активісти тощо втрачають ініціативу, вже самі змушені захищатися від недобросовісних природокористувачів, а не навпаки. Інвестор хоче громаду ошчасливити заявленими покращеннями, а якісь екологи підбурюють її протестувати і видумують різні перепони. Далі, якщо в «Повідомленні» планована діяльність вже оцінена позитивно з точки зору впливу на довкілля, то важко чекати іншої оцінки в звіті з ОВД. Розробником ОВД, в принципі, може бути будь-хто, зокрема сам інвестор або особа чи організація, які працюють на нього на договірній основі. Тому в звітах з ОВД, з якими теж без проблем можна ознайомитися в Реєстрі [22], скоріше мова йде про оцінку впливу довкілля на об'єкти малої гідроенергетики, а не про оцінку впливу на довкілля. В звітах здебільшого присутня інформація про те, що може зашкодити планованій діяльності, а не про те, яку шкоду вона завдасть.

Серйозним недоліком нового Закону про ОВД [5], на нашу думку, є й те, що він не поширюється на побудовані до його прийняття об'єкти. Слід зазначити, що негативні впливи МГЕС на річки і довкілля можуть проявлятися не лише при їх будівництві чи в перші роки експлуатації.

Мета наших досліджень полягала в аналізі цих та інших, найбільш гострих, на нашу думку, проблем, пов'язаних з оцінкою впливу об'єктів малої гідроенергетики в Україні в зв'язку з прийняттям закону про ОВД.

## Викладення основних положень статті

Перше, що насторожує в «Повідомленнях», що подаються в Реєстр про плани побудови нових МГЕС, це те, що численні приватні структури, задіяні в малій гідроенергетиці в країні, мету здійснення своєї діяльності пов'язують з «Національним планом дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 р.», затвердженим розпорядженням Кабінету Міністрів України від 01.10.2014 р. №902-р [23], та «Програмою розвитку гідроенергетики на період до 2026 року», схваленою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 13.07.2016 р. №552-р. [24]. При цьому, насправді, ця діяльність жодним чином не узгоджується з цими планами та програмами, як і з будь-якими іншими державними планами та програмами, зокрема, щодо розвитку водного господарства, охорони і збереження довкілля тощо.

Слід зазначити, що практично всі МГЕС в Україні, а ті, що плануються до будівництва – всі, на відміну від об'єктів великої гідроенергетики, належать приватному бізнесу. Наскільки узгоджуються при цьому суспільні і приватні інтереси – невідомо, адже у державних планах і програмах немає жодної згадки про можливість та доцільність побудови саме цих, цілком конкретних об'єктів малої гідроенергетики, наприклад, в контексті вирішення цілком конкретних соціально-економічних завдань – чи то на державному, чи на місцевому рівнях, з відповідним соціально-економічним обґрунтуванням. Тому повноцінно проаналізувати доцільність будівництва кожної заявленої МГЕС в контексті соціально-економічного розвитку місцевої громади, району, області тощо надзвичайно складно.

Дивно, що приватні інвестори в малу гідроенергетику взагалі пов'язують мету приватної планованої діяльності зі «сприянням збільшенню частки виробленої електроенергії із відновлювальних джерел енергії у загальному енергетичному балансі України», а не з отриманням прибутку. В принципі, отримання прибутку від природокористування має бути єдино розумною і можливою в цьому випадку метою приватного інвестора. Тим більше, що в «Повідомленнях про плановану діяльність» та в звітах з ОВД не аналізується загальний стан малої гідроенергетики в країні, не вказується, які завдання вона здатна вирішувати (окрім, звичайно, прибутків для інвестора) і, в першу чергу, – чи вирішує вона їх на місцевому рівні, адже саме про це опосередковано згадується в Програмі [24]; не вказується, які в неї можуть бути перспективи з огляду на загальний стан гідроенергетики в країні [25-34].

Насамперед приватним інвесторам слід зважати на те, що доля малої гідроенергетики в загальному енергобалансі країни не лише є надзвичайно малою, а й такою залишиться, навіть якщо малими гідроелектростанціями будуть забудовані всі вітчизняні річки без винятку. Вже це ставить під сумнів доцільність розвитку малої гідроенергетики в країні. Крім того, приватний бізнес має бути чесним перед суспільством: жодна з побудованих чи планованих МГЕС не передбачає вирішення місцевих проблем з електропостачанням. Всі МГЕС приєднуються до об'єднаної енергосистеми з метою продажі державі виробленої на них електроенергії за «зеленим» тарифом – в кілька разів вищим, ніж середньозважений тариф в електроенергетиці, і за умов, коли це вигідно власнику, а не суспільству.

Потенційні забудовники малих річок, зокрема і тих річок, що ще збереглися в стані, близькому до природного, і ще не можуть розглядатися як

антропогенно перетворені чи істотно змінені водні об'єкти [35], обіцяють «покращення», навіть «значне», екологічної ситуації на цих річках завдяки будівництву та експлуатації МГЕС. Це повністю суперечить міжнародній практиці, згідно з якою, на таких річках, для їх збереження, будь-яке будівництво не рекомендується або забороняється [35-37]. В результаті простий обиватель підводиться до думки, що якщо екологічна ситуація на річках, де вони планують побудувати і експлуатувати МГЕС, наразі і складається не зовсім добре, то це лише тому, що МГЕС на них ще не побудовано. Має місце свідоме перекручування реальних фактів.

Щоб переконати громадськість, серед соціально-економічних перспектив будівництва МГЕС в «Повідомленнях» та звітах з ОВД відзначають і «безперервне забезпечення населення екологічно чистою електроенергією», і «вагомий внесок у розвиток як регіональної економіки, так і економіки України в цілому», «залучення значних інвестицій» в місцеву економіку та інші соціально-економічні «покращення». Обіцяють все, що приходить на думку. Наприклад, потенційний забудовник двох МГЕС на р. Латориця (ТОВ «Гідроресурс-Латориця») в «Повідомленнях про плановану діяльність» пообіцяв жителям в м. Мукачеве ще й таке: «ні на одному з етапів» проекту не використовувати «дитячої чи примусової праці».

Місцевим громадам, відкрито чи завуальовано, пропонується безальтернативність планованій діяльності, пов'язаній з будівництвом МГЕС. Так, навіть в якості технічних альтернатив в багатьох «Повідомленнях» та звітах з ОВД замість МГЕС місцеві жителі мають розглядати «будівництво та експлуатацію ТЕС» або «нових атомних енергоблоків» (як, наприклад, для Коростишівської МГЕС, потужністю до 199 кВт, на р. Тетерів, пропонувало ТОВ «Свободна енергія»). І це не поодинокі випадки (див. Реєстр [22]). Місцевий житель, ознайомившись з подібним «Повідомленням про плановану діяльність» чи зі звітом з ОВД, в Реєстрі, який веде державна структура, яка нібито ж відповідає за екологічну безпеку, охорону довкілля, в кращому випадку почуватиметься розгубленим. А раптом ці інвестори справді не проти в його селі, селищі чи в місті побудувати теплову чи атомну електростанцію? Нехай тоді вже буде МГЕС.

Про те, що об'єкти малої гідроенергетики здатні негативно впливати на довкілля, причому як кожен індивідуальний об'єкт окремо, так і в сукупності, і цей вплив може бути значним, в тому числі і в порівнянні з об'єктами великої гідроенергетики, висвітлено в наших попередніх роботах [25-34].

Якщо ж зважати на вагу негативних екологічних та соціальних наслідків в порівнянні зі встановленою потужністю гідроустановок та виробленою електроенергією, питомий негативний вплив на довкілля МГЕС може бути не меншим, а можливо навіть і більшим, ніж питомий негативний вплив на довкілля від великих ГЕС [34].

Звичайно, приватні інвестиції у вітчизняну малу гідроенергетику не є злочином. Як і не є злочином зацікавленість приватних інвесторів в прибутку, в тому числі і за рахунок «зеленого» тарифу. Але всі оті екологічні та соціальні «покращення», про які з таким пафосом згадується в «Повідомленнях про плановану діяльність», насправді нічого не варті, в порівнянні з тією шкодою, яка завдається довкіллю від будівництва та експлуатації МГЕС на малих річках.

Особливо це стосується тих «інвесторів», кому «не соромно» за вже побудовані ними МГЕС, кому в свій час вдалося уникнути процедури ОВД та провести вбивчі для малих річок проекти без широкого розголосу, ще й отримати за це державні нагороди й визнання. Наприклад, зовсім не соромно за свої МГЕС пану І. В. Тинному – засновнику і співвласнику енергетичного холдингу «Гідроенергоінвест-Акванова» [38]. Компанія володіє 29 міні ГЕС, загальна потужність яких складає 30 МВт; в тому числі і на річці Случ, яка в останні роки катастрофічно потерпає від маловоддя в межень і стрімко деградує практично на всій своїй протяжності (рис. 1).



Рис. 1 – Ріка Случ, літня межень, біля с. Більчаки (Рівненська обл.): а) початок 2000-х рр.; б) 2018 р.



Рис. 2 – Нижній б'єф греблі Чижівської МГЕС (с. Чижівка, Житомирська обл.). Річка Случ, травень 2017 р. Фото: Петро Тестов [39]

Зазвичай дії власників МГЕС в екстремальних екологічних ситуаціях, спричинених маловоддям, не є конструктивними. Вони до кінця намагаються боротися за прибуток, відстоюючи приватні інтереси. Наприклад, у серпні 2017 р. проблема маловоддя на р. Случ нижче за течією від м. Новоград-Волинський у нижньому б'єфі відновленої в 2015 р. Чижівської МГЕС набула таких масштабів [39] (див. також вище рис. 2), що для вирішення проблеми обезводнення русла була утворена спеціальна комісія з представників всіх гілок районної влади. І її рішенням було не спрацювання водосховища з вимушеним тимчасовим призупиненням роботи МГЕС, для збереження річки. На прохання ТОВ «Гідроенергоінвест-Акванова» «тимчасово» була зменшена так звана «санітарна» витрата: з  $2,39 \text{ м}^3/\text{с}$  до  $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$ .

## Прикінцеві зауваження та висновки

Інвестори в малу гідроенергетику мають визнавати, що їхня діяльність безпосередньо пов'язана з природокористуванням і несе загрози довкіллю. При цьому при будівництві та експлуатації МГЕС використовуються різні природні ресурси, і не лише водні і територіальні, а й такі, можливо, ефемерні для пана Тинного, як, наприклад, естетичні, рекреаційні тощо. Вплив МГЕС на довкілля може бути як прямим, так і опосередкованим. При цьому різні природні ресурси, що використовуються, не є повністю відновлюваними. Річки, їх екосистеми, природні ландшафти тощо, в тому числі і завдяки малій гідроенергетиці, стрімко деградують, зменшується водність річок в межінь, відбуваються незворотні гідроморфологічні зміни, зникає біорізноманіття.

Маємо також визнати, що єдине, що по суті відрізняє вітчизняну малу гідроенергетику від великої в контексті обґрунтування доцільності будівництва та експлуатації гідроенергетичних об'єктів з врахуванням їх впливу на довкілля, це те, що мала гідроенергетика, на відміну від великої, має серйозну державну підтримку у вигляді всіляких послаблень, зокрема і за рахунок «зеленого» тарифу. Багато в чому ця підтримка недалекоглядна, необґрунтована та навіть шкідлива для вітчизняної гідроенергетичної галузі, на що ми вказували, наприклад, в [25, 27, 32]. Ця підтримка в принципі заважає прийняттю раціональних рішень щодо природокористування в малій гідроенергетиці, їх екологізації, оскільки ці рішення виходять зі співставлення очікуваних прибутків та затрат приватного інвестора, а не ґрунтуються на співставленні суспільної вигоди та суспільної шкоди планованої діяльності. Маємо також зважати і на те, що приватні інвестори не є зацікавленими і не мають такими бути у фінансуванні неприбуткових, неефективних для себе сфер, в тому числі і «комплексного використання водних ресурсів» тощо, як того вимагають чинні норми [40], і будь-які «сторонні» для себе затрати намагатимуться мінімізувати, а отримувати вигоди, зокрема і від «зеленого» тарифу, – максимізувати. Тому і пропонуються проекти МГЕС лише з одним агрегатом, зі встановленою потужністю станцій до 199 кВт чи до 999 кВт, з деривацією, в яку відводиться практично вся вода з русла в межінь, з вигідним для забудовника територіальним розміщенням (безпосередньо в населеному пункті, близько до автомобільних доріг, ліній електропередач) тощо.

Суспільний інтерес при цьому, незважаючи на посилення на «Національний план дій» [23], «Програму розвитку гідроенергетики» [24] тощо, належно не враховується. Він просто ігнорується. Якщо, наприклад, для великої гідроенергетики, яка хоча і має порівняно невелику частку в загальному балансі (до 9%) електроенергетики країни, але відіграє важливу системоутворюючу функцію в її об'єднаній енергосистемі (ОЕС), і навіть з врахуванням серйозної шкоди, яку завдали і завдають довкіллю великі ГЕС та ГАЕС, як кожна окремо, так і в сукупності, на даний момент соціально-економічного розвитку країни можна знайти достатньо вагомих аргументів для її виправдання, з врахуванням різних ризиків та факторів, що мають загальносуспільне значення, то мала гідроенергетика не лише має вкрай мізерну питому вагу в балансі вітчизняної ОЕС (близько 0,15%), а й принципово не впливає і не зможе впливати в майбутньому на умови енергозабезпечення країни, в тому числі і окремих її регіонів. Суспільне значення малої гідроенергетики в Україні, зокрема і через несприятливі для

розвитку гідроенергетичної галузі природні умови [25-34], вкрай мале, а в майбутньому лише зменшуватиметься, а суспільна шкода вже значна, в тому числі і завдяки «зеленому» тарифу, а в майбутньому може ще й збільшитися. З часом може постати проблема ліквідації багатьох таких об'єктів на наших річках, з важко прогнозованими наслідками. Таким чином, перше питання, яке має виникати при плануванні будівництва нової МГЕС, особливо на річці, на якій подібне будівництво ще не провадилось, це питання не можливості, а доцільності такого природокористування, його суспільної виправданості в порівнянні з можливою суспільною шкодою.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. Москва : Мысль, 1990. 637 с.
2. Конституція України: прийнята на п'ятій сесії ВР України 28 червня 1996 р. Відомості ВР України. 1996. № 30. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80>.
3. Згуровський М.З. Сталий розвиток у глобальному і регіональному вимірах: аналіз за даними 2005 р. Київ : Політехніка, 2006. 84 с.
4. Стефанишин Д.В., Стефанишина-Гаврилюк Ю.Д. Оптимізація структури інвестиційного портфеля в природокористуванні на підставі попарного порівняння альтернатив з врахуванням ризику невикористаних можливостей. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2017. №3. С. 107-116.
5. Про оцінку впливу на довкілля: Закон України № 2059-VIII від 23.05.2017. *Офіційний вісник України*. 2017. №50. С. 5. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 29, ст. 315. URL : <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19>.
6. Позняк Е. Оцінка впливу на довкілля і участь громадськості в ній у формі громадської екологічної експертизи: міжнародно-правові та національно-правові аспекти. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Юридичні науки*. 74-76. 2007. С. 126-129.
7. Андрусевич А.О. Оцінка впливу на довкілля в Україні: вирішення проблеми по-європейськи. *Аналітичний документ*. 2011. 18 с.
8. Оцінка впливу на довкілля та участь громадськості: аналітичний порівняльний огляд європейського й українського законодавства та рекомендації щодо впровадження європейських стандартів в Україні [за наук. ред. Д. Скрильнікова та Є. Алексеевої]. Львів : ЕПЛ. 2013. 96 с.
9. Чайковська Н. Правові аспекти здійснення оцінки впливу на довкілля. *Науковий часопис Національної академії прокуратури України*. 2017. №4. С. 214-223.
10. Самойленко Ю. Удосконалення системи оцінки впливу на довкілля в контексті екологічного супроводу проектів. *Економічний дискурс. Міжнародний науковий журнал*. 2017. Вип. 3. С. 109-117.
11. Алексеева Є. Оцінка впливу на довкілля: можливості для громадськості (посібник) [за заг. ред. О. Кравченко]. Львів : Видавництво «Компанія «Манускрипт». 2017. 36 с.
12. Сидор В. Оцінка впливу на довкілля: Закон працює, проблеми залишаються. *Підприємництво, господарство і право. Екологічне право*. 2018. №6. С. 142-146.
13. Ландау Ю.О., Сташук І.В. Значення гідроенергетики в розвитку ОЕС України відповідно до НЕС-2035 і екологічні виклики. *Гідроенергетика України*. 1-2. 2018. С. 3-6.
14. Алексеева Є. Популярний коментар до Закону України «Про оцінку впливу на довкілля». За заг. ред. О. Кравченко. Львів : Видавництво «Компанія «Манускрипт». 2018. 60 с.



15. Конвенція про доступ до інформації, участь громадськості в процесі прийняття рішень та доступ до правосуддя з питань, що стосуються довкілля (Орхуська конвенція). URL : [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_015](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_015).
16. Ландау Ю.А. Основные тенденции развития гидроэнергетики Украины. *Техногенна безпека*. Наукові праці. 2012. Том 53. Вип. 40. С. 82-86.
17. Розвиток теплоенергетики та гідроенергетики / за ред. В.М. Клименко, Ю.О. Ландау, І.Я. Сігал. 2013. 399 с. URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-3/part-2/section-2/2-8>.
18. Шкробот М.В. Сучасний стан та перспективи розвитку гідроелектроенергетики України. *Бізнес-навігатор*. №1 (27). 2012. С. 66-70.
19. Поп С.С. Гідроенергетичний потенціал Закарпаття: стан та перспективи його раціонального використання. Науковий вісник Ужгородського ун-ту. Серія: Географія. Землеустрій. Природокористування. Ужгород : Говерла. Вип. 2. 2013. С. 98-111.
20. Васько П.Ф., Васько В.П., Ібрагімова М.Р. Мала гідроенергетика в структурі електроенергетичної галузі України. *Відновлювана енергетика*. 2015. № 3. С. 53-61.
21. Васько П.Ф., Мороз А.В. Потенціал використання гідроенергетичних ресурсів основних малих річок України. *Відновлювана енергетика*. 2016. № 3. С. 50-56.
22. Оцінка впливу на довкілля. Єдиний реєстр. URL: <http://eia.menr.gov.ua/search>.
23. Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 р.: Затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 01.10.2014 р. №902-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80/stru>.
24. Програма розвитку гідроенергетики на період до 2026 року : Схвалено розпорядженням КМ України від 13.07. 2016 р. № 552-р. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/552-2016-%D1%80#n7>.
25. Стефанишин Д. В. Соціально-екологічні проблеми відновлення та модернізації малих гідроелектростанцій в Україні. *Гідроенергетика України*. № 1-2. 2015. С. 18-22.
26. Атаєв С.В., Стефанишин Д.В. Прогнозування змін гідролого-морфологічних характеристик річок при техніко-економічному обґрунтуванні проєктів відновлення малих гідроелектростанцій. *Екологічна безпека та природокористування*. Зб. наук. праць. Вип. 17. Київ : ІТГП НАНУ, КНУБА. 2015. С. 57-64.
27. Стефанишин Д.В., Атаєв С.В. Перспективи відновлення малих гідроелектростанцій в Україні в контексті екологічно безпечного природокористування. *Екологічна безпека та природокористування*. Зб. наук. праць. Вип. 18. Київ : ІТГП НАНУ, КНУБА. 2015. С. 5-11.
28. Стефанишин Д.В., Бенатов Д.Э. О перспективах развития гидроэнергетического комплекса Украины в контексте экологизации природопользования. Международный молодежный научный экологический форум «Экобалтика» (24-27 августа, 2017, Гродно, Республика Беларусь): Сборник трудов – Гродно: Изд-во Гродн. Гос. Аграрн. Ун-та, 2017. С. 100-108.
29. Стефанишин Д. В. Про перспективи розвитку вітчизняної гідроенергетики в контексті планів будівництва каскаду гідроелектростанцій у Дністровському каньйоні. *Екологічна безпека та природокористування*. Зб. наук. праць. Вип. 23. Київ : ІТГП НАНУ, КНУБА. 2017. С. 5-19.
30. Стефанишин Д.В. Про ризики гідроенергетичного будівництва у Дністровському каньйоні. *Математичне моделювання в економіці*. 2017. № 1-2. С. 172-183.
31. Stefanyshyn D. On peculiarities of hydropower development in the world and in Ukraine. *Екологічна безпека та природокористування*. Зб. наук. праць. Вип. 25. Київ : КНУБА, ІТГП НАНУ. 2018. С. 12-23.
32. Власюк Ю.С., Стефанишин Д.В. Про проблеми та перспективи малої гідроенергетики в Україні. *Математичне моделювання в економіці*. № 1 (10). 2018. С. 126-138.
33. Стефанишин Д.В. Деякі критичні зауваження та пропозиції щодо підтримки сталого розвитку гідроенергетики в Україні. *Гідроенергетика України*. № 1-2. 2018. С. 6-12.

34. Стефанишин Д.В., Власюк Ю.С. До питання порівняльного аналізу водноенергетичних характеристик малих і великих гідроелектростанцій України у складі гідровузлів з водосховищами. *Математичне моделювання в економіці*. № 2. 2018. С. 71-83.
35. Identification and Designation of Heavily Modified and Artificial Water Bodies. CIS Working Group 2.2. 10 December 2002. 11 p. URL : <http://www.wrrl-info.de/docs/HMWBpolicysummary101202.pdf>.
36. Securing Water for Ecosystems and Human Well-being: The Importance of Environmental Flows. Copyright ©2009, Swedish Water House (SWH). P. 52. URL: [https://cmsdata.iucn.org/downloads/securing\\_water\\_for\\_ecosystems\\_and\\_human\\_well\\_being.pdf](https://cmsdata.iucn.org/downloads/securing_water_for_ecosystems_and_human_well_being.pdf).
37. Managing Water under Uncertainty and Risk. The United Nations World Water Development Report 4. Vol. 1. Published by UNESCO. 2012. 407 p. URL : <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/WWDR4%20Volume%201-Managing%20Water%20under%20Uncertainty%20and%20Risk.pdf>.
38. Ігор Владиславович Тинний. URL : <https://znaj.ua/dossier/58-igor-vladislavovich-tinniyy>.
39. Тестов П. Каскад ставків замість річки Случ? Екологія, право, людина. URL : <http://epl.org.ua/announces/kaskad-stavkiv-zamist-richky-sluch/>.
40. ДБН В.2.4-3:2010. Гідротехнічні, енергетичні та меліоративні системи і споруди, підземні гірничі виробки. Гідротехнічні споруди. Основні положення. Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. 37 с.

*Стаття надійшла до редакції 03.07.2019 і прийнята до друку після рецензування 02.08.2019*

## REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Reimers, N.F. (1990). Natural Resources Use: Dictionary-Reference. Moscow: Dumka, 637 p. (In Russian).
2. Constitution of Ukraine: Adopted at the Fifth Session of the Verkhovna Rada of Ukraine on June 28, 1996. 1996. No. 30. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80>. (in Ukrainian).
3. Zgurovsky, M.Z. (2006). Sustainable Development in Global and Regional Dimensions: An Analysis According to 2005. Kyiv: Polytechnica, 84 p. (in Ukrainian).
4. Stefanyshyn, D.V., Stefanyshyna-Gavryliuk, Yu.D. (2017). Optimizing the structure of the investment portfolio in environmental management based on a pair-wise comparison of alternatives taking into account the risk of unused opportunities. *System Research and Information Technologies*, №3, 107-116. (in Ukrainian).
5. On Environmental Impact Assessment: Law of Ukraine No. 2059-VIII of 23 May 2017 Official Bulletin of Ukraine. (2017). №50. P. 5. Verkhovna Rada (BBR) Bulletin, No. 29, Art. 315. Retrieved from <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19>. (in Ukrainian).
6. Poznyak, E. (2007). Environmental Impact Assessment and Public Participation in the Form of Public Environmental Assessment: International Legal and National Legal Aspects. *Bulletin of the Kyiv National University after Taras Shevchenko*. Law sciences. 74-76, 126-129. (in Ukrainian).
7. Andrushevich, A.O. (2011). Environmental Impact Assessment in Ukraine: Addressing the Problem in Europe. Analytical document, 18 p. (in Ukrainian).
8. Environmental Impact Assessment and Public Participation: An Analytical Comparative Review of European and Ukrainian Legislation and Recommendations for the Implementation of European Standards in Ukraine. (2013). [for Science ed. D. Skrylnikov and E. Alekseeva], Lviv: EPL, 96 p. (in Ukrainian).
9. Tchaikovska, N. (2017). Legal aspects of environmental impact assessment. *Scientific journal of the National Academy of Public Prosecutor of Ukraine*, №4, 214-223. (in Ukrainian).
10. Samoilenko, Yu. (2017). Improvement of the environmental impact assessment system in the context of environmental support of projects. *Economic discourse. International scientific journal*, Vol. 3, 109-117. (in Ukrainian).

11. Alekseeva, E. (2017). Environmental Impact Assessment: Opportunities for the Public (Handbook) [for Science ed. O. Kravchenko]. Lviv: Manuscript Company Publishing House, 36 p. (in Ukrainian).
12. Sidor, V. (2018). Environmental Impact Assessment: The law works, problems remain. *Entrepreneurship, economy and law. Environmental law*, №6, 142-146. (in Ukrainian).
13. Landau, Yu.O., Stashuk I.V. (2018). The importance of hydropower in the development of the Ukrainian UES in accordance with NES-2035 and environmental challenges. *Hydropower of Ukraine*, 1-2, 3-6. (in Ukrainian).
14. Alekseeva, E. (2018). A popular commentary on the Law of Ukraine “On Environmental Impact Assessment”. For the title. ed. O. Kravchenko. Lviv: Manuscript Company Publishing House, 60 p. (in Ukrainian).
15. Convention on Access to Information, Public Participation in Decision-Making and Access to Justice in Environmental Matters (Aarhus Convention). Retrieved from [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_015](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_015). (in Ukrainian).
16. Landau, Yu.A. (2012). The main trends in the development of hydropower in Ukraine. *Technogenic safety. Scientific works*, Volume 53, Issue 40, 82-86. (In Russian).
17. Development of heat power engineering and hydropower. (2013). Baseev, Ye. T., Bileka, B. D., Vasiliev, Ye. P., et al .; Science ed. Klymenko, V. M., Landau, Yu. O., Sigal, I. Ya. 399 p. Retrieved from <http://energetika.in.ua/ua/books/book-3/part-2/section-2/2-8>. (in Ukrainian).
18. Strobot, M.V. (2012). The current state and prospects of development of hydroelectric power in Ukraine. *Business navigator*, No. 1 (27), 66-70. (in Ukrainian).
19. Pop, S.S. (2013). Hydropower potential of Transcarpathia: state and prospects of its rational use. *Scientific Bulletin of Uzhgorod Univ. Series: Geography. Land management. Nature management*. Uzhgorod: Hoverla, No. 2, 98-111. (in Ukrainian).
20. Vasko, P.F., Vasko, V.P., Ibrahimova, M.R. (2015). Small hydropower in the structure of the electricity sector of Ukraine. *Renewable energy*, № 3, 53-61. (in Ukrainian).
21. Vasko, P.F., Moroz, A.V. (2016). Potential of utilization of hydropower resources of the main small rivers of Ukraine. *Renewable energy*, № 3, 50-56. (in Ukrainian).
22. Environmental Impact Assessment. Unified registry. Retrieved from <http://eia.menr.gov.ua/search>. (in Ukrainian).
23. National Renewable Energy Action Plan for 2020: Approved by the Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 01.10.2014 № 902-p. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80/stru>. (in Ukrainian).
24. Hydropower development program for the period up to 2026. (2016). Approved by the order of the Cabinet of Ministers of Ukraine from 13.07.2016. № 552-r. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/552-2016-%D1%80#n7>. (in Ukrainian).
25. Stefanyshyn, D.V. (2015). Socio-ecological problems of renewal and modernization of small hydropower plants in Ukraine. *Hydropower of Ukraine*, № 1-2, 18-22. (in Ukrainian).
26. Atayev, S.V., Stefanyshyn, D.V. (2015). Prediction of changes in hydrological and morphological characteristics of rivers in the feasibility study of small hydroelectric rehabilitation projects. *Environmental safety and natural resources*. Coll. Sciences. works. No. 17. Kyiv: ITGIP of NASU, KNUBA, 57-64. (in Ukrainian).
27. Atayev, S.V., Stefanyshyn, D.V. (2015). Prospects for restoration of small hydropower plants in Ukraine in the context of environmentally friendly environmental management. *Environmental safety and natural resources*. Coll. Sciences. works. No. 18. Kyiv: ITGIP of NASU, KNUBA, 5-11. (in Ukrainian).
28. Stefanyshyn, D.V., Benatov, D.E. (2017). On the prospects for the development of the hydropower complex of Ukraine in the context of environmental management. International Youth Scientific Ecological Forum “Ecobaltics” (August 24-27, 2017, Grodno, Republic of Belarus): Proceedings - Grodno: Grodn Publishing House. Gos. Agrarian. Univ., 100-108. (In Russian).

29. Stefanyshyn, D.V. (2017). On the prospects for the development of domestic hydropower in the context of plans for the construction of a cascade of hydroelectric power stations in the Dniester Canyon. *Environmental safety and natural resources*. Collection of scientific works. Issue 23 (№ 1-2). Kyiv : ITGIP NASU, KNUCA, P. 5-19. (in Ukrainian).
30. Stefanyshyn, D.V. (2017). On the risks of hydropower construction in the Dniester canyon. *Mathematical modeling in economy*. № 1-2, P. 172-183. (in Ukrainian).
31. Stefanyshyn, D.V. (2018). On peculiarities of hydropower development in the world and in Ukraine. *Environmental safety and natural resources*, Issue 25 (№ 1), Kyiv, KNUBA, ITGIP of NASU, 12-23.
32. Vlasyuk, Yu.S., Stefanyshyn, D.V. (2018). On problems and prospects of small hydropower engineering in Ukraine. *Mathematical Modeling in Economy*, №1, 2018, 126-138. (in Ukrainian).
33. Stefanyshyn, D.V. (2018). Some critical remarks and suggestions for supporting the sustainable development of hydropower in Ukraine. *Hydropower of Ukraine*, № 1-2, 6-12. (in Ukrainian).
34. Stefanyshyn, D.V., Vlasyuk, Yu.S. (2018). To the issue of comparative analysis of water-energy characteristics of small and large hydroelectric power plants of Ukraine being parts of waterworks with reservoirs. *Mathematical Modeling in Economy*, №2, 71-83. (in Ukrainian).
35. Identification and Designation of Heavily Modified and Artificial Water Bodies. CIS Working Group 2.2. 10 December 2002. 11 p. Retrieved from <http://www.wrrl-info.de/docs/HMWBpolicysummary101202.pdf>.
36. Securing Water for Ecosystems and Human Well-being: The Importance of Environmental Flows. Copyright ©2009, Swedish Water House (SWH). P. 52. Retrieved from [https://cmsdata.iucn.org/downloads/securing\\_water\\_for\\_ecosystems\\_and\\_human\\_well\\_being.pdf](https://cmsdata.iucn.org/downloads/securing_water_for_ecosystems_and_human_well_being.pdf).
37. Managing Water under Uncertainty and Risk. The United nations World Water Development Report 4. Vol. 1. Published by UNESCO. 2012. 407 p. Retrieved from <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/WWDR4%20Volume%201-Managing%20Water%20under%20Uncertainty%20and%20Risk.pdf>.
38. Igor Tinny. Retrieved from <https://znaj.ua/dossier/58-igor-vladislavovich-tinny>. (in Ukrainian).
39. Testov, P. Cascade of ponds instead of the river Sluch? Ecology, law, man. Retrieved from <http://epl.org.ua/announces/kaskad-stavkiv-zamist-richky-sluch/>. (in Ukrainian).
40. DBN B.2.4-3: 2010. Hydrotechnical, energy and reclamation systems and structures, underground mining. Waterworks. Substantive provisions. (2010). Kyiv: Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine, 37 p. (in Ukrainian).

*The article was received 03.07.2019 and was accepted after revision 02.08.2019*

### **Власюк Юрій Степанович**

аспірант Національного університету водного господарства та природокористування

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

**e-mail:** [y.s.vlasiuk@nuwm.edu.ua](mailto:y.s.vlasiuk@nuwm.edu.ua)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6359-733X>

### **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

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

**e-mail:** [d.v.stefanyshyn@nuwm.edu.ua](mailto:d.v.stefanyshyn@nuwm.edu.ua)

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

© 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 24.09.2019. Формат 70x108/16. Папір офсетний.  
Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 8.23  
Обл.-вид. арк. 9.7  
Замовлення № \_\_\_\_\_

Тираж 300 примірників

---

КИЇВ 2019